

**DESARROLLO DE MODELO PARA EL CONTROL DE LA TRAZABILIDAD EN LA
CADENA DE SUMINISTRO DE LA CARNE SOPORTADA EN BUSINESS PROCESS
MANAGEMENT - BPM**

YELITZA BIBIANA DÍAZ REYES

UNIVERSIDAD EAN

BOGOTÁ D.C., COLOMBIA, 03 DE JULIO DE 2019

UNIVERSIDAD EAN

**FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS**

**DESARROLLO DE MODELO PARA EL CONTROL DE LA TRAZABILIDAD EN LA
CADENA DE SUMINISTRO DE LA CARNE SOPORTADA EN BUSINESS PROCESS
MANAGEMENT - BPM**

**AUTOR
YELITZA BIBIANA DÍAZ REYES**

**DIRECTOR
JEFFREY LEÓN PULIDO**

BOGOTÁ, D.C., 03 DE JULIO DE 2019

FIRMA DE LOS JURADOS Y DIRECTOR

DIRECTOR

JURADO 1

JURADO 2

DEDICATORIA

A mi familia quien desde mi infancia me ha transmitido su pasión por la industria cárnica y el compromiso que tenemos con los consumidores por la entrega de alimentos seguros, inspirándonos junto con Alejandro y Andrés mi hermano a emprender un nuevo proyecto llamado Grillé.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser el motor fundamental de mi vida.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en todo momento.

A los profesores de la Universidad EAN que me acompañaron a lo largo de mis estudios de maestría, forjando en mí, un espíritu emprendedor que hoy en día se ha materializado en Grillé.

A mi tutor Jeffrey Pulido, que con su profesionalismo y dedicación me orientó para el desarrollo de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN.....	12
OBJETIVOS	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
JUSTIFICACIÓN.....	14
DELIMITACIÓN Y ALCANCE	16
METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO	17
CAPÍTULO 1. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	19
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2. SITUACIÓN DEL SECTOR CÁRNICO A NIVEL MUNDIAL.....	20
1.3. MARCO LEGAL.....	22
1.4. LA TRAZABILIDAD EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS	26
1.4.1. OBJETIVOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAZABILIDAD	27
1.4.2. RETOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAZABILIDAD	27
1.5. TRAZABILIDAD EN LA INDUSTRIA CÁRNICA.....	28
1.5.1. Técnicas de análisis para prevención del fraude e identificación animal.....	29
1.5.2. Tecnologías de información para captura e intercambio de datos	30
1.6. BUSINESS PROCESS MANAGEMENT (BPM).....	32
1.6.1. Ciclo de vida de BPM	33
1.6.2. Importancia del BPM en la trazabilidad de la industria cárnica	35
1.6.3. Uso de Business Process Modelling notation (BPMN).....	36
1.7. CONCLUSIONES PRELIMINARES.....	37
CAPITULO 2 ANÁLISIS DE VARIABLES PARA EL SISTEMA DE TRAZABILIDAD.....	38
2.1. LA CIENCIA DE LA CARNE	39
2.1.1. CRIANZA.....	40
2.1.1.1. Raza	40
2.1.1.2. Sexo	40
2.1.1.3. Castración.....	40
2.1.1.4. Alimentación	40
2.1.1.5. Edad	41
2.1.2. TRANSPORTE A PLANTA DE BENEFICIO Y AYUNO	41

2.1.3.	PROCESO PRIMARIO - SACRIFICIO / DESPOSTE	42
2.1.3.1.	Rigor Mortis	43
2.1.3.2.	Etapas de maduración.....	45
2.1.3.3.	Desposte.....	46
2.1.4.	ENVASADO	46
2.1.5.	ALMACENAMIENTO	47
2.2.	CLASIFICACIÓN DE VARIABLES DEL SISTEMA DE TRAZABILIDAD	48
2.3.	ESTUDIO DE CORRELACION DE VARIABLES	48
2.5.	CONCLUSIONES PRELIMINARES.....	58
CAPITULO 3. ENFOQUE BPM EN TRAZABILIDAD		59
3.1.	MODELADO DE PROCESOS DE NEGOCIO.....	59
3.2.	EXPLICACIÓN DETALLADA DEL MODELO DOCUMENTADO.....	59
3.2.1.	PRODUCTOR PRIMARIO.....	64
3.2.2.	TRANSPORTADOR DE GANADO EN PIE	65
3.2.3.	FRIGORÍFICO Y PLANTA DE DESPOSTE.....	65
3.2.4.	COMERCIALIZADORA DE CARNES GRILLÉ	66
3.2.5.	PRODUCTORA DE DERIVADOS CÁRNICOS.....	67
3.2.6.	MINORISTA O SERVICIO DE ALIMENTACIÓN.....	67
3.2.7.	CONSUMIDOR FINAL.....	68
CONCLUSIONES.....		71
BIBLIOGRAFÍA.....		73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología.....	17
Figura 2. Consumo mundial de carne de res y temera per cápita al año.	22
Figura 3. Consumo comparativo de carne de res, cerdo y pollo a nivel mundial	23
Figura 4. Entes de control en la cadena de valor de la carne en Colombia	24
Figura 5. Comportamiento de la legislación en la cadena de valor de la carne	26
Figura 6. Ciclo de vida de BPM.....	35
Figura 7. Elementos clave de una cadena de suministro extendida en carne de res.	39
Figura 8. Etapas de conversión del músculo en carne.....	43
Figura 9. Tasas y tiempos en el descenso de pH.....	44
Figura 10. Mapa de influencia/dependencia directa	52
Figura 11. Clasificación de variables.....	53
Figura 12. Modelo de gestión de negocios en trazabilidad.....	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Legislación en la cadena de valor de la carne.....	25
Tabla 2. Notaciones para BPM	36
Tabla 3. Atributos de calidad asociados a la carne	38
Tabla 4. Macronutrientes de la carne de res	Error! Bookmark not defined.
Tabla 5. Micronutrientes: Minerales	Error! Bookmark not defined.
Tabla 6. Micronutrientes: Vitaminas.....	Error! Bookmark not defined.
Tabla 7. Definición de variables para el estudio de relación.....	49
Tabla 8. Matriz de variables cruzadas.....	51
Tabla 9. CTP y unidades trazables	68

RESUMEN

TITULO: Desarrollo de modelo para el control de la trazabilidad en la cadena de suministro de la carne soportada en Business Process Management - BPM

AUTOR: Yelitza Bibiana Díaz Reyes

PALABRAS CLAVE: Cadena de suministro, carne de res, control de proceso, correlación de variables, gestión de procesos de negocio, inocuidad de alimentos, proceso de negocio, prospectiva, trazabilidad.

La cadena de suministro de la carne se ha enfrentado no sólo en Colombia, sino a nivel mundial a escándalos asociados con fraude alimentario, falta de transparencia en el origen y sanidad del ganado, así como procesos de transformación donde no se cuenta con las condiciones sanitarias para tales operaciones provocando enfermedades transmitidas por el consumo de la carne. El más afectado es el consumidor que pone en riesgo su salud al no contar con garantías de trazabilidad del producto que adquiere. Para dar respuesta a esta necesidad, se desarrolló un modelo bajo el enfoque de “business process management - BPM” para el control de la trazabilidad desde la producción primaria hasta el consumidor final, lo cual permite asegurar que en cada operación de la cadena se capturan los datos necesarios de trazabilidad y a su vez, estos son transmitidos a los siguientes eslabones brindando garantías no sólo al consumidor, sino también a cada actor que hace parte de la cadena de suministro de la carne.

Para determinar las variables relevantes a capturar en cada operación, se realizó un análisis a través del programa Mic Mac que, a través de un estudio de correlación de variables, las clasifica de acuerdo a su importancia e incidencia en las otras variables. Posteriormente se realizó el modelado del proceso bajo el concepto BPM con el software Bonita Studio, para identificar las interacciones entre cada actor y momentos claves de comunicación de las variables descritas.

Finalmente, de acuerdo a las tecnologías de información vigentes, se proponen métodos aplicables para la captura de datos o variables relevantes que aseguren confiabilidad y prevengan el fraude en la cadena de suministro.

ABSTRACT

TITLE: Development of an instrument to control traceability along the meat supply chain, supported in business process management - bpm

AUTHOR: Yelitza Bibiana Díaz Reyes

KEYWORD: Business process management, control process, food safety, meat, process diagram, supply chain, traceability.

The meat supply chain has faced not only in Colombia but around the world, scandals associated to food fraud, lack of transparency about cattle's provenance and health and at the same time, having a productive process where there is no warranty of sanitary conditions which can cause foodborne diseases from meat consumption. Finally, the consumer's health is put at risk since they don't know any information about the traceability of the product. To answer this matter, a model was developed following the business process management (BPM) principles, so the whole process from farm to consumer can be ensured through collecting traceability data in each step, and sharing it along the meat supply chain, which allows having available the information even to the final consumer.

In order to determine the main variables needed to be captured in each operation, Mic Mac software was used to study the correlation of variables, classifying them according to its importance and impact in other variables. Next, a business process model was developed through Bonita Studio Software, to identify the interactions between actors and the key process where there has to be communication along the supply chain.

Finally, and according to available information technologies, different methods are proposed to capture and share data throughout the meat supply chain, ensuring transparency, accuracy, and reliability.

INTRODUCCIÓN

Se estima que cerca del 40% de la carne que se consume en Colombia es ilegal (Zapata, 2018), no en vano, el ministerio de salud a través del Invima ha endurecido en los últimos 12 años las normas aplicables a la industria cárnica. Desde la publicación del Decreto 1500 de 2007 las entidades territoriales de salud e Invima han trabajado con el fin de asegurar que los establecimientos que operan cumplan los requisitos de sanidad que contribuyan a la inocuidad de la carne.

La carne de res es una de las carnes de mayor consumo a nivel mundial. Sus altos costos de producción comparados con otro tipo de carnes como la de pollo o cerdo, han provocado el incremento de prácticas clandestinas para su operación, lo cual a su vez aumenta el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos, constituyéndose en un tema de interés público a nivel internacional.

La falta de mecanismos de control que garanticen un sistema de trazabilidad transparente e inalterable hace que para los entes gubernamentales y el consumidor se dificulte la visualización de prácticas ilegales como sacrificio en zonas no autorizadas o consumo de carne proveniente de animales con un deficiente estado de salud. Es por esto, que se plantea un modelo para un sistema de trazabilidad que logre brindar estas garantías a las personas interesadas, a través del aprovechamiento de tecnologías de información emergentes.

En este sentido, el acceso a la trazabilidad de un alimento será más factible en la medida en que la tecnología avanza y permite asegurar datos relevantes del sistema. El manejo electrónico de datos e implementación de tecnologías como blockchain están cambiando los métodos tradicionales para el manejo de información de trazabilidad en la cadena de suministro y superando las expectativas tanto de los consumidores como de las empresas productoras

La modelación del sistema de trazabilidad propuesto que se presentará en este documento está basada en el comportamiento del modelo de negocio de la empresa Carnes Grillé S.A.S, empresa dedicada a la comercialización de carne de res a diversos segmentos como servicios de alimentación, consumo masivo y ventas al por menor.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo para el control de la trazabilidad en la cadena de suministro de la carne soportado en variables fundamentales de proceso, utilizando conceptos de Business Process Management (BPM).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las diferentes normativas y reglamentaciones aplicadas a la obtención y trazabilidad de la carne en Colombia.
- Identificar las tecnologías desarrolladas para la gestión de un sistema de trazabilidad de carnes.
- Determinar las variables fundamentales de proceso y de gestión del proceso.
- Desarrollar un instrumento aplicando conceptos de BPM para la gestión de la trazabilidad de la carne en la cadena de suministro.

JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, la trazabilidad en la industria de alimentos ha tomado alta relevancia debido al impacto que esta puede tener al momento de detectar alimentos no aptos para el consumo, asegurando su retiro oportuno del mercado, brindando por ende, confianza al consumidor, y a la vez protegiendo la marca de publicidad asociada a incidentes con el producto (Duan, Miao, Wang, Fu, & Xu, 2017; Storøy, Thakur, & Olsen, 2013a; Thakur & Hurburgh, 2009). Es por ello que, no sólo se habla de trazabilidad en una etapa de manufactura sino a lo largo de toda la cadena de suministro del alimento. Según la Unión Europea, trazabilidad es la habilidad de rastrear cualquier alimento, materia prima o sustancia que será usada para un consumo posterior, a través de todas las etapas de obtención, procesamiento y distribución (Official Journal of the European Communities, 2002).

Gran parte del reto actual en trazabilidad es la recolección sistemática de información en cada uno de los eslabones de la cadena de suministro, asegurando su veracidad y captura oportuna con el fin de que las organizaciones puedan disponer de la información en tiempo real para la toma de decisiones ágiles cuando es requerido (De Cindio, Longo, Pizzuti, & Mirabelli, 2011; Manos, Manikas, & Folinas, 2006; Mirabelli, Pizzuti, Gómez-González, & Sanz-Bobi, 2012; Storøy et al., 2013a). 11/7/19 18:00:00 Numerosas investigaciones e inversiones por parte de los gobiernos se han centrado en el desarrollo de herramientas que den solución a esta necesidad, es por ello que se pueden encontrar actualmente proyectos principalmente de la Unión Europea como: Trace, Traceback, ChillOn, y Coextra (Donnelly & Olsen, 2009).

El concepto trazabilidad continúa siendo, sin embargo, desconocido para los consumidores (Duan et al., 2017; Giraud & Amblard, 2003). En otros casos, la trazabilidad es un aspecto por el cual los consumidores no están dispuestos a pagar un valor adicional en un producto (Calvo Dopico et al., 2016a). Sin embargo, debido a los brotes de enfermedades transmitidas por alimentos en especial aquellos de origen animal y alergias causadas por inadecuada información en el producto, se está desarrollando un segmento de consumidores interesados en conocer con mayor detalle el origen y composición de los alimentos que consume (Calvo Dopico et al., 2016a; Giraud & Amblard, 2003; van Rijswijk & Frewer, 2008).

Para el Invima (2015), la carne es considerada un alimento de alto riesgo debido a que su composición nutricional permite que sea fácilmente contaminable y por ende, puede provocar afectaciones en la salud de los consumidores (Gellynck & Verbeke, 2001; van Rijswijk & Frewer, 2008); esto, entre varias razones, ha hecho que el consumidor tenga una percepción de prevención frente al consumo de carne.

La necesidad de implementar sistemas de trazabilidad que brinden confiabilidad y que no sean manipulables, continuará creciendo en la medida en que los consumidores tomen conciencia de la importancia de la trazabilidad de los alimentos y lo empiecen a exigir a los productores, así mismo, los entes gubernamentales establezcan requisitos y control sobre las operaciones de obtención de alimentos (Gellynck & Verbeke, 2001).

No se puede hablar de trazabilidad sin dar importancia a cada una de las operaciones realizadas a lo largo de la cadena de suministro para la obtención y comercialización de carnes, es por ello que los sistemas de trazabilidad deben tener la capacidad de adaptarse a la complejidad de las cadenas de suministro (Españeira & SantaClara, 2016). El presente proyecto busca dar un enfoque a la gestión de la trazabilidad a través del concepto de business process management (BPM). BPM como se verá más adelante, remonta sus orígenes desde la concepción de cadena de valor, teoría introducida por Michael Porter (1985) quien relacionaba la cadena de valor de una firma como el conjunto de procesos conectados, donde cada uno añade valor al otro. Según Lambert y Cooper (2000), la administración de una cadena de suministro se enfoca en la gestión desde el punto de origen hasta el punto de consumo, es por ello que esto implica a su vez la gestión y desempeño de varias firmas donde ocurren procesos de transformación y de naturaleza transaccional donde cada etapa va añadiendo valor al producto o servicio de interés (Verdouw, Beulens, Trienekens, & Vorst, 2011). Bajo este concepto, surge la necesidad del desarrollo de un instrumento con un enfoque BPM, que permita interconectar los diferentes actores que intervienen en la cadena de suministro a través de diagramas que describen claramente la secuencia de las actividades, los flujos de información entre las partes y los controles que se deben establecer para asegurar un correcto desempeño de los procesos (Verdouw et al., 2011).

Este proyecto se enfoca en la gestión de trazabilidad a través de la cadena de suministro de Carnes Grillé. Grillé es una empresa joven ubicada en el departamento de Boyacá, que observando las condiciones actuales del mercado y la ilegalidad en la obtención de la carne en la industria ha encontrado en estas condiciones una oportunidad ya que al promover mecanismos que faciliten la consulta de la trazabilidad de la carne de res de forma transparente, fomenta la confianza del consumidor hacia las carnes, y así mismo se promueve el valor de la marca en la región. Por medio de este proyecto se propone establecer la metodología que a futuro permitirá asegurarle al cliente y consumidor la trazabilidad de la carne que está consumiendo.

Analizando las anteriores variables del sector cárnico se evidencia la oportunidad que existe dentro del mercado de expendio y comercialización de carne bovina de establecer una cadena de abastecimiento en la región de Boyacá que cumpla con los estándares exigidos por las autoridades competentes e incentivando el consumo de productos de origen legal para que ante una decisión de compra prime la calidad por encima de los bajos precios.

DELIMITACIÓN Y ALCANCE

La presente investigación se enfoca en el estudio de la trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro de la carne de res a través de un estudio de caso en la empresa Carnes Grillé, la cual es un ejemplo de interacción de diferentes actores en el territorio colombiano tanto proveedores de productos y servicios como clientes y consumidores en diferentes departamentos del país. El modelo planteado de trazabilidad para la empresa se basa principalmente en los lineamientos nacionales de acuerdo con la normativa vigente, sin embargo, se tomarán como referencia también los avances en la gestión de trazabilidad que se han adoptado en otros países principalmente de la Unión Europea y Estados Unidos.

La cadena de suministro evaluada comprende los actores que intervienen desde la crianza del ganado bovino hasta la comercialización. Según el estudio y el alcance de los resultados, este estudio es de tipo descriptivo retrospectivo, ya que se basa en la verificación de los atributos y variables y su respectiva relación, con base en estudios previos.

El modelo BPM bajo el cual se soporta el sistema de trazabilidad planteado en el presente documento, se desarrolla siguiendo el ciclo de vida de BPM hasta el nivel de identificación del proceso y modelado inicial. La información obtenida en esta investigación es una herramienta para futuras implementaciones de sistemas de trazabilidad y rediseños con el enfoque BPM que permitan asegurar de forma continua, rápida y transparente la trazabilidad no solo en carnes sino en otros alimentos.

En la industria cárnica, existen diferentes modelos de negocio que se adaptan a las necesidades del mercado y a los requerimientos legales. Para efectos del presente estudio, el modelo de negocio considera únicamente los siguientes actores:

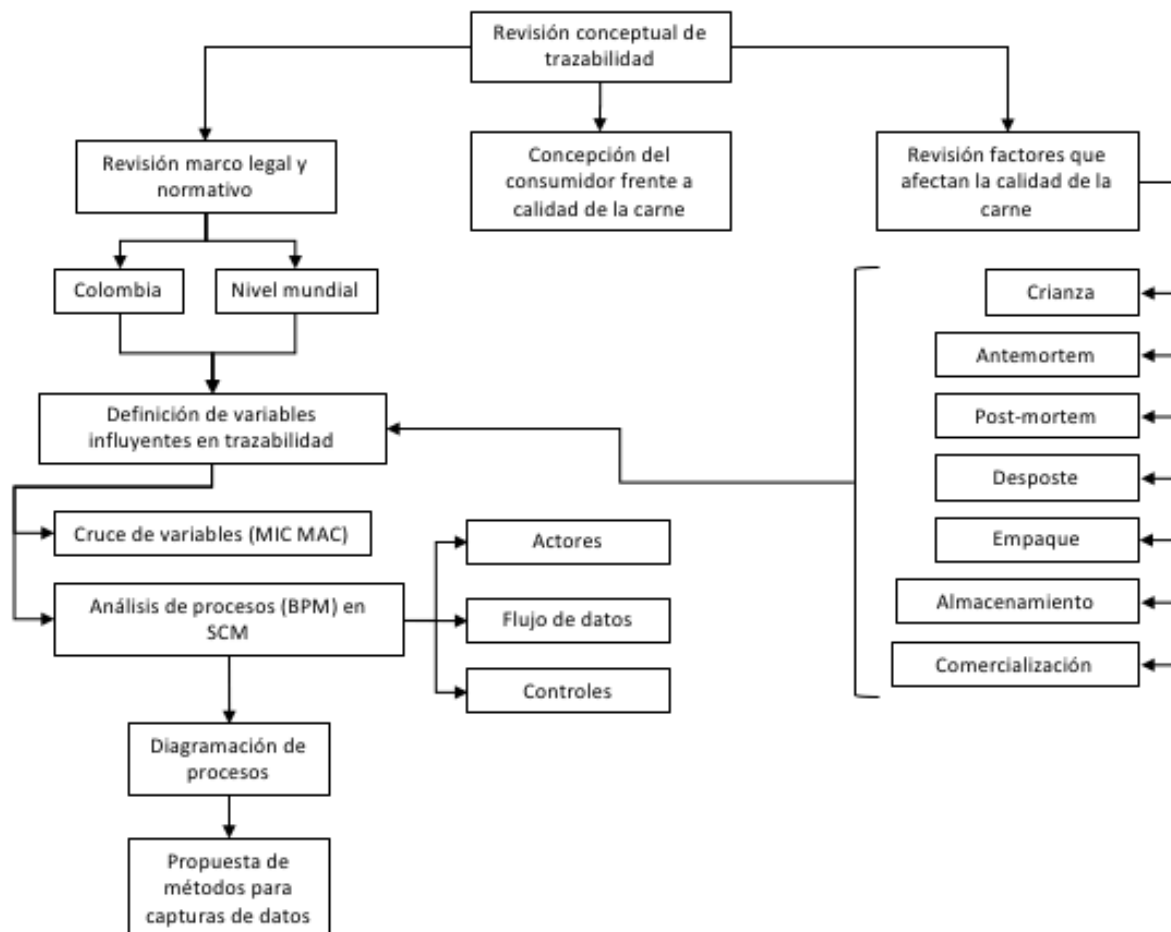
- Productor primario
- Transportador de ganado en pie
- Planta de beneficio y desposte
- Comercializador
- Minorista / servicio de alimentación
- Planta productora
- Consumidor final

Por otro lado, en la modelación de “business process” se considera una planeación de producción con base en pronósticos de demanda para los actores de comercialización mayorista y planta productora de derivados cárnicos.

METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Con el fin de desarrollar un instrumento para la gestión de la trazabilidad en la cadena de suministro de carne de res bajo el enfoque BPM, se han establecido los siguientes pasos:

Figura 1. Metodología



Fuente. El autor

1. Identificación del marco legal en Colombia referente a la trazabilidad de carne de res, a través de la consulta de las normas aplicables del ICA e INVIMA, entidades competentes para la inspección, vigilancia y control de las empresas dedicadas al levante y ceba de ganado, así como la obtención industrial de la carne respectivamente.
2. Identificación de las variables que influyen en la calidad de la carne de res obtenida a lo largo de toda la cadena de suministro a través de revisión bibliográfica, el cual considera las siguientes etapas: levante y ceba de ganado, transporte a planta de beneficio, beneficio, desposte y empaque, transporte de carne, almacenamiento y comercialización.
3. Mediante una revisión bibliográfica, se evalúa la relación entre las variables previamente identificadas a través de un análisis estructural desarrollado en el programa Mic Mac (matriz de impactos cruzados – multiplicación aplicada a una clasificación), con el fin de conocer la dependencia e influencia directa e indirecta de cada una en las características que han sido definidas por el consumidor, como parámetros de calidad claves en carne de res y en las otras variables claves del proceso a lo largo de la cadena de suministro. Dicho cruce de variables y calificación en la matriz se calificará con base en estudios previos, que hayan demostrado la influencia de unas variables en otras. Este análisis permite clasificar la capacidad de influencia que se tiene sobre las variables y así mismo evaluar las variables que son dependientes de otras.
4. A través del enfoque BPM se determinan los actores, procesos e interacciones donde se genera información relevante a la trazabilidad de la carne de res y que tienen impacto en la calidad de esta; como resultado de este paso, se obtendrá un diagrama de procesos elaborado en la herramienta Bonita Studio, contemplando las variables relevantes resultado del paso anterior.
5. Finalmente, se proponen mecanismos tecnológicos para la captura de datos a lo largo de la cadena de suministro y que son fundamentales para la trazabilidad de cara al consumidor y a los demás actores de interés.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN DE LA LITERATURA ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Las autoridades sanitarias y las compañías productoras de alimentos, en respuesta a la creciente preocupación de la calidad e inocuidad de los alimentos, han desarrollado sistemas de gestión, control y vigilancia (Gellynck & Verbeke, 2001), encontrando en gran parte como respuesta, la implementación de sistemas de trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro.

Diversas investigaciones han desarrollado y aplicado diferentes sistemas de trazabilidad aplicados a productos como los agrícolas, productos de la pesca y alimentos perecederos en general. Sin embargo, según Badia-Melis y su equipo (2015), los sistemas actuales de trazabilidad no permiten capturar y compartir la información de manera precisa y efectiva, además, su alto costo de implementación y la falta de personal entrenado para dichas actividades (Duan et al., 2017) constituyen una barrera para la industria. Dentro de otros factores, se ha determinado que la falta de homologación de normas a nivel mundial frente a requisitos de trazabilidad afecta el flujo de información entre cadenas de suministro, volviendo los productos más vulnerables al fraude (Españeira & SantaClara, 2016).

Países principalmente de la Unión Europea han tomado el liderazgo para implementar sistemas de trazabilidad y a la fecha, existe un gran número de proyectos que han sido desarrollados con el apoyo de los gobiernos locales (Pizzuti & Mirabelli, 2015). Actualmente, a través de tecnologías de información se pueden soportar sistemas de trazabilidad de alimentos; dentro de estos, se destacan el internet de las cosas, uso de blockchain, captura electrónica de datos, entre otros (Badia - Melis et al., 2015; Tian, 2016).

En Colombia, el único reglamento asociado en específico a trazabilidad animal a la fecha es la ley 1659 de 2013, siendo este el referente de los requisitos legales en Colombia frente a trazabilidad animal se puede observar que existe una baja disposición por reglamentar a todos los eslabones de la cadena de suministro en el país, ocasionando además una falta de armonización en la información que es dada a conocer al cliente. Desde el marco legal aplicable a sacrificio, desposte y comercialización, el decreto 2270 de 2012 de forma genérica menciona en el numeral 1.2.4 "Programa de trazabilidad. Todos los establecimientos dedicados a las actividades de beneficio, desposte, desprese y expendio, deben desarrollar, implementar y operar el programa de trazabilidad que para el efecto defina el Ministerio de Salud y Protección Social". El marco legal aplicable a trazabilidad y cadena cárnica en Colombia se puede ver en detalle en la tabla No. 1.

Actualmente, GS1 (organización sin ánimo de lucro que brinda soluciones de conectividad a las empresas) en conjunto con el Invima, se encuentran trabajando en una prueba piloto para la implementación de trazabilidad en la industria farmacéutica. Siendo este, un primer avance formal desde el gobierno y entidades adjuntas, para implementar sistemas de trazabilidad confiables en el país. (GS1, n.d., p. 1)

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Desde la implementación del decreto 1500 de 2007, a las redes y servicios locales, regionales y globales de alimentación se les está exigiendo habilitar un sistema de trazabilidad de inicio a fin en toda su cadena de suministro (Españeira & SantaClara, 2016; Storøy, Thakur, & Olsen, 2013b); contar con esto, abre las puertas hacia diversos mercados donde los productores pueden obtener un beneficio económico más elevado (Leal, 2005). Implementar la trazabilidad en cadenas de suministro, sin embargo, es una tarea que requiere innovaciones tecnológicas de análisis, transferencia y almacenamiento de datos, entre otros. Diversos autores han encontrado que los sistemas de trazabilidad que se han implementado a la fecha debido a la falta de tecnología, son sistemas vulnerables que pueden ser fácilmente manipulados o alterados, afectando la percepción del consumidor y su confianza hacia la industria (Gellynck & Verbeke, 2001; van Rijswijk & Frewer, 2008); a esto hay que sumarle que en Colombia, para la industria cárnica no ha sido exitosa la implementación de trazabilidad y ha faltado una mayor sinergia entre el gobierno y la industria para lograr casos de éxito, tanto así que la normatividad actual ha sufrido múltiples modificaciones y aún continúan en estudio y ajuste (Contexto ganadero, 2016; Rincón Ballesteros, Fonseca Ramírez, & Orjuela-Castro, 2017).

La falta de marcos referenciales en el país y mayor vigilancia para la implementación de sistemas de trazabilidad afecta no sólo a la industria sino al consumidor. En Colombia se estima que cerca del 40% de la carne de res comercializada es de origen ilegal (Zapata, 2018).

1.2. SITUACIÓN DEL SECTOR CÁRNICO A NIVEL MUNDIAL

De acuerdo con S. B. Smith, Gotoh, & Greenwood (2018) la demanda de carne como fuente de proteína esta creciendo a nivel mundial; sin embargo, la carne de res en muchos de ellos representa un consumo de menos de la mitad del total de carne consumida.

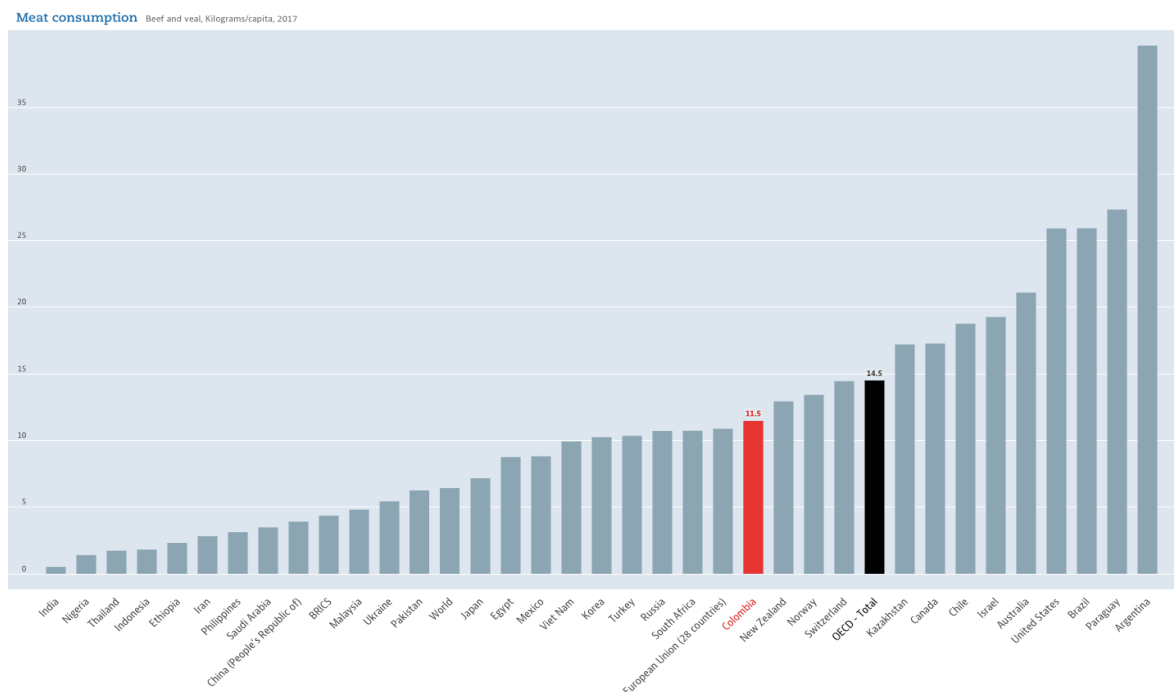
Se espera que, en países en desarrollo del sudeste asiático, la demanda de carnes especialmente las rojas, se duplique para el año 2050 debido a factores como el crecimiento poblacional, la mejora de las condiciones económicas y el cambio en las preferencias de consumo. Algunos de estos países son productores y otros importadores. Por ejemplo, en Indonesia la producción local solo abastece el 45% de su demanda, y el 90% de los productores son pequeñas granjas, por lo que deben abastecerse de mercados internacionales como Australia (Agus & Mastuti Widi, 2018). En Laos, la situación es similar, ya que el 98% de la producción la tienen pequeños granjeros en terrenos reducidos, que no logran suplir la demanda local por su baja productividad (S. B. Smith et al., 2018). Por otro lado, en Tailandia, la producción se destina 100% para el consumo local, con diferentes nichos de mercado incluyendo un segmento Premium, sin embargo, no están preparados aún para suplir las demandas de mercados internacionales como algunos países de la comunidad económica asiática que están proyectados a ser los más grandes mercados de carne de res (Bunmee, Chaiwang, Kaewkot, & Jaturasitha, 2018).

Después de Estados Unidos y Brasil, la Unión Europea es el tercer productor de carne de en el mundo produciendo 7.9 toneladas de canales al año (S. B. Smith et al., 2018). Su producción está distribuida entre pequeñas granjas, sistemas intensivos y extensivos. Hoy por hoy, la preocupación principal no gira en torno a la productividad sino hacia aspectos como el bienestar animal, impacto ambiental, autenticidad y origen de la carne, aspectos nutricionales y su calidad. Por esto, la industria cárnica se enfrenta a retos sin precedentes que la deben llevar a adoptar prácticas que le permitan tener una industria económica y ambientalmente sostenible. (Gellynck & Verbeke, 2001; Giraud & Amblard, 2003; S. B. Smith et al., 2018),

Según informe de la OCDE-FAO (FAO, 2016), en América Latina, el consumo de carne promedio es uno de los más altos a nivel mundial (58 kg/persona año) y se espera que continúe creciendo más rápido que el promedio global. El 85% del consumo de carne en esta región está acaparada por la carne de res y pollo, aunque se espera que el de carne de res descienda y el de pollo se incremente en un 10%. Colombia, por su parte tiene un consumo per cápita inferior al de otros países latinoamericanos - 11,5 kg/persona año – (OECD, 2018) y con una tendencia a la baja, siendo reemplazado su consumo principalmente por cerdo y pollo (Fedegan, 2018). en Colombia el 82% de la carne de res proviene de las fincas de pequeños productores, el 14% de medianos, y tan sólo el 4% de grandes productores (Díaz & Burkart, 2017).

La figura que se presenta a continuación relaciona el consumo per cápita anual de carne de res y ternera alrededor del mundo para el año 2017. Argentina, Paraguay y Brasil son los mayores consumidores de carnes con 39.6, 29.3 y 25.9 kg per cápita al año respectivamente.

Figura 2. Consumo mundial de carne de res y ternera per cápita al año, kg/percápita 2017



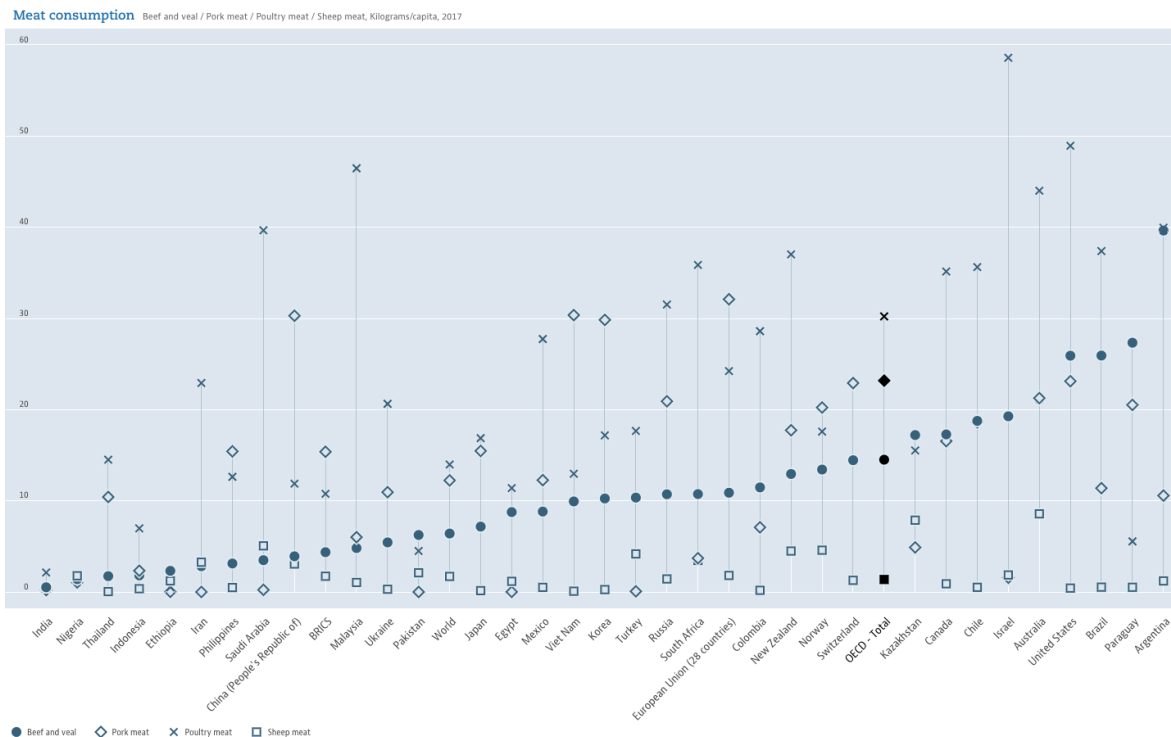
Fuente. OECD (2018)

En la figura 3 se puede observar un comparativo del consumo de diferentes tipos de carnes: res, pollo, cerdo y pescado y su consumo a nivel mundial en el año 2017. El promedio mundial indica que el pollo es la carne más consumida, seguida del cerdo y por último la carne de res y ternera llegando a 14.5 kg/ persona año.

1.3. MARCO LEGAL

En la cadena de suministro cárnica, numerosos casos de enfermedades en los animales, así como enfermedades transmitidas por los alimentos y casos de fraude alimentario, han atraído la atención no solo de las entidades gubernamentales sino de los consumidores que cada vez exigen más garantías del producto que están consumiendo (Gellynck & Verbeke, 2001; Giraud & Amblard, 2003; Mirowski, Marquez, Tamplin, & Turner, 2014; van Rijswijk & Frewer, 2008). Entre ellos se encuentran casos como el surgimiento de la enfermedad de las vacas locas o encefalopatía espongiforme que afectó más de 180.000 bovinos en 1986 (Houston, 2004a), el fraude alimentario más grande de Europa relacionado con carne de res sustituida por carne de caballo en 2013 (Lawrence, 2013) y el brote de enfermedades asociadas al consumo de alimentos con presencia de sustancias tóxicas y bacterias patógenas (Bennett et al., 2018; Chammem, Issaoui, De Almeida, & Delgado, 2018).

Figura 3. Consumo comparativo de carne de res, cerdo y pollo a nivel mundial, Kg/percápita, 2017



Fuente. OECD (2018)

Colombia ha tenido cambios importantes en cuanto a legislación de la industria cárnica en los últimos 12 años. Esto ha coincidido con el creciente interés de consolidar el sector agropecuario para la exportación de materias primas y productos (Díaz & Burkart, 2017). En la figura No. 5 se presenta la evolución en el marco legal aplicable en Colombia al segmento cárnico. Siendo el productor primario al que más se le han impuesto normas por parte del gobierno colombiano, seguido de las plantas de beneficio. Respecto a este eslabón de la cadena de valor, las plantas de beneficio han sido las más afectadas por la imposición de la normatividad ya que al momento de la expedición del decreto 1500, Colombia tenía un alto número de establecimientos sin modernizar, con prácticas rudimentarias que amenazaban la calidad de la carne (Díaz & Burkart, 2017). A diciembre de 2017, el Invima, entidad encargada de la vigilancia y control de este tipo de industria, había cerrado 388 establecimientos por incumplimiento de normativa sanitaria, contando a nivel nacional con 524 mataderos y plantas de desposte y desprese autorizadas, lo cual representa una reducción del 69% en número de establecimientos de esta índole con respecto al año 2008 (Invima, 2017).

En la tabla 1, se presenta una tabla comparativa de la legislación existente a nivel internacional (Estados Unidos y Europa) y nacional para ejercer vigilancia a lo largo de la cadena de la carne. En Estados Unidos, es la USDA la entidad que reglamente y vigila la producción primaria, mientras que la FDA es la encargada del sector manufacturero en este caso de la industria cárnica. En Europa, existe el consejo de la Unión Europea, quien establece las directrices y tiempos de acogimiento para que cada país las adopte en los plazos establecidos. En Colombia, existen principalmente cuatro actores que intervienen como entes regulatorios de la cadena cárnica (Ver figura 4).

Figura 4. Entes de control en la cadena de valor de la carne en Colombia



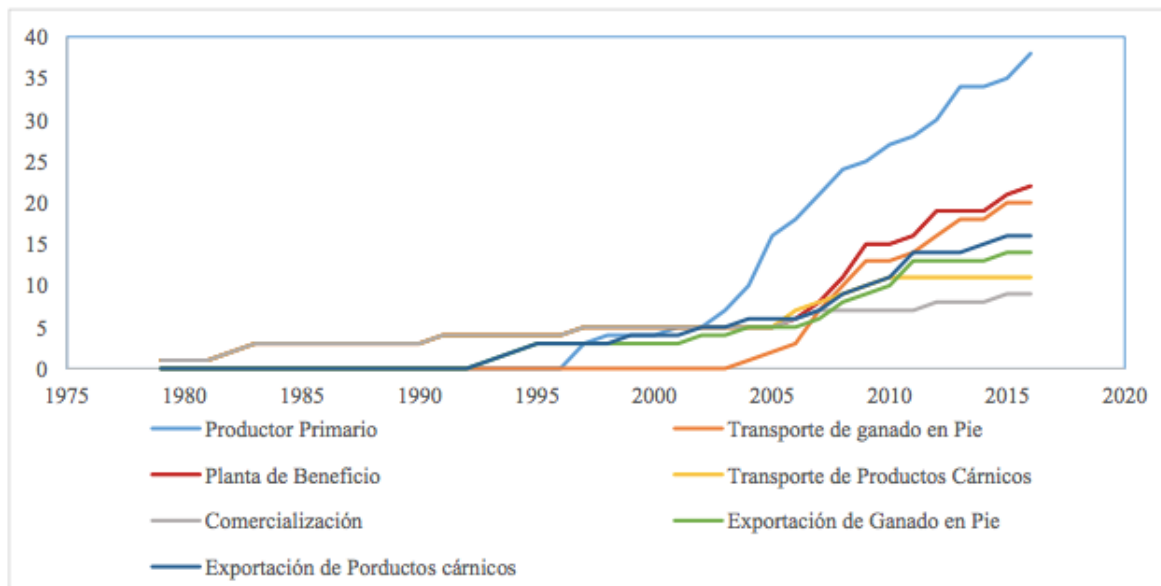
Fuente. Díaz & Burkart (2017)

Tabla 1. Legislación en la cadena de valor de la carne

Eslabón de la cadena de suministro	Criterio	NORMATIVA		
		Estados Unidos	Unión Europea	Colombia
Producción primaria	Regulación/prohibición del suministro de medicamentos a animales.	FD&C act. sección 500	Consejo directivo 96/22/EC	Ley 170 de 1994 resolución 1382 de 2013
	Producción primaria orgánica	OFPA 1990 sección 6503-6509	Regulación 1804 de 1999	Resolución 187 de 2006
	Sistema Nacional de Identificación, Información y Trazabilidad Animal	FSRI 2002.	Regulación 1760 de 2000 Regulación 1825 de 2000	Ley 1659 de 2013, Resolución 2341 de 2007
	Enfermedades	CCDA de 1903, NAHMS	Regulación 999 de 2001	Decreto 4765 de 2008
	Condiciones de los predios e instalaciones de producción primaria y transporte	No refiere	No refiere	Resolución 2341 de 2007, Resolución 2508 de 20121. Decreto 414 de 2007, Resoluciones 5131 de 2007 y 3278 de 2008
Transformación / Sacrificio	Métodos de sacrificio	Acto de inspección federal de carne sección 603b	Consejo directivo 93/119/EC	Decreto 1500 de 2007
	BPM y HACCP	9 CFR partes 317 and 381	Regulación 178/2002	Decreto 60 de 2002
	Condiciones de las instalaciones de sacrificio y desposte de animales de abasto	FMIA CFR 309	Directiva 64/433/EEC	Decreto 1500 de 2007
Producción y comercialización	Condiciones de las instalaciones, envasado, comercialización	FMIA	Directiva 64/433/EEC Consejo directivo 94/65/EC	Resolución 240 y 242 de 2013 Decreto 1282 de 2016
	BPM y HACCP	9 CFR partes 317 and 381	Regulación 178/2002	Decreto 60 de 2002
	Presencia de residuos contaminantes y medicamentos	U.S.C 138	Consejo directivo 96/23/EC	Resolución 1382 de 2013

Fuente. Adaptado de (Charlebois, Sterling, Haratifar, & Naing, 2014; Díaz & Burkart, 2017; Houston, 2004b; Schroeder & Tonsor, 2012)

Figura 5. Evolución del marco legal de la cadena cárnica en Colombia



Fuente. Díaz & Burkart, (2017)

1.4. LA TRAZABILIDAD EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

La trazabilidad en el sector de los alimentos ha tomado especial importancia, ya que es fundamental para ofrecer transparencia y seguridad a los consumidores que buscan determinadas características y calidad en un alimento (Españeira & SantaClara, 2016). Desde el punto de vista del productor, le permite asegurar la calidad y origen de las materias primas que están ingresando a la cadena de suministro, dándole acceso a certificaciones, acreditaciones, además de esto, le permite prevenir el fraude de alimentos y puede posicionar una marca en casos en los que se requieran respuestas ágiles para recogida de productos (recall) debido a defectos de calidad (Españeira & SantaClara, 2016). Sin un sistema de trazabilidad, sería difícil dar garantía, por ejemplo, sobre productos denominados “orgánicos”, “libres de GMO” entre otras declaraciones, así como minimizar la cantidad de producto defectuoso expuesto en un mercado ante los consumidores (Lees, 2003).

El origen del término trazabilidad, hace referencia a la historia del producto y a mantener registros de dicha historia. En palabras de la ley de la Unión Europea, “Trazabilidad es la habilidad de rastrear cualquier alimento, pienso, animal productor de alimentos o sustancia, que será usada para el consumo, a través de todas las etapas de producción, procesamiento, y distribución” (Official Journal of the European Communities, 2002). La necesidad de ejercer trazabilidad a lo largo de la cadena alimentaria se ha venido

desarrollando en la medida en que se logra la industrialización de los alimentos (Coff, Barling, Korthals, & Nielsen, 2008) lo cual ha ocasionado que se extienda la cadena de producción y comercialización de alimentos y por ende, existe mayor información intermedia de trazabilidad de estos.

1.4.1. OBJETIVOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAZABILIDAD

Coff et al., (2008) plantean cinco objetivos principales en la implementación de un sistema de trazabilidad, algunos de ellos cubren los objetivos de los otros. Sin embargo, es de resaltar que un sistema de trazabilidad nunca será desarrollado con el ánimo de cubrir sólo uno de estos:

- a) Gestión del riesgo e inocuidad alimentaria
- b) Control y verificación
- c) Gestión de la cadena de suministro y eficiencia
- d) Origen y aseguramiento de calidad de los alimentos
- e) Información y comunicación al consumidor

Algunos de ellos entrelazados entre sí, soportan o actúan en paralelo con los otros observándose, por ejemplo, que tres de ellos hacen referencia al impacto del alimento en la salud del consumidor (a, d, e). En otros casos como el b y c, se evidencia la relación directa con la sostenibilidad y competitividad de la compañía y, por último, el objetivo e da el sentido de la trazabilidad hacia el consumidor. Por su parte, Lees (2003) coincide con estos objetivos, y a su vez incluye uno fundamental que le da mayor competitividad a una organización, y es el cumplimiento de la normativa no sólo nacional, sino internacional.

La norma ISO 22005 establece que cada compañía debe contar con la información de trazabilidad de su proveedor inmediatamente anterior y su cliente inmediatamente posterior bajo el principio “one-up, one-down” resaltando que una débil comunicación en la cadena de suministro puede provocar alimentos no inocuos, es por ello que todos los eslabones de la cadena son fundamentales para el funcionamiento de un sistema de trazabilidad (Storøy et al., 2013b).

1.4.2. RETOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAZABILIDAD

Para brindar de forma correcta y oportuna la trazabilidad de los alimentos, la industria se ha encontrado con grandes retos, Espiñeira y Santa Clara (2016) los resumen a continuación:

Prevención de pérdida de información: El manejo de documentación durante la transformación de un alimento es fundamental para asegurar la trazabilidad. Los puntos donde la información de trazabilidad puede perderse, se denominan “puntos críticos de trazabilidad – CTP por sus siglas en inglés (De Cindio et al., 2011); dichos puntos se

presentan cuando la información de un producto o proceso no es vinculada a una unidad trazable (lote) y no es guardada sistemáticamente. Las recomendaciones que surgen para prevenir este hecho son: usar números únicos y estándares en las unidades trazables o lotes, documentar la relación entre los componentes que conforman el lote producido o transformado y los que serán entregados a otras etapas de la cadena de suministro, así como compartir a las partes interesadas la información correspondiente a la trazabilidad de forma tal que ellos puedan consultarla cuando sea necesario (Espíñeira & SantaClara, 2016).

Importancia de la estandarización de la información entre los diferentes actores de la cadena de suministro: Al hablar de la estandarización de información de trazabilidad se debe tener en cuenta que hay información que se genera dentro de la organización y otra que surge a lo largo de la cadena de suministro. Gestionar la trazabilidad interna de la organización no es tan compleja como lo puede llegar a ser la externa dado que la segunda requiere un mayor detalle en los niveles de comunicación (De Cindio et al., 2011; Tian, 2016). La trazabilidad interna puede trabajarse a partir de programas especializados, que a su vez se pueden vincular con los sistemas de producción y administración que tiene la empresa. En cuanto a la trazabilidad en la cadena de suministro, se requiere de una estandarización en cada etapa del proceso y en cada eslabón de la cadena, así como cada compañía depende de la veracidad y organización de la información que suministran otras compañías. Pese a que la información puede mantenerse de forma manual, es claro que los sistemas de información facilitan dichas operaciones y permiten el acceso a la misma en cualquier momento (Espíñeira & SantaClara, 2016).

Nivel de detalle de trazabilidad requerida: De acuerdo con los requerimientos legales, políticas internas de la compañía o requerimientos de clientes y consumidores, los niveles de detalle de un sistema de trazabilidad pueden variar y esto a su vez, puede implicar mayores o menores inversiones que una organización debe asumir (Badía - Melis et al., 2015; Coff et al., 2008; Storøy et al., 2013b).

Para ello, diferentes autores plantean la implementación de tecnologías que faciliten la recolección de información, almacenamiento de datos e intercambio de estos entre los diferentes operadores (Bahrynovska, 2017; H Russell Cross & Overby, 1988; Tian, 2016).

1.5. TRAZABILIDAD EN LA INDUSTRIA CÁRNICA

La reputación de la industria cárnica se ha visto severamente afectada en las últimas décadas, debido al impacto de noticias relacionadas con fraudes alimentarios, uso inadecuado de materias primas y aparición de enfermedades transmitidas por este tipo de alimentos (Carriquiry & Babcock, 2007; Lawrence, 2013). Cada día, es mayor el número de consumidores que han decidido tener un consumo responsable y consciente, dando prelación al origen de los productos que compran y su calidad (Calvo Dopico et al., 2016a).

Pese a que para muchos consumidores el término trazabilidad resulta ser confuso (Calvo Dopico et al., 2016b; Gellynck & Verbeke, 2001; Giraud & Amblard, 2003), recientes estudios han encontrado que se tiende a establecer una relación entre trazabilidad y seguridad alimentaria, así como con la calidad del producto (Chrysochoidis & Kehagia, 2006; van Rijswijk & Frewer, 2008). Estas características en la ciencia de la carne son el resultado de factores ante-mortem y post-mortem que son objeto de análisis en el presente documento, y aunque para el consumidor final no tengan tanta relevancia todos los atributos que se han mencionado, para el productor y comercializador son fundamentales, ya que le permitirán entregar un producto final de calidad como se podrá ver en el capítulo No. 2.1 (Españeira & SantaClara, 2016).

1.5.1. Técnicas de análisis para prevención del fraude e identificación animal

De acuerdo con Lees, (2003) Existen mecanismos que permiten a la industria validar la información suministrada en diferentes eslabones de la cadena de suministro, con el fin de asegurar la calidad e inocuidad y prevenir el fraude alimentario. A continuación, se dan a conocer algunas de las principales técnicas asociadas a la industria cárnica.

a. Análisis biométrico

Permite no sólo hacer seguimiento sino identificar a los animales de interés. Incluye escaneo del iris, análisis de retina y de ADN. Estos métodos son recomendados para la identificación individual de animales, lo cual puede ayudar a prevenir el fraude. Este método al ser complementado con el electrónico facilitaría la captura de datos y manejo eficiente de información (Shanahan et al., 2009).

b. Métodos mecánicos

Contemplan la demarcación de los animales a través de tatuajes y etiquetas en las orejas del ganado. Se consideran invasivos y nos eficientes para el manejo de trazabilidad (United States Patent No. US20080215473A1, 2008).

c. Métodos electrónicos

Incluye el uso de tecnologías como identificación por radiofrecuencia (RFID por sus siglas en inglés). Una de sus desventajas es que pueden ser removidos o pueden presentar daños o pérdida. Esta técnica también se emplea para la rápida transmisión de datos y será detallada en el numeral 1.5.2 (Liang, Cao, Fan, Zhu, & Dai, 2015; Liang et al., 2015; Shanahan et al., 2009; Storøy et al., 2013a).

d. Análisis por espectrofotometría

Este tipo de análisis permite identificar el origen de un alimento a través de la detección de minerales y trazas específicas presentes en la carne, ya que estos reflejan el tipo de suelo y ambiente del que estos provienen (Españeira & SantaClara, 2016). En estos casos, la espectrofotometría ofrece rápidos resultados en tiempo real, de bajo costo

comparado con otras técnicas, así como el uso de métodos no destructivos (Lees, 2003).

e. Análisis molecular

Empleado para la detección, identificación y autenticación de especies en productos cárnicos. Una de las metodologías moleculares más empleadas es la reacción en cadena de polimerasa (PCR por sus siglas en inglés) y sus variantes. Esta técnica también se ha empleado para cuantificar composición por especie en algunos alimentos procesados. También se ha conocido el uso de esta técnica para la identificación del sexo del animal, ya que existen mercados donde hay un mejor pago por la carne proveniente de machos que de hembras (Herrero, Royo, Lago, Vieites, & Espiñeira, 2013).

1.5.2. Tecnologías de información para captura e intercambio de datos

Cada etapa en la cadena de suministro arrojará resultados propios del control ejercido para asegurar la calidad de la carne en dicho momento, es en este punto, donde a través de tecnologías de la información, se puede lograr no solo la captura de datos, sino también intercambio de estos con otros actores de la cadena de suministro, clientes o entidades gubernamentales (stakeholders). A continuación, se resumen las diferentes tecnologías desarrolladas con el enfoque de captura y/o intercambio de datos.

- a. Captura de información con radiofrecuencia RFID: Un sistema de información por radiofrecuencia (RFID) consiste en la comunicación entre un interrogador y una etiqueta o transpondedor - término que tiene origen de la unión de dos verbos en inglés: *transmitter* (transmisor) y *responder* (contestador) (Pardiñas, 2012). Tanto el interrogador como la etiqueta, cuentan con una antena que transmite y recibe la comunicación en donde el transmisor envía la información y la etiqueta da la respuesta al lector (Espiñeira & SantaClara, 2016). El sistema más simple de rastreo a través de RFID consiste en poner una etiqueta al material que estará en movimiento, y ubicar estaciones fijas que se encargan de leer la ubicación del material a medida que se moviliza en una bodega, por ejemplo, facilitando su ubicación y comportamiento a lo largo de un proceso. En ganado, este tipo de etiquetas suelen ubicarse en los tejidos del animal a identificar, ya sea en las orejas, cuello o patas del animal. En sistemas de trazabilidad, esta tecnología también se ha empleado para la gestión de inventarios en planta, así como el uso de etiquetas activas, sensores y microcontroladores para la captura de información como pH, humedad, temperatura, entre otros (I. Smith, 2006), por otro lado, el control de la cadena de frío en alimentos perecederos puede ser soportado a través del uso de esta tecnología.

Unas de las desventajas de esta tecnología es la posible interferencia de señal que transmite la etiqueta en algunos ambientes, y que tamaños grandes de lotes pueden representar un elevado costo para el uso de RFID, sobre todo cuando los productos son de bajo costo y el uso individual de dichas etiquetas no representa un gran

beneficio dadas las características del alimento. Esto puede cambiar en la medida en que se logren reducciones en costos de las etiquetas que usan esta tecnología (Españeira & SantaClara, 2016; Herrero et al., 2013).

- b. Blockchain: De acuerdo con Oliver Wyman, firma internacional de consultoría a empresas, unos de los retos más grandes que enfrentan las cadenas de suministro, es la falta de transparencia debido a inconsistencia de datos o falta de estos, alta proporción de trabajo manual (papel) y limitada información correspondiente a procesos o transporte de alimentos. Por lo que, una de las tecnologías que ha emergido en años recientes, es la de blockchain. Inicialmente fue contemplada en el segmento financiero como un mecanismo seguro para el intercambio eficiente de valores, sin embargo, sus beneficios van más allá del ámbito financiero. Dicha tecnología se basa en la captura de datos inalterables en bloques que puede ser compartida con diferentes actores de la cadena de suministro. El hecho de que la información no pueda ser modificada y sea guardada de forma segura, así como transmitida a las partes de interés impacta en la reducción de costos gracias a un menor trabajo administrativo requerido.

En términos técnicos una cadena de bloques o blockchain es una base de datos (ledger) distribuida que registra bloques de información y los enlaza, almacenándolos simultáneamente en varios sistemas que pertenecen a entidades que comparten la misma información. Esto crea una red que es responsable de mantener y validar la información allí contenida. Dicha información no puede ser borrada y sirve como evidencia de las transacciones realizadas dentro de la base de datos (Bahrynovska, 2017; Jeppsson & Olsson, n.d.; Tian, 2016)

- c. El internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés): El propósito principal del internet de las cosas es vincular el mundo físico al digital de la siguiente forma: 1) recolección de datos de objetos reales 2) comunicar y agregar esos datos en información 3) Presentar resultados claros a usuarios o sistemas para que ellos puedan tomar decisiones o para adaptar el comportamiento del objeto en algunos casos. Esto se logra a través de la conexión de dispositivos que pueden tomar datos de la información intrínseca de los objetos, materiales o animales monitoreados, y sensores que mediciones externas del comportamiento como humedad, luz, entre otros (Ramundo, Taisch, & Terzi, 2016).

El internet de las cosas y blockchain pueden asistir la implementación de un sistema de trazabilidad a través de la continuidad de la información y veracidad de esta ya que esta es inmutable, brindando acceso rápido a la información para cada uno de los actores de la cadena de suministro autorizados y reduciendo las probabilidades de fraude alimentario (Tian, 2017).

- d. Softwares especializados: Gobiernos como el de Estados Unidos y Europa han establecido la obligatoriedad de sistemas de trazabilidad en las empresas de alimentos, siendo esto, por ejemplo, mandatorio desde enero de 2005 en Europa, y en el año 2002 un requerimiento para las grandes compañías de alimentos de Estados Unidos. A su vez, las grandes compañías han empezado a exigir a sus proveedores – grandes o pequeños – la implementación de trazabilidad para asegurar los productos suministrados (Españeira & SantaClara, 2016).

Teniendo en cuenta, que la trazabilidad es un sistema que permite rastrear, localizar o determinar la historia de un producto, y que esto a su vez implica tener el control de un gran número de artículos que a su vez componen un alimento, Españeira y Santaclara (2016) han establecido que una de las soluciones para esta amplia labor, es la implementación de softwares que apoyen el proceso y se encarguen de vincular todos los pasos para la obtención del producto. Esto, sin contemplar que un sistema completo de trazabilidad puede ser un insumo clave para otros procesos como contabilidad, administración de operaciones entre otros.

Los beneficios pueden ser más amplios, si se complementan con el uso de tecnologías como la ya mencionada de RFID, ya que la captura de datos y transmisión se logra de forma automática previniendo los errores humanos (Liang et al., 2015; Tian, 2016).

En el desarrollo de softwares para trazabilidad, cabe la posibilidad de enfocarlos hacia el consumidor, proveedores, o toda la cadena de suministro. El alcance y forma de presentación de los datos, así como la cantidad de estos a presentar, dependerá del nivel de detalle requerido. No es lo mismo un software de trazabilidad enfocado a la comunicación con el cliente, que un software de intercambio y consolidación de datos para proveedores.

1.6. BUSINESS PROCESS MANAGEMENT (BPM)

Para entender la definición de gestión de procesos de negocio o BPM por las siglas en inglés de “business process management”, es necesario reconocer inicialmente el concepto de proceso, para Chang (2005) un proceso en términos de negocios, es un flujo de actividades coordinadas y estandarizadas a través de personas o máquinas, que pueden atravesar límites departamentales o funcionales para lograr el objetivo del negocio, el cual es crear valor para clientes internos y externos.

Dumas, Rosa, & Mendling (2015) señalan que un proceso siempre involucra:

- Actores: Esto incluye actores humanos, organizaciones y softwares que actúan en nombre de humanos y organizaciones. Los actores pueden ser internos o externos,
- Objetos físicos: Equipos, materiales, productos y documentos.
- Objetos informativos: Tales como documentos electrónicos.

La ejecución de un proceso siempre conlleva a resultados, ya sean positivos o negativos. El actor que consume el resultado del proceso es denominado cliente. En el caso de resultados negativos, se hace referencia a aquellos que no aportan valor a la organización. Esto sucede cuando por ejemplo después de la venta de un producto, éste es devuelto por el consumidor debido a que no quedó satisfecho; también se puede generar insatisfacción en clientes internos cuando no se logra el resultado esperado en un proceso administrativo (Dumas et al., 2015).

Ahora, con el término gestión de procesos, se visualiza a la empresa como una red o sistemas de procesos. Para administrar un proceso, el primer paso es definirlo. Esto implica definir las tareas del proceso y mapear las relaciones entre cada tarea y los actores que intervienen. Una vez mapeado el proceso, se establecen las medidas de desempeño de este que permitan evaluarlo y desarrollar mejoras. Finalmente, la organización debe alinearse al proceso y trabajar en su estandarización (Chang, 2005; Dumas et al., 2015).

Integrando todos los conceptos anteriormente mencionados, Dumas et al. (2015) definen BPM como una estructura de métodos, técnicas y herramientas, para identificar, descubrir, analizar, rediseñar, ejecutar y monitorear procesos de negocio con el fin de optimizar su desempeño.

1.6.1. Ciclo de vida de BPM

Este modelo de gestión es considerado como un ciclo continuo en una empresa. Hammer dijo “Todo buen proceso, con el tiempo se convierte en un mal proceso” a no ser que este sea continuamente adaptado y mejorado de acuerdo con las necesidades del cliente interno y externo, así como el mercado en general.

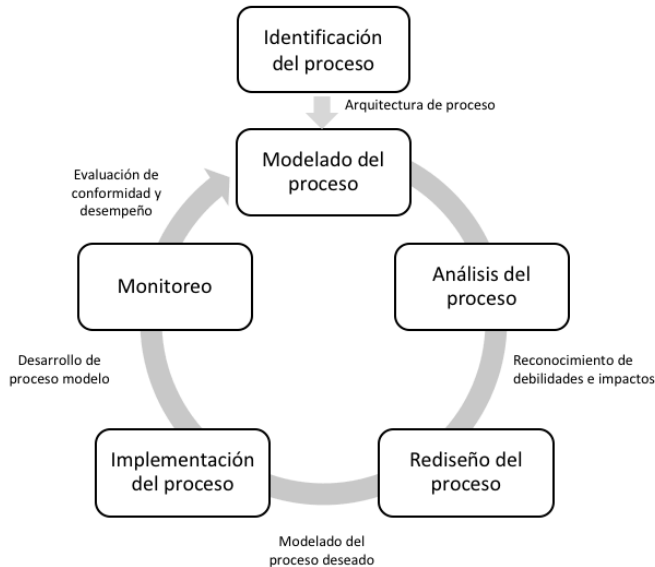
A continuación, se presenta el ciclo de vida del sistema de BPM en una organización (Dumas et al., 2015) (ver figura 6).

- Identificación del proceso: En esta etapa se identifica un problema en la organización. Los procesos relacionados a dicho problema se identifican, delimitan y relacionan con otros. El resultado de esta etapa debe ser la propuesta o arquitectura de un proceso nuevo o ajustado. Esta etapa debe hacerse en paralelo con la identificación de mediciones de desempeño adecuadas.
- Modelado del proceso: En esta etapa se documenta el estado actual de cada proceso.
- Análisis de proceso: Permite identificar los problemas asociados al proceso, documentarlos y cuantificar el desempeño. Como resultado se obtiene una priorización de los problemas con base en su impacto potencial y el esfuerzo requerido para resolverlos.
- Rediseño del proceso: también conocido como mejora del proceso, el objetivo es identificar los cambios necesarios para solucionar los problemas previamente

identificados, todo siempre con el objetivo de que la organización logre los resultados esperados.

- Implementación del proceso: los cambios que han sido propuestos previamente se implementan en esta fase, cubriendo dos aspectos: gestión del cambio organizacional (actividades requeridas para cambiar la forma del trabajo de los participantes del proceso) y automatización de proceso (desarrollo y ejecución de tecnologías de información, IT).
- Monitoreo del proceso: Una vez se han implementado cambios, se deben tomar mediciones de los nuevos resultados y analizarlos con el fin de evaluar el impacto de las medidas implementadas. Nuevos problemas pueden presentarse, para lo cual se deberá repetir el ciclo descrito.

Figura 6. Ciclo de vida de BPM



Fuente. Adaptado de Dumas et al. (2015)

El uso de IT es relevante en la implementación de BPM en una organización, sin embargo, esta debe ser considerada como una herramienta o instrumento para gestionar y ejecutar procesos y se debe trabajar de la mano con los expertos en los procesos con el fin de identificar y dar respuesta a acciones de mejora de estos (Chang, 2005).

1.6.2. Importancia del BPM en la trazabilidad de la industria cárnica

Entendiendo que un sistema de trazabilidad completo se debe dar a través de la comunicación a lo largo de la cadena de suministro, y que ésta debe ser tratada como una red no sólo de organizaciones sino de procesos, que deben llevarse a cabo de forma controlada, desde la crianza hasta la entrega al consumidor final, se considera la implementación del modelo BPM, como una herramienta de gestión que permite identificar los procesos, los actores y responsabilidades, así como las formas de comunicación y medición para asegurar una mejora continua a lo largo de toda la cadena de suministro (Verdouw et al., 2011).

Para entender el nivel de profundidad del modelado con enfoque “BPM” a continuación se comparan los niveles de abstracción de los métodos más populares de modelado de procesos.

1. Modelo de flujo de producto: Descripción de transformaciones básicas en la cadena de suministro desde la recepción de material prima, proceso y producto final.










2. Diagrama de flujo: control y coordinación de las transformaciones básicas en configuraciones específicas de cadena de suministro.
3. Diagrama de proceso de negocio: secuencia y flujos de información con control detallado y coordinación de actividades. Estos diagramas tienen múltiples niveles de abstracción para lo cual se usa una notación especial. El diagrama de procesos de negocio permite tener una vista global de los procesos principales, así como también un mayor detalle de subprocesos.

En el capítulo 3 se plantea el modelo BPM de trazabilidad en la industria cárnica, con el fin de asegurar el control de las variables, considerando que el valor generado de esta gestión consiste en asegurar la inocuidad de la carne y mostrar de forma transparente y continua al cliente y cada eslabón de la cadena de suministro, el proceso de obtención de la carne de res desde la granja hasta el consumidor final.

1.6.3. Uso de Business Process Modelling notation (BPMN)

BPMN traduce Notación para el modelado de procesos de negocio, el cual es un estándar definido por el Object Management Group (Román & González, 2012), con el fin de establecer una notación gráfica, que facilite la interpretación de un modelo de proceso de negocio para cada uno de los que intervienen en la operación. El BPMN se puede considerar como el lenguaje universal que utilizan todos los posibles actores (directores, accionistas, mandos medios, desarrolladores técnicos, entre otros) para comunicarse entre si de forma clara. Los principales símbolos empleados en BPMN se describen a continuación.

Tabla 2. Notaciones para BPM

Símbolo	Significado
	Inicio de evento
	Flujo de proceso
	Toma de decision
	Fin de evento
	Tarea humana
	Tarea de formulario
	Tarea recibir mensaje
	Tarea enviar mensaje
	Actividad de llamada

Fuente. Tomado de Bonita Studio software. (OMG, 2011)

1.7. CONCLUSIONES PRELIMINARES

La industria de alimentos debe evolucionar a medida que se desarrollan nuevos modelos administrativos y de gestión, y emergen nuevas tecnologías de información. De esta forma, se optimizan las operaciones y crean nuevos métodos para ser competitivos y dar respuesta a los requerimientos del mercado y de las entidades que regulan esta industria, que cada vez son más exigentes en aspectos legales y los requisitos del consumidor.

En este capítulo se dieron a conocer las técnicas y tecnologías que son aplicables a la trazabilidad y gestión de la cadena de suministro de la industria cárnica, permitiendo y facilitando el intercambio de datos entre actores y previniendo el fraude alimentario o alteración de resultados, todo en boga de asegurar alimentos inocuos al consumidor. Aún existen barreras de entrada que dificultan la implementación de estos desarrollos a las pequeñas y medianas industrias, sin embargo, se espera que cada vez puedan ser más accesibles a través de las economías de escala, para que de esta forma se contribuya a la seguridad alimentaria para todos sin restricciones.

El uso de modelación de procesos de negocio bajo la metodología descrita permite a las organizaciones identificar las actividades y momentos en los que se deben, por ejemplo, intercambiar datos con otros actores. Así mismo la notación para el modelado de este tipo de procesos facilita la interpretación de cada actividad, de forma tal que se identifica en que momento se toman decisiones, se deben intercambiar datos o correos electrónicos, llenar un formulario o realizar una tarea manual, entre otros.

Se debe tener en cuenta que el ciclo de vida de BPM implica realizar diseño de procesos y rediseño de estos, así como sus consecuentes etapas, el alcance de este documento implica un primer diseño que debe ser experimentado a lo largo de la cadena de suministro para evaluar su eficiencia. Adicionalmente, cada modelo de negocio podrá adaptar los procesos y actividades para que se adecuen a su funcionamiento en particular, por lo que el que se presenta en este estudio es la guía general que implica las actividades desde la crianza del ganado en pie hasta la comercialización final al consumidor.

CAPITULO 2 ANÁLISIS DE VARIABLES PARA EL SISTEMA DE TRAZABILIDAD

Existen diferentes variables que inciden directamente en la calidad del producto final, desde el proceso de crianza hasta la distribución y comercialización de la carne. Ahora bien, existe una gran subjetividad en el concepto calidad de la carne, diversos estudios en varios países y regiones han demostrado que los criterios de calidad varían significativamente, sin embargo, los aspectos más importantes son: buen sabor, jugosidad, terneza, fresca, nutritiva y bajo contenido de grasa (Grunert, 1997). A continuación, se presenta una clasificación por categorías de los atributos asociados a la calidad de la carne según Coma y Piquer (Coma & Piquer, 2000).

Tabla 3. Atributos de calidad asociados a la carne

Categoría	Atributos
Calidad Sanitaria	Higiene Microbiológica: Ausencia patógenos y residuos
Atributos Organolépticos	Color Terneza- Jugosidad Sabor y Olor Marmoreo o Cantidad de Grasa Visible
Valor Nutritivo	Cantidad de Grasa Composición de Ácidos Grasos Valor Proteico
Calidad Tecnológica ó Físico-Química	pH Capacidad de Retención de Agua Consistencia de la Grasa Separación de Tejidos Estabilidad Oxidativa
Calidad Social	Bienestar Animal Ambiente

Fuente. Coma y Piquer (2000)

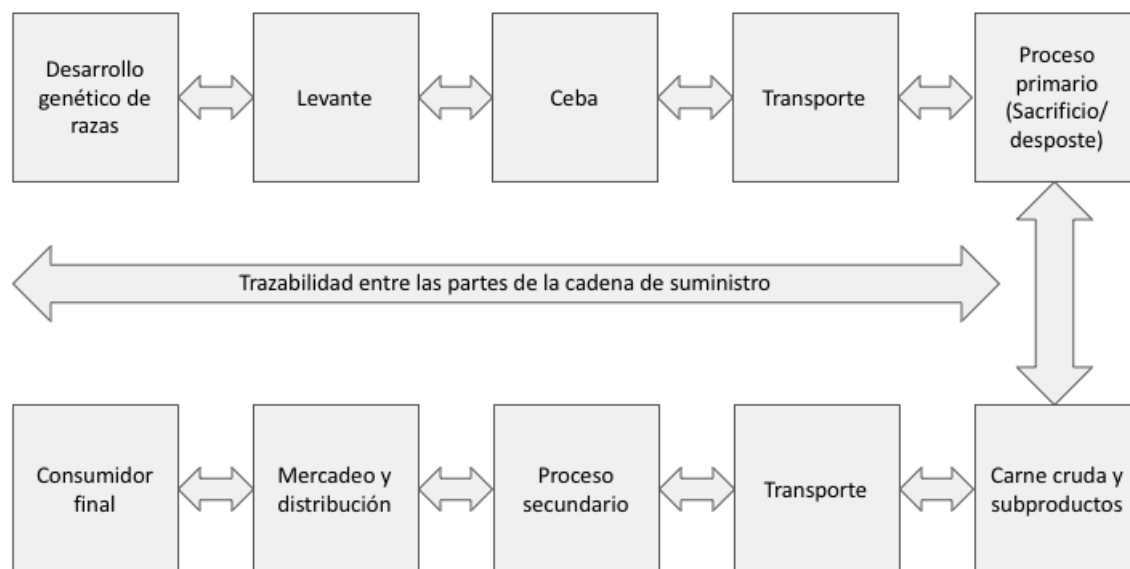
A través de una revisión bibliográfica se lograron recopilar las variables de mayor incidencia en la calidad e inocuidad de la carne de res, contemplando que la obtención de la carne se logra a través de múltiples actores a lo largo de la cadena de suministro y donde cada uno de ellos es responsable de asegurar y controlar los parámetros que se mencionan a continuación.

2.1. LA CIENCIA DE LA CARNE

De acuerdo con Toldra (2017), la ciencia de la carne es una disciplina que envuelve una gama de factores ante-mortem y post-mortem complejos que impactan la calidad del producto final. Cada uno de estos factores hacen parte de las variables controladas a lo largo de la cadena de suministro y son las que se deben ver reflejadas en la trazabilidad del producto como evidencia de un proceso controlado que cumple los requisitos de calidad especificados.

En la figura 7 se relacionan los aspectos claves en cuanto a trazabilidad y calidad de la carne a lo largo de una cadena de suministro extendida. Cada eslabón de esta cadena será evaluado en este capítulo con un enfoque hacia los factores que inciden en la calidad y trazabilidad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que un solo factor no es primordial en la calidad final de la carne, sino un conjunto de estos como se verá más adelante. Es por ello que es tan relevante que los diferentes actores de la cadena y stakeholders en general tengan acceso a esta información de forma transparente y oportuna.

Figura 7. Elementos clave de una cadena de suministro extendida en carne de res.



Fuente. Adaptado Mirowski et al., (2014)

2.1.1. CRIANZA

Las variables contempladas dentro de las tres primeras etapas de la figura 7, se agrupan dentro de la crianza del animal, como sigue a continuación:

2.1.1.1. Raza

Diversas investigaciones han demostrado qué si bien la raza tiene una influencia en la terneza de la carne, este factor es menos importante que otros que tienen un mayor efecto en las características finales de la misma (H Russell Cross & Overby, 1988; Kerry, 2009; Ouali et al., 2006). La principal razón que explica esta dependencia es la diferencia de tejidos conjuntivos y musculares que varían según la raza. Por otro lado, se ha evidenciado que el color de la carne puede variar según la raza del ganado (Ónenc et al., 1999).

2.1.1.2. Sexo

A comparación del factor anterior, las diferencias entre sexos son más notables cuando se evalúa la terneza de la carne. Diversas investigaciones han encontrado que a la misma edad, las hembras tienen carne más tierna que los machos, y a su vez los machos castrados son más tiernos que los toros enteros (sin castrar) (Boccard et al., 1979; Martin, Fredeen, & Weiss, 1971). Otros autores afirman que los machos presentan carne con mayor dureza debido a que desarrollan mayor contenido de colesterol y menor infiltración de grasa intramuscular (Onega Pagador, 2005). Por su parte, los machos castrados reducen la producción de testosterona lo cual a su vez minimiza la formación de colágeno en el músculo (H. R. Cross, Schanbacher, & Crouse, 1984). El sexo también se ha detectado como un factor relevante en el descenso de pH post-mortem y color final de la carne, existiendo mayor coloración en la carne de hembras y una caída de pH más lenta en toros que en las hembras, y en novillos un descenso moderado de pH (Montoya, 2014).

2.1.1.3. Castración

Como se mencionó anteriormente, la castración ha sido un factor de interés que se ha demostrado que puede influir en la calidad de la carne. De acuerdo con la castración torna a los animales más dóciles en corral y potrero, previniendo que se lastimen con los demás animales de la granja. A su vez, este comportamiento incide en el desarrollo menos complejo del tejido conectivo, que repercute en la dureza de la carne. Por otro lado, Nogalski et al., (2018) determinaron que a comparación de los toros, los novillos tienen niveles más bajos de pH, lo cual previene el agotamiento de las reservas de energía necesarias para bajar el pH post-mortem del músculo propiciando condiciones óptimas para la maduración posterior. Ese mismo estudio no encontró diferencias significativas en el color de la carne causadas por la castración de los machos.

2.1.1.4. Alimentación

De acuerdo con Onega (2005) “La alimentación incide sobre el valor sensorial y nutritivo de la carne, sobre su jugosidad su terneza, su sabor, el color, contenido de grasa y proteico.

Una alimentación mejorada, da lugar a un incremento en el marmoréo de la carne y al descenso de colágeno en el músculo, mejorando así la terneza de la carne”. Una dieta con buena fuente de hierro influye en el color de la carne, promoviendo un color más rojo (Priolo, Micol, & Agabriel, 2001).

2.1.1.5. Edad

Otro factor que influye en los parámetros de calidad de la carne es la edad de los animales. Se ha observado que, a mayor edad, la velocidad de caída de pH post-mortem aumenta, por lo que se pueden evidenciar pH más bajos en animales mayores (Purchas & Aungsupakorn, 1993) y una mayor probabilidad de formación de carnes DFD en animales jóvenes (Braghieri, Carlucci, Girolamil, & Napolitano, 2008; Toldra, 2017). La edad también es un aspecto relevante en la terneza de la carne, ya que se estima que el endurecimiento muscular comienza sobre los 30 meses de edad (Teira, 2004) debido a una mayor producción de colágeno (Shorthose & Harris, 1990). En cuanto al color, estudios han evidenciado que los pigmentos de la carne tienden a aumentar con la edad debido al incremento en la cantidad de mioglobina (Nogalski et al., 2018; Shorthose & Harris, 1990, 1990; Toldra, 2017)

2.1.2. TRANSPORTE A PLANTA DE BENEFICIO Y AYUNO

Muchos animales son cebados en lugares alejados de las plantas de sacrificio, requiriendo un paso adicional de transporte. Los animales son sometidos a estrés debido a la mezcla con otros animales, y son expuestos a temperaturas muy frías o cálidas, baja ventilación y manipulación por humanos durante el cargue y descargue, afectando el bienestar animal y las condiciones finales de calidad. Para contrarrestar los efectos del transporte, usualmente los animales son retenidos en un periodo de espera de algunas horas para reducir el estrés al que han sido sometidos (Toldra, 2017; Warriss, 1990). Se ha observado que los animales que han sido expuestos a condiciones de estrés durante el transporte o ayuno, tienden a presentar un color más oscuro de carne y una mayor capacidad de retención de agua (CRA), siendo más susceptibles al ataque de microorganismos que pueden generar sabores anormales (Montoya, 2014; Wythes, Arthur, Thompson, Williams, & Bond, 1981).

Según Toldra (2017), durante el transporte y el tiempo de espera previo al sacrificio, a los animales se les da acceso a agua más no alimentos. Existen dos razones principales por las que el animal se lleva a ayunar: 1) Reducir el contenido visceral para prevenir ruptura intestinal la cual conllevaría a una contaminación microbiológica de la canal 2) Reducir los niveles de glicógeno almacenados en el músculo de forma controlada para lograr un nivel de pH óptimo. Para Wittman et al., (1994) y Warris (1990), los máximos beneficios observables de ayuno se dan siempre y cuando no se superen las 24 h. Durante el tiempo de ayuno, se sugiere que haya disponibilidad de agua para el animal ya que se ha demostrado que reduce la tasa de pérdida de peso vivo (Sterten, Oksbjerg, Frøystein, Ekker, & Kjos, 2010; Wittmann et al., 1994; Wythes et al., 1981).

De acuerdo con Montoya (2014) “El manejo de la alimentación antes del proceso de beneficio afecta de manera relevante la velocidad de caída del pH post-mortem, es el caso de aquellos animales con altos niveles de estrés, que reciben alimentos el mismo día del beneficio, lo que puede generar carnes pálidas, blandas y exudativas (pale, soft and exudative; PSE), mientras que animales con ayunos prolongados generan carnes oscuras, firmes y secas (Dark, firm and dry; DFD)”.

2.1.3. PROCESO PRIMARIO - SACRIFICIO / DESPOSTE

El sacrificio es una etapa fundamental para la obtención de carne de calidad. En esta etapa, es necesario entender cómo se desarrolla la conversión del músculo en carne que se describe a continuación.

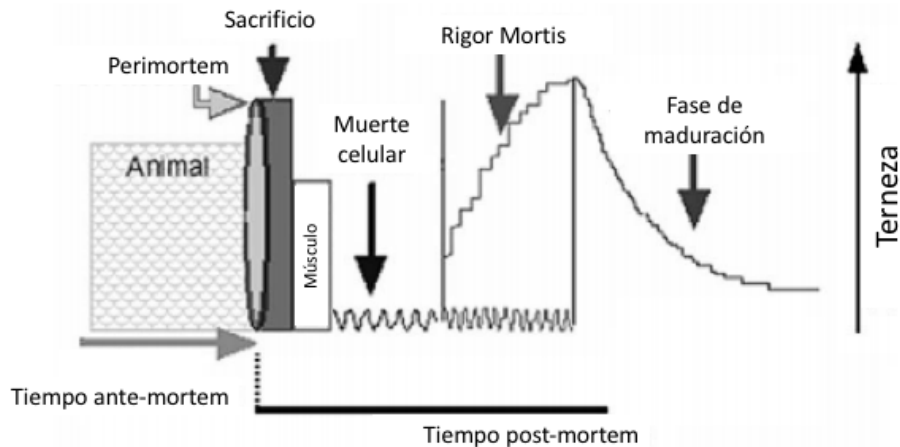
CONVERSIÓN DEL MÚSCULO EN CARNE

En el proceso de obtención de carne, se genera una transformación inicial del músculo animal. El músculo animal está compuesto por varios tejidos como el conectivo, tejido muscular y adiposo. De estos tejidos, el fundamental para dicha transformación es el tejido muscular (Montoya, 2014). En Colombia, el ministerio de la protección social (2007), define la carne como: “ la parte muscular y tejidos blandos que rodean al esqueleto de los animales de las diferentes especies, incluyendo su cobertura de grasa, tendones, vasos, nervios, aponeurosis y que ha sido declarada inocua y apta para el consumo humano”, es esperado que las autoridades regulatorias en cada paso definan el concepto de carne con el fin de asegurar que se haga un etiquetado correcto y se prevenga la adulteración de la misma, es por ello que dicho término puede variar de país en país.

Toldra (2017) menciona que el proceso de sacrificio consta básicamente de dos pasos: Insensibilización y desangrado. La insensibilización busca que el animal quede inconsciente y no perciba dolor sin que el corazón se detenga, con el fin de lograr un desangrado completo. Dicho proceso se puede dar a través de métodos que varían desde la aplicación de electricidad, medios físicos o químicos como el uso de CO₂. Para el caso del ganado bovino, el método más común es físico, a través de un golpe contundente en la cabeza. Una vez insensibilizado el animal, se procede al desangre del mismo a través de un corte en el cuello. Toldra también advierte que el tiempo de desangrado debe ocurrir lo más rápido posible para prevenir defectos visuales de calidad en la carne como manchas de gotas de sangre. La causa de muerte del animal se da por la pérdida de sangre (Toldra, 2017).

La conversión de músculo a carne se inicia con la muerte del animal, después del proceso de desangre, las células entran en un estado donde no reciben más nutrientes para su funcionamiento normal, por lo que ellas comienzan a realizar procesos de supervivencia. La conversión de músculo a carne se da en tres fases: la etapa de pre-rigor o apoptosis, el rigor mortis y la tenderización (Ver figura 8) (Montoya, 2014; Ouali et al., 2006).

Figura 8. Etapas de conversión del músculo en carne.



Fuente. (Ouali et al., 2006)

Durante el proceso post-mortem ocurren cambios importantes en la carne. La forma de su ocurrencia impacta directamente la calidad final del producto. A continuación, se mencionan algunos de esos cambios:

2.1.3.1. Rigor Mortis

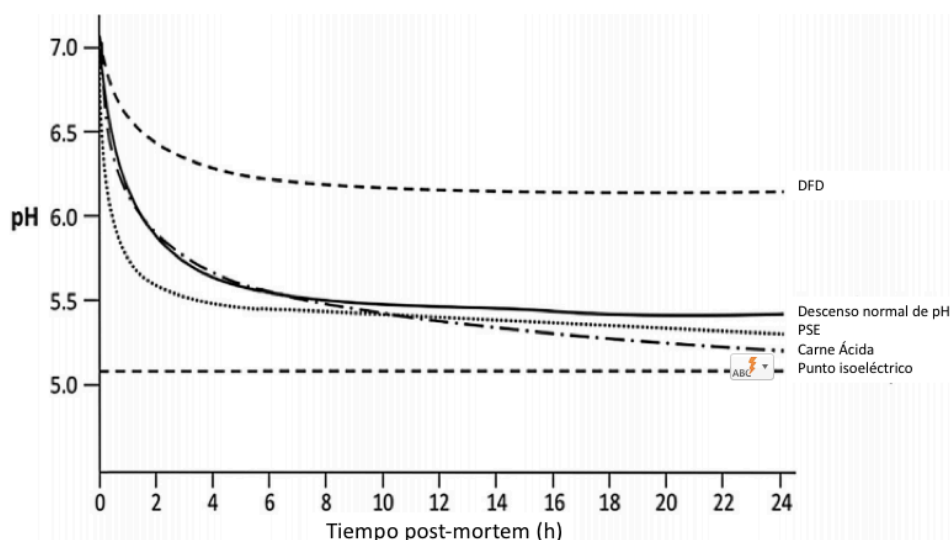
La interrupción del aporte de oxígeno al músculo después del beneficio da inicio a una producción de energía (ATP) en un medio anaeróbico, el cual es más ineficiente que en un medio aeróbico. En esta etapa, la tasa de hidrólisis de ATP excede su producción, produciendo el rigor mortis, que proviene del latín que indica "rigidez cadavérica". Finalmente, en la ausencia de ATP en el músculo, la actina se mezcla con la miosina ocasionando que el músculo pierda su flexibilidad. Este proceso ocurre entre 1 a 12 horas después del sacrificio y depende de condiciones como la especie del animal, tipo de fibra muscular y proceso ante y post mortem. Durante el almacenamiento posterior (maduración), se produce una degradación de proteínas en el citoesqueleto, lo cual ocasiona la pérdida de integridad de la estructura del músculo y, por ende, reduciendo su tensión (Fin del rigor mortis) (H Russell Cross & Overby, 1988; Kerry, 2009; Toldra, 2017; Warriss, 1990).

Otra de las variables que son alteradas durante el proceso de rigor mortis, es la acidificación. Durante el proceso anaerobio anteriormente mencionado, se produce ácido láctico, el cual se acumula en el músculo debido a la falta de mecanismos para su eliminación. Como resultado de esto, el pH declina desde un punto inicial de 7.2 a cerca de 5.6. La aceleración o retardo del proceso post-mortem influye directamente características propias de la carne como el color de la carne, textura y capacidad de

retención de agua (CRA). Además, factores ambientales antes, durante y después del beneficio del animal pueden alterar los valores de pH. Es por ello que deben conocerse y controlarse los factores que están directamente asociados con el cambio de pH (Purchas & Aungsupakorn, 1993).

En la figura No. 9 se observa la influencia de la tasa y el tiempo en el descenso del pH, así como la calidad de la carne obtenida bajo esas condiciones.

Figura 9. Tasas y tiempos en el descenso de pH.



Fuente. Toldra (2017)

El rango de pH deseado en la carne debe variar entre 5.5 y 5.7. Por el contrario, carnes con un pH superior a 6 conocidas como carne DFD, de sus siglas en inglés Dry, firm and dark que traduce seca, firme y oscura, tienden a presentar un color más oscuro y una vida útil más corta; una de las causas de este tipo de carne, está asociadas a la sobreexposición del animal a estrés previo al sacrificio, ocasionando que hayan niveles bajos de glicógeno y una subsecuente aceleración del proceso post-mortem que limitan la caída del pH (Onega Pagador, 2005; Toldra, 2017; Warriss, 1990).

En el lado opuesto, carne con un pH inferior a 5.4 presentará un color más pálido, no característico, así como una baja capacidad de retención de agua. Este tipo de carne se denomina PSE (Pale, soft, exudative por sus siglas en inglés) Pálida, flácida y exudativa, como resultado de un rápido metabolismo después del sacrificio cuando aún la temperatura de la canal es alta. La combinación de un pH bajo y alta temperatura lleva consigo a una desnaturalización de las proteínas en el músculo. Las especies que más están relacionadas

con este tipo de defectos son la porcina y el pollo. Las causas principales están relacionadas con genéticas y agentes que generan estrés en el animal antes del sacrificio. (Kerry, 2009; Montoya, 2014; Ouali et al., 2006; Toldra, 2017).

Como se puede observar en los tipos de defectos en carne, el estrés al que es sometido el animal en momentos previos al sacrificio juega un papel fundamental en la obtención de carne de buena calidad. La carne DFD está asociada a la exposición del animal a un estrés crónico, es decir con una larga duración, mientras que la carne PSE se relaciona al estrés que ha sufrido el animal en momentos previos al sacrificio (Onega Pagador, 2005; Toldra, 2017).

Tras la muerte del animal, la velocidad y temperatura de enfriamiento de la canal en las primeras horas, influencia la longitud de la carne y por ende la dureza de los músculos. Someter la canal a bajas temperaturas puede causar el denominado acortamiento por frío (Toldra, 2017). Se estima por ejemplo que si la canal alcanza una temperatura cercana a los 11°C antes de que el pH haya descendido por debajo de 6.2, los músculos se van a contraer, en la carne de res esto sucede principalmente a las 11 horas de sacrificio (Dransfield, 1994). Para prevenir el acortamiento por frío, numerosos autores han propuesto el uso de estimulación eléctrica durante el rigor mortis o estiramiento en el cuelgue de las canales (Kerry, 2009; Nogalski et al., 2018)

La velocidad y la temperatura de enfriamiento de la canal en las primeras horas tras la muerte tienen una gran influencia sobre la longitud y, por tanto, sobre la dureza de los músculos. Por el contrario, si se mantienen las canales a 37°C durante las primeras 2-4 horas post mortem, se incrementa la terneza (Roschen y col., 1950; Marsh y col., 1980) sin embargo se expone la carne a una contaminación microbiana (Farouk, Wiklund, & Rosenvold, 2009). En ese mismo sentido, Marsh y col. (1968) observaron que, manteniendo la carne en pre-rigor a unos 16°C hasta el comienzo del rigor mortis, se evitaba el acortamiento por frío y el consiguiente endurecimiento de la carne.

2.1.3.2. Etapa de maduración

Esta es la última etapa de conversión del músculo en carne, después de que se da el rigor mortis. En esta etapa suceden una serie de cambios fisiológicos y bioquímicos en la carne, los cuales son originados por procesos enzimáticos que consisten en la degradación de proteínas que conforman la estructura muscular. En esta etapa la variable de mayor influencia es la temperatura a la que se maneja la carne Farouk et al., (2009) teniendo una influencia en la longitud y dureza de la carne. Onega Pagador, (2005) menciona que la tasa de maduración de la carne es inicialmente más rápida y con el tiempo continúa desarrollándose, pero a una velocidad inferior. En este punto, no sólo se considera relevante el desarrollo de la maduración en la carne, sino su inocuidad y calidad. Múltiples autores coinciden en una temperatura de conservación en refrigeración óptima de -1.5°C a 4°C (Dransfield, 1994; Farouk et al., 2009; Kerry, 2009; Montoya, 2014; Onega Pagador,

2005; Toldra, 2017). A continuación, se describen las etapas principales donde se debe controlar el proceso de maduración de la carne.

2.1.3.3. Desposte

El término desposte hace referencia a la actividad de separación de carne del tejido óseo de la canal (Gómez, Rodríguez, Zambrano, & Gonzalez, n.d.). En países en desarrollo es común observar que el proceso de desposte se realiza en caliente, es decir, una vez pasada la etapa de sacrificio, no se enfría la canal, sino que se procede a despiezarla aun cuando se encuentra en etapa de rigor mortis. Esta práctica tradicional ocurre entre otras cosas, con el fin de ahorrar energía en el enfriamiento, espacio y mano de obra (Pearson, 2013). Diversos estudios han evidenciado que el desposte en caliente es contraproducente para la calidad y terneza de la carne debido a que puede promover el desarrollo de microorganismos y acortar el músculo debido a un insuficiente tiempo post-rigor y a que se someten los cortes separados al frío una vez realizado el desposte, provocando a su vez una mayor merma (Onega Pagador, 2005), a excepción de carne despostada en caliente para ser posteriormente destinada a un proceso de transformación, donde según Farouk (2009) y Pearson (2013) no se ve afectada la calidad de la carne ni el proceso en que es empleada.

Posterior al desposte, la carne debe ser almacenada durante un tiempo para continuar el proceso de maduración. Existen dos tipos comerciales de maduración de la carne: maduración en seco y maduración húmeda. En la maduración en seco, la carne es almacenada en un cuarto con temperatura controlada sin ningún envase, mientras que la maduración húmeda se lleva a cabo con el producto envasado al vacío y a temperatura de refrigeración (Laster et al., 2008). Los tiempos óptimos de maduración varían de acuerdo con las temperaturas de almacenamiento; se ha reportado que tiempos prolongados favorecen la textura y el sabor de las propiedades de la carne. Sin embargo, se ha establecido un tiempo óptimo de maduración en seco entre 14 y 21 días, mientras que, para maduración húmeda, entre 7 y 10 días es lo recomendado a una temperatura entre 0 – 1°C (Khan, Jung, Nam, & Jo, 2016). La maduración en seco incrementa el costo del producto por la pérdida de agua que sufre la carne en el almacenamiento, caso opuesto en la carne madurada empacada al vacío que contiene la exudación dentro del envase y la reduce, aunque en esta se incrementa levemente el precio comparado con una carne sin madurar, el costo no es tan elevado con el primer proceso por lo que la mayoría de las carnes maduras durante su comercialización se pueden obtener en la presentación de maduración húmeda (Laster et al., 2008). Esta investigación se enfocará en la segunda forma de maduración.

2.1.4. ENVASADO

El desarrollo de la tecnología de envases ha llevado a extender la vida útil de las carnes hasta por 16 semanas, permitiendo a los productos una facilidad de acceso a mercados más lejanos (Toldra, 2017). Uno de los principales métodos de conservación de carne, es

el empaçado al vacío, por medio del cual se extrae el oxígeno del interior de la bolsa para prevenir la oxidación de la carne, limitar el metabolismo microbiano y así prolongar su vida útil (Toldra, 2017). Los materiales para envasado de carnes frescas más usados en la industria son polipropileno, poliamidas, poliestirenos, etileno vinil alcohol o la mezcla de varios de estos con el fin de combinar funcionalidades y lograr un óptimo desempeño (Toldra, 2017). También se ha evaluado recientemente el uso de materiales biodegradables con o sin componentes antimicrobianos que buscan extender la vida útil. Los resultados han mostrado tener impacto en una mayor conservación de la carne, comparando a la durabilidad de una carne fresca sin ningún tratamiento, sin embargo, por si solos no han superado los resultados del envasado al vacío en los materiales anteriormente mencionados.

Las características de la carne fresca son fundamentales durante la decisión de compra. El cómo son percibidos dichos atributos variará de acuerdo con la percepción de cada consumidor: color, olor, apariencia, textura, entre otros. El color por ejemplo es un parámetro fundamental, ya que se convierte en el único que puede ser evaluado sensorialmente antes de la compra (Toldra, 2017). El color de la carne es dado por la mioglobina presente en la carne, y su nivel de concentración dependerá de múltiples factores como la alimentación, genética, actividad física entre otros (Toldra, 2017). La conservación a través del empaque al vacío previene la oxidación de las grasas y garantiza una mayor vida útil, sin embargo, en ausencia de oxígeno la mioglobina de la carne se transforma en deoximioglobina, tornándose de un color pardo oscuro. Una vez la carne es expuesta al oxígeno, el color rojo característico de la carne volverá a ser el color atractivo característico (Toldra, 2017).

Otra transformación que se genera en las carnes empacadas al vacío tiene que ver con la formación de olores provenientes del metabolismo microbiano y la transformación de componentes de la carne, tales como ácido láctico, glucosa, aminoácidos, proteínas entre otros, los cuales son transformados en componentes con amonio, sulfuros, aminas que producen olores no deseados (Toldra, 2017).

2.1.5. ALMACENAMIENTO

De acuerdo con Smith et al. (1978), la velocidad de reducción de dureza de la carne es más rápida durante los diez primeros días de almacenamiento. En su investigación, comprobó que el 80% de la maduración deseada se logra en ese tiempo. Después de estos días el tiempo la velocidad se hace más lenta y las diferencias no son significativas.

Toldra (2017) resalta que el corte de carnes en partes más pequeñas, el agua contenida en el músculo tenderá a exudar. Entre mayor sea el área de corte, mayor será la pérdida de humedad. Adicionalmente, la presión ejercida por el envasado al vacío también puede favorecer la pérdida de peso por goteo. Durante el almacenamiento se recomienda no

extender el tiempo a más de tres semanas para prevenir la merma del producto y evitar las fluctuaciones de temperatura.

2.2. CLASIFICACIÓN DE VARIABLES DEL SISTEMA DE TRAZABILIDAD

Para efectos de la presente investigación, se clasificaron las variables que inciden en el sistema de trazabilidad desde un punto de vista significativo o consecuente, en el cual como su nombre lo indica son el resultado del control ejercido sobre las variables significativas.

Para tener en cuenta, las variables significativas se contemplaron aquellas que afectan de forma directa la calidad sensorial y la inocuidad del producto. La calidad sensorial hace referencia a todos los atributos que el potencial consumidor o consumidor final puede percibir a través de sus sentidos, y que lo llevan a tomar una decisión de compra o recompra respectivamente. Aunque, algunas de estas variables no son de conocimiento directo del consumidor, si son inherentes al producto final esperado, por lo cual es de vital importancia su control a lo largo de la cadena.

Por otro lado, la palabra inocuidad de acuerdo con el ministerio de salud de Colombia, hace referencia a “el conjunto de condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de alimentos para asegurar que una vez ingeridos, no representen un riesgo para la salud”. Se debe tener en cuenta que, al estudiar la ciencia de la carne, no se puede desligar el concepto calidad de inocuidad.

2.3. ESTUDIO DE CORRELACION DE VARIABLES

En la presente investigación, se empleó la metodología de prospectiva para determinar la correlación de las variables que influyen en un sistema de trazabilidad de la industria cárnica. De acuerdo con Arango Morales & Cuevas (2014), la prospectiva busca determinar cual es el impacto que ejercerán ciertas variables en un resultado. Este es un análisis que permite realizar planeación frente a futuros problemas y anticiparse a ellos de forma estratégica.

METODO MIC MAC

Su nombre deriva del acrónimo: matriz de impactos cruzados, multiplicación aplicada a una clasificación). Es uno de los programas más usados para realizar este tipo de estudios de correlación de variables.

Teniendo en cuenta los conceptos de la ciencia de la carne y que, en la obtención de ésta, influyen diferentes variables no sólo cuantitativas sino cualitativas, de forma individual o simultáneamente, se estableció el método Mic Mac para realizar el análisis estratégico del sistema de variables con el fin de reducir la complejidad de la relación de estas e identificar aquellas que tienen mayor influencia o dependencia sobre otras. De esta forma, el resultado permite clarificar el comportamiento las variables identificadas en el sistema, y seleccionar

de forma estratégica aquellas que requieren atención prioritaria por ser variables clave o determinantes con base en su influencia sobre otras variables.

Limites del método: De acuerdo con Pérez Uribe & Vargas (2016) los límites se deben “al carácter subjetivo de la lista de variables elaboradas durante la primera fase, tanto como las relaciones entre las variables, por ello es de gran interés la relación con los actores del sistema. En otro, la matriz contiene las relaciones de intensidad muy diferentes de la cual hay que tener en cuenta entonces el tratamiento” por lo que se concluye que “tales resultados nunca deben ser tomados al pie de la letra, sino que su finalidad es solamente la de hacer reflexionar”. Adicionalmente, concluyen que en un análisis estructura con Mic Mac “el 80% de los resultados obtenidos son evidentes y confirman la primera intuición y, sobre todo, dan valor el 20% de los resultados contra intuitivos”

Mic Mac, identifica las variables clave para el análisis estructural y permite reconocer las variables dependientes e independientes. Para esto, se debe como paso inicial, listar las variables a evaluar. Ver tabla 7. Estas variables fueron extractadas a partir de una revisión bibliográfica referente a la producción primaria y ciencia de la carne identificando aquellas que inciden de forma directa o indirecta en la percepción final de la calidad para el consumidor.

Tabla 4. Definición de variables para el estudio de relación

Variable	Nombre corto	Descripción
Raza	Raza	Grupo homogéneo de una misma especie que se distingue de otros por contar con características externas e internas definidas*.
Sexo	Sexo	Hembra o macho
Castración	Castrar	Método para extirpación de testículos de un animal macho*
Alimentación	Alimento	Define el tipo de alimentación del animal
Edad de sacrificio	Edad	Edad que alcanza el animal para la producción de carne
Transporte	Transporte	Método de movilización del animal a la planta de sacrificio
Ayuno	Ayuno	Tiempo previo al sacrificio en el que se suspende la alimentación sólida al animal
Método de sacrificio	Sacrificio	Tipo de sacrificio al que el animal es sometido para la obtención de carne
Maduración	Maduración	Proceso en el que se buscan optimizar las características de la carne para mejorar su calidad sensorial*
Temperatura de desposte	T desposte	Temperatura del ambiente en el que se separa el hueso de la carne del animal
Método de conservación	Conservación	Tipo de proceso para asegurar la conservación de la carne

Almacenamiento	Almacenamiento	Condiciones a las que es sometida la carne después de su obtención
Tratamiento térmico final	Trat. Térmico	Forma de preparación culinaria de la carne
Comunicación en la cadena de suministro	CCS	Intercambio de comunicación continua a lo largo de la cadena de suministro de la carne.
pH	pH	Determina el nivel de acidez de la carne*
Color	Color	Aspecto sensorial percibido a través de la vista*
Sabor	Sabor	Característica percibida a través del gusto*
Textura	Textura	Sensación al ejercer acción mecánica en la carne*
Jugosidad	Jugosidad	Liberación de los jugos de la carne al ejercer acción mecánica*
Olor	Olor	Sensación percibida a través del olfato*
Capacidad de retención de agua	CRA	Capacidad de retención de agua.

Fuente. El autor

*Definiciones tomadas de Toldra (2017)

Esta información fue ingresada posteriormente al programa Mic Mac para hacer la simulación y clasificación de variables, ver tabla No. 8. Una vez listadas y definidas las variables, Godet (1994) sugiere en el método, asignar un valor correspondiente al impacto de unas variables sobre otras en una matriz, ver tabla No. 9. El llenado de la matriz es cualitativo y se realiza respondiendo a la siguiente pregunta para cada pareja de variables: ¿existe una relación directa entre la variable a y la variable b? Si la respuesta es No, se asigna el valor “0”, si la respuesta es afirmativa, se responde “1” si la relación es débil, “2” si la relación es media, “3” si la relación es fuerte y “P” si la relación es potencial.

El objetivo del análisis estructural según Arango y Cuevas Godet, (1994), “es determinar cuáles son las variables más recurrentes de influencia que hay y cómo esta influencia es determinante sobre el resto de las variables, de tal forma que se le pondrá una atención especial a las variables clave, ya que son ellas las que identificarán los elementos más impactantes en el plano llamado de influencia y dependencia”. A continuación, se presenta la matriz resumen de la calificación de las variables y su influencia en las otras. La lectura se hace de la siguiente forma: Que escala de influencia tiene la variable de cada fila sobre la variable de cada columna. Como su nombre lo indica, Mic Mac hace un análisis cruzado y correlaciona cada una de las variables.

Tabla 5. Matriz de variables cruzadas.

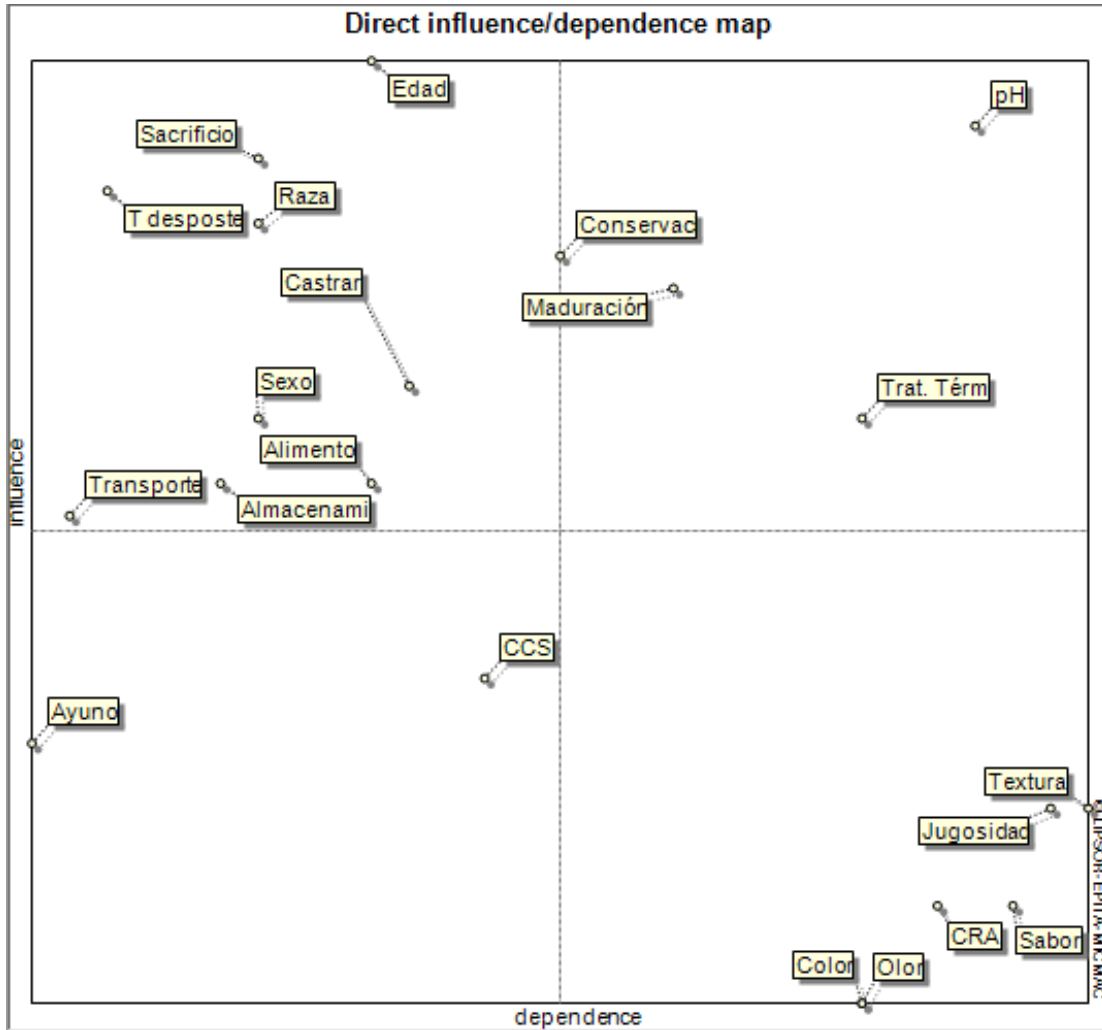
	1 : Raza	2 : Sexo	3 : Castrar	4 : Alimento	5 : Edad	6 : Transporte	7 : Ayuno	8 : Sacrificio	9 : Maduración	10 : T desposte	11 : Conservaci	12 : Almacenami	13 : Trat. Térm	14 : CCS	15 : pH	16 : Color	17 : Sabor	18 : Textura	19 : Jugosidad	20 : Olor	21 : CRA
1 : Raza	0	1	2	2	1	1	0	1	2	0	1	0	0	1	2	1	3	3	2	P	1
2 : Sexo	1	0	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	P
3 : Castrar	1	1	0	1	1	0	0	2	3	0	0	0	0	1	2	1	1	2	2	1	P
4 : Alimento	2	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	P
5 : Edad	2	2	3	3	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2
6 : Transporte	0	P	1	0	1	0	1	1	1	0	2	0	0	1	3	1	1	1	1	P	P
7 : Ayuno	1	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	P	P	P	P	0	P
8 : Sacrificio	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	2	1	1	3	2	2	2	2	2	2
9 : Maduración	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	1	2	2	2	3	3	3	1
10 : T desposte	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	1	2	1	3	2	2	2	2	2	2
11 : Conservaci	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	1	2	3	3	3	3	3
12 : Almacenami	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2
13 : Trat. Térm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	3	3	3	3	3	3
14 : CCS	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15 : pH	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	1	2	1	0	3	3	3	3	2	3
16 : Color	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 : Sabor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
18 : Textura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
19 : Jugosidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
20 : Olor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21 : CRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0

© LPSOR-EPITA-MICMAC

Fuente. El autor. Elaborada en Mic Mac

Una vez se realiza el análisis en el sistema, se genera un informe del cual se extraen gráficas de relación de influencia directa e indirecta contra dependencia, que permiten el análisis de las variables estudiadas. El objetivo de este estudio es definir cuáles son las variables más recurrentes de influencia, y cómo este nivel de influencia es determinante sobre el resto de las variables. Las variables a través del gráfico (Ver figura No. 10) pueden clasificarse en variables de entorno, variables reguladoras, palancas secundarias, variables objetivo, variables clave, variables resultado, variables autónomas y variables determinantes según Godet (1994).

Figura 10. Mapa de influencia/dependencia directa

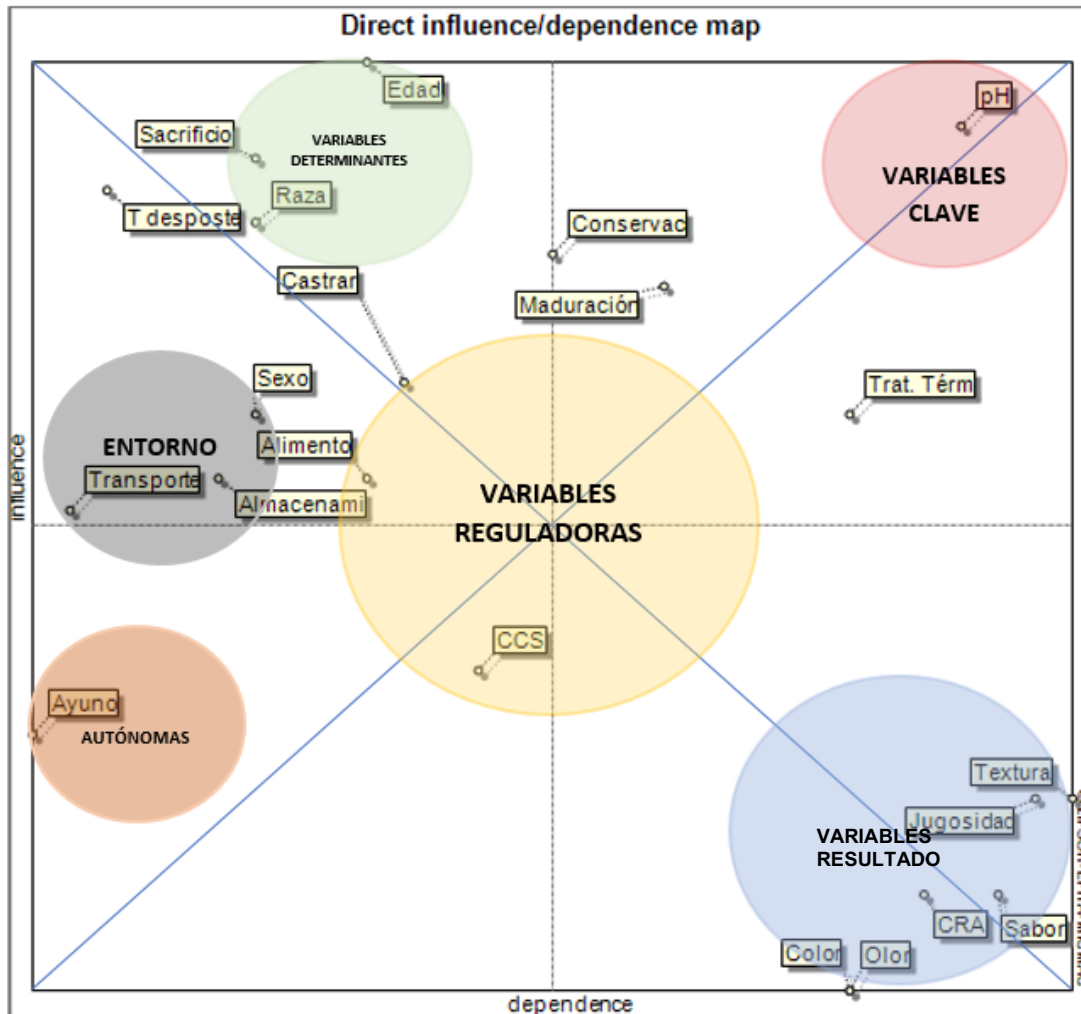


Fuente. El autor. Elaborado en Mic Mac

2.4. ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE CORRELACIÓN

De acuerdo con Godet (1994), según la distribución de cada variable en el plano (Ver figura 11), se pueden distinguir los tipos de variables según la influencia de estas sobre otras. A continuación, se describe el significado de cada variable y su importancia en este análisis de correlación.

Figura 11. Clasificación de variables



Fuente. El autor. Adaptado de informe Mic Mac

Arango Morales & Cuevas (2014) relacionan una forma de interpretar el plano y la ubicación de cada una de las variables como se describe a continuación:

Variables Determinantes

Se encuentran en la zona superior izquierda del plano de influencia y dependencia, son las variables que según su evolución a lo largo del periodo de estudio se convierte en frenos o motores del sistema. Estas pudieran ser propulsoras o inhibidoras del sistema. El objetivo es que sean propulsoras y determinen las conductas adecuadas del sistema.

- Edad
- Sacrificio
- Raza

Estas variables son altamente motrices, por lo que los actores del sistema pueden controlarlas y modificarlas con el fin de obtener los resultados esperados. En este sentido, y como ya se mencionó anteriormente, factores como la edad de sacrificio y la raza son claves para la producción primaria y tienen efectos fundamentales en la calidad final del producto. Por otro lado, el proceso de sacrificio debe ser llevado a cabo en lugares especializados que aseguren factores de inocuidad y control del estrés de animal, ya que esta etapa puede llegar a ser más concluyente que otras variables analizadas en este estudio.

Variables Entorno

Son las variables con escasa dependencia del sistema, pueden ser consideradas un decorado del sistema. Se encuentran en la zona media de la parte izquierda del plano de influencia y dependencia. El objetivo es complementar su valor agregado al sistema.

- Almacenamiento de producto
- Sexo
- Transporte

Estas variables, a pesar de no ser primordiales, tienen un nivel de influencia media en la calidad del producto final. Se evidencian variables a controlar en producción primaria, pre mortem y post mortem.

Variables Reguladoras

Son las variables situadas en la zona central del plano de influencia y dependencia, y se convierten en llave de paso para alcanzar el cumplimiento de las variables clave. Determinan el buen funcionamiento del sistema en condiciones normales. Se sugiere evaluar de manera consistente y con frecuencia periódica estas variables.

- Castración
- Comunicación en cadena de suministro
- Alimento

Tanto la castración como la alimentación son variables que provienen de la producción primaria. Hasta el momento y de acuerdo con la clasificación de las variables mencionadas, el productor primario y los controles que ejerza tienen incidencias directas e indirectas sobre la calidad final del producto.

La comunicación en la cadena de suministro es una de las variables que como se menciona, regula el cumplimiento de los requisitos y controles exigidos a lo largo de la cadena. Debe monitorearse y esto se puede hacer a través de la metodología BPM propuesta. Se puede así mismo, considerar que la alimentación está ligada a una comunicación transparente en la cadena de suministro, ya que el comprador de ganado en pie a pesar de no ejercer control directo sobre la finca, si puede establecer criterios de compra que incluyan el régimen de alimentación, para lo cual la implementación de tecnología BPM y las herramientas tecnológicas descritas juegan un rol fundamental.

Palancas Secundarias

Son las variables complementarias a las variables reguladoras, actuar sobre ellas significa hacer evolucionar las variables reguladoras que a su vez afectan a la evolución de las variables clave. En el plano de influencia y dependencia se encuentran ubicadas debajo de las reguladoras, en este caso tampoco se encontraron este tipo de variables.

Variables Objetivo

Son las variables que se ubican en la parte central a la derecha en el plano de influencia y dependencia. Son muy dependientes y medianamente motrices, de ahí su carácter de tratamiento como objetivos, puesto que en ellas se puede influir para que su evolución sea aquella que se desea. No se encontraron variables objetivo. Sin embargo, la variable más cercana a esta clasificación es el tratamiento térmico.

Variables Clave

Son las variables que se encuentran en la zona superior derecha del plano de influencia y dependencia también nombradas variables reto del sistema. Son muy motrices y muy dependientes, perturban el funcionamiento normal del sistema, estas variables sobre determinan el propio sistema. Son por naturaleza inestables y se corresponden con los retos del sistema. En resumen, deben continuamente tener retos que propicien el cambio del sistema a un nivel más óptimo.

- pH

El pH es la variable fundamental para monitorear a lo largo del proceso post mortem, y es considerada una variable muy dependiente y muy motriz ya que su desempeño depende del desempeño de las variables anteriormente mencionadas. Condiciones de producción primaria, transporte, método de sacrificio, desposte, maduración entre otros, afectan directamente esta variable que puede echar a perder todos los controles establecidos previamente, por lo tanto, cada actor de la cadena de suministro debe conocer su incidencia en esta variable y las medidas de control para prevenir que altere los resultados del sistema.

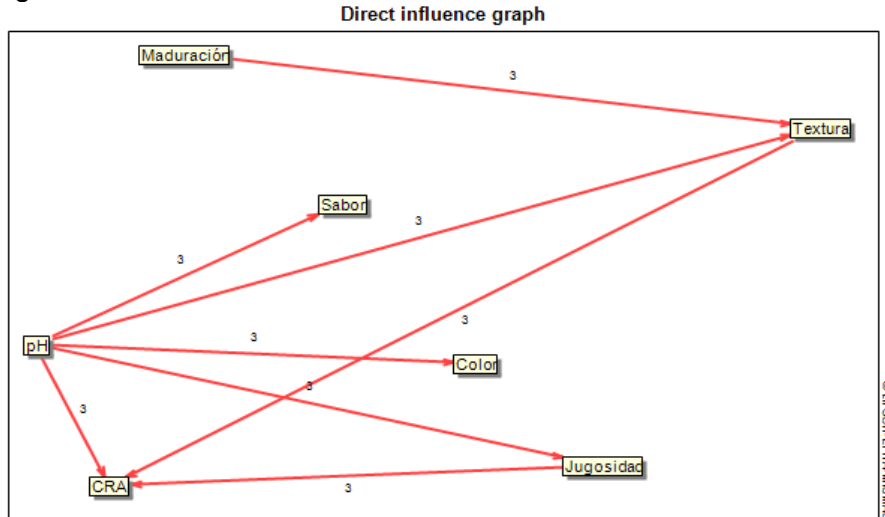
Variables Resultado

Son variables que se caracterizan por su baja motricidad y alta dependencia se encuentran en la zona inferior derecha del plano de influencia y dependencia, y suelen ser junto con las variables objetivo, indicadores descriptivos de la evolución del sistema. Se trata de variables que no se pueden abordar de frente sino a través de las que dependen en el sistema. Estas variables requieren un seguimiento y monitoreo estrecho que permita verificar la efectividad del sistema en general.

- Capacidad de retención de agua CRA
- Textura
- Jugosidad
- Olor
- Color
- Sabor

Estas variables son las que finalmente son visibles al consumidor, dependen ampliamente de las otras variables mencionadas y una vez han adoptado una característica, no son reversibles fácilmente. En la gráfica que se aprecia a continuación, se identifica que el pH tiene una alta influencia sobre las variables resultado encontradas, y a su vez, como se expresó anteriormente, el pH es la variable clave altamente motriz y dependiente de las otras variables del sistema.

Figura 12 Gráfica de influencia directa



Fuente. El autor. Elaborado en Mic Mac

Variables Autónomas

Son variables poco influyentes o motrices y poco dependientes, se corresponden con tendencias pasadas o inercias del sistema o bien están desconectadas de él. En el plano de influencia y dependencia se encuentran en la zona inferior izquierda. No constituyen parte determinante para el futuro del sistema. Se constata frecuentemente un gran número de acciones de comunicación alrededor de estas variables que no constituyen un reto. Se sugiere dar más valor a esas variables. En este momento son poco influyentes en el sistema.

- Ayuno

Si bien el ayuno es una variable por controlar en el proceso pre mortem, no es altamente influyente y es de fácil control para asegurar la estabilidad del sistema.

2.5. CONCLUSIONES PRELIMINARES

La herramienta Mic Mac permite reducir la complejidad del sistema de variables, evidenciando de forma estratégica 4 variables (determinantes y clave) que tienen mayor influencia en la calidad de la carne.

El estudio de correlación de las variables permitió identificar el papel que juegan cada una de ellas y su incidencia final sobre la calidad del producto terminado. De esta forma, se logra establecer que cerca del 30% de las variables que son fundamentales para el resultado esperado de calidad de la carne para el consumidor, son responsabilidad del producto primario (Raza y edad).

Una de las variables determinantes es el sacrificio, el cual, no incide solamente en el aspecto de inocuidad de la carne obtenida (conservación) sino en la calidad sensorial final, y en la variable clave del sistema: pH. Es por ello que se deben establecer criterios estrictos para la selección de los proveedores de servicios de beneficio dado su impacto en las condiciones finales del producto.

El pH como variable clave, debe ser estudiada y entendida por todos los actores de la cadena de suministro, con el fin de entender cómo desde su intervención pueden afectar este parámetro. Al ser clasificada como una variable clave, demuestra su alta motricidad en el sistema, es decir, altamente influenciado e influyente. El monitoreo y gestión a través del control de otras variables que inciden sobre el pH pueden contribuir a la calidad del producto final.

Por último, en las variables resultado como era de esperarse, se encuentran las características sensoriales del producto final, las cuales se convierten en los criterios de aceptación o rechazo y son altamente dependientes del manejo previo de la carne y del ganado. Como se identificó, el pH juega un papel clave en las características sensoriales del alimento, sin embargo, dada su clasificación y alta dependencia a otras variables del sistema, no puede ser únicamente monitoreado sino gestionado con enfoque preventivo en las variables que lo preceden.

CAPITULO 3. ENFOQUE BPM EN TRAZABILIDAD

3.1. MODELADO DE PROCESOS DE NEGOCIO

El modelo se desarrolló considerando diferentes aspectos como actores, actividades, tipos de actividades y comunicación entre ellas, de acuerdo con el modelo de negocio que tiene la empresa Carnes Grillé.

De acuerdo con el decreto 1500 de 2007, en Colombia se permiten diversos modelos de negocio en la industria cárnica. Cada uno con sus restricciones de proceso o condiciones particulares. Existen modelos donde el frigorífico asume labores logísticas y también de venta directa, o donde los minoristas como los llamados expendios de carne en Colombia, venden de forma directa al consumidor y a servicios de alimentación como restaurantes, con la diferencia de que al ser expendio de carne presentan restricciones de tipo legal que le impiden comercializar a otro tipo de minoristas, y sólo pueden vender al cliente final que se encargará de la preparación o transformación de la carne suponiendo una pérdida de oportunidades de mercado.

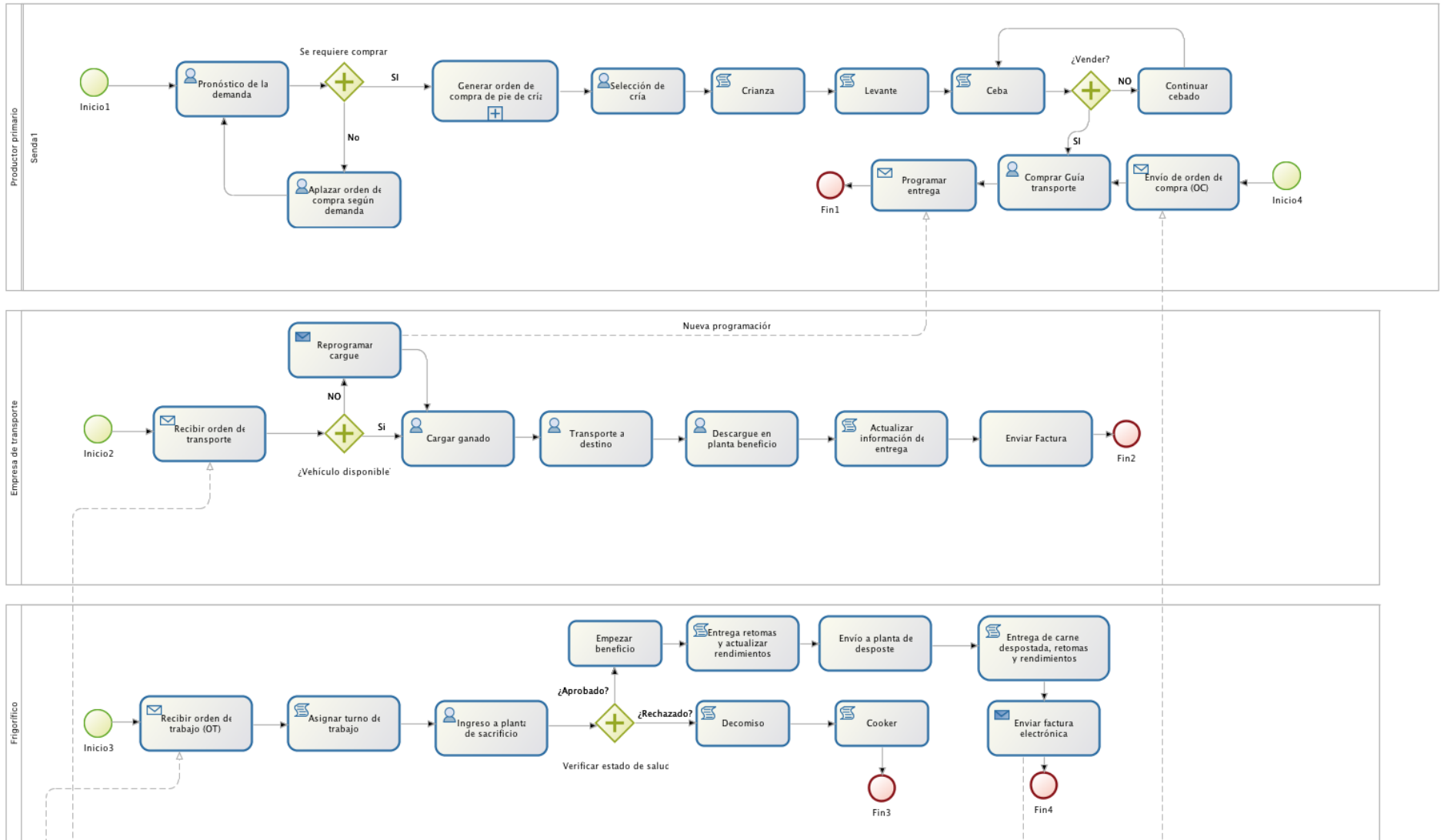
Por otro lado, pueden existir plantas de desposte independientes a los frigoríficos, lo cual incrementaría un actor más en la cadena. Así mismo, existen empresas acondicionadoras de carne, que de acuerdo con la resolución 2016037912 de 2016 son aquellos diferentes a expendios que realizan una o varias operaciones relacionadas con corte, fraccionamiento, lavado, molido, fileteado, empaque, acondicionamiento o actividades similares realizadas a la carne y productos cárnicos comestibles de las especie bovina, porcina y aviar, y sus materias primas cárnicas pueden provenir de plantas de beneficio o plantas de desposte autorizadas por el Invima.

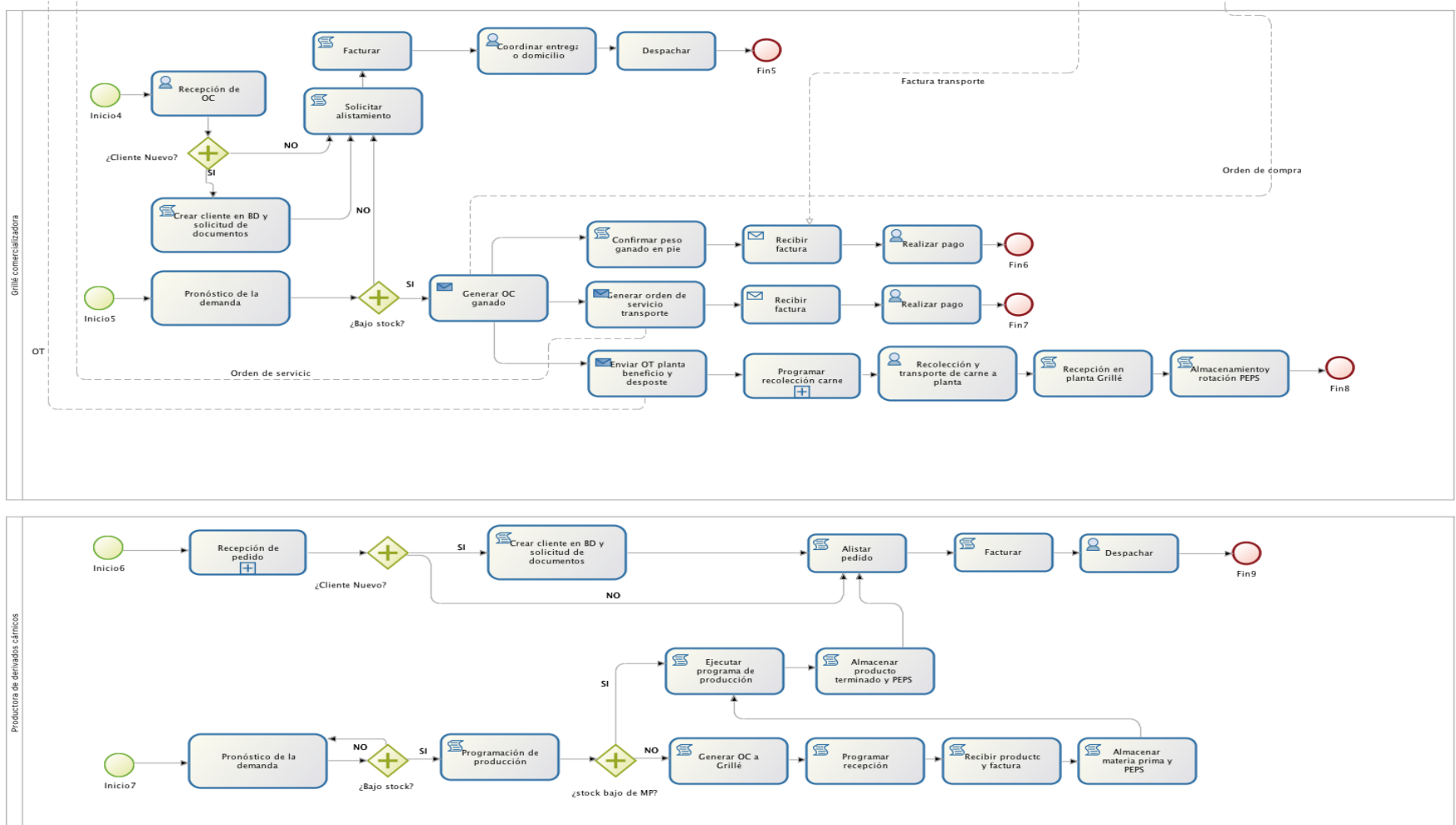
Como se mencionó en el alcance, se contempló que el comercializador mayorista, en este caso Carnes Grillé, se encarga de la gestión a lo largo de toda la cadena de suministro desde la compra de ganado, gestión de transporte de ganado en pie, gestión del proceso de sacrificio y desposte, transporte a planta comercializadora y finalmente, comercialización a plantas productoras, minoristas y consumidor final.

3.2. EXPLICACIÓN DETALLADA DEL MODELO DOCUMENTADO

De acuerdo con el modelo descrito en la figura 13, se consideraron cinco actores diferentes a lo largo de la cadena de suministro de la carne. A continuación, se describe el alcance de cada uno de ellos, posteriormente un resumen de los puntos críticos de trazabilidad y una propuesta para el manejo de datos relevantes en el modelo, de acuerdo con investigaciones y validaciones previas.

Figura 13. Modelo de gestión de negocios en trazabilidad





Fuente. El autor. Elaborada en Bonita Studio

3.2.1. PRODUCTOR PRIMARIO

En Colombia, de acuerdo con Fonseca (2016), los ciclos productivos de las ganaderías pueden variar según el tipo de explotación ganadera, condiciones del predio y la predilección del ganadero, es así, como para en la ganadería de carne se distinguen tres etapas fundamentales para el desarrollo de los bovinos. La ganadería de cría es la etapa de producción más temprana y va desde el nacimiento hasta los 6 meses de edad, es la etapa más costosa por que requiere amplias extensiones de tierra, mayor número de empleados, alta cantidad de medicamentos y asesoría técnica, por lo que existen regiones del país donde la ganadería de cría está tendiendo a desaparecer.

Después de la crianza hasta los 6 meses de edad, se inicia el proceso de levante que va hasta los 18 meses aproximadamente y hasta lograr un peso máximo a 230 kg. Esta etapa es la que implica menores costos para el productor y por ende es la más rentable. En esta etapa se requiere un alto control de salud del animal y por ende vacunación, así como en la etapa de crianza.

Por último, la etapa de ceba se puede llegar a extender desde los 24 hasta los 36 meses de edad, hasta que se obtiene el peso óptimo para el envío a beneficio. Los ganaderos especializados en este tipo de producción se ubican principalmente en regiones cálidas y con razas exclusivamente de carne. La ceba requiere de pasturas excelentes y concentrados, así como suplementación animal.

En el alcance del modelo propuesto, se propone el método de ciclo productivo completo, lo cual quiere decir que los ganaderos adquieren el ternero, realizan el levante y ceba para enviarlos a la planta de beneficio. Este modelo, a pesar de requerir extensiones de tierra más amplias, tiene ventajas como el control total de la producción animal para efectos de trazabilidad, y no se ve tan afectado como los otros tipos de ganadería por los ciclos de oferta y demanda, garantizando una entrega continua a los comercializadores y con un valor agregado en el tipo de ganado ofertado. En la etapa inicial de las ganaderías de ciclo completo, se debe garantizar la captura de información del origen y toda la trazabilidad del pie de cría que se adquiere.

Cuando el ganadero recibe una orden de compra de un lote de ganado, debe solicitar la expedición de la guía de transporte ante el ICA, esta guía contiene información fundamental para los siguientes eslabones de la cadena y puede ser requeridos por diferentes autoridades en Colombia y los siguientes actores con el fin de asegurar la legalidad del ganado que se va a comercializar. Según el modelo expuesto, la orden de compra se recibe vía correo electrónico y el remitente es la comercializadora (Grillé), también puede enviarse a través de formularios web o alguna herramienta tecnológica que permita que la información del pedido quede documentada y sea trazable. La generación de la factura por la venta del ganado y el pago correspondiente de Grillé al ganadero, se realizan previos al envío del ganado con el transportador.

3.2.2. TRANSPORTADOR DE GANADO EN PIE

Una vez se confirma orden de compra y disponibilidad de ganado para envío a frigorífico, grillé se pone en contacto con el transportador del ganado en pie para programar la orden de servicio de recogida y transporte hacia la planta de beneficio animal. En esta etapa se asegura también la disponibilidad del transporte y se envían detalles del vehículo al productor primario para que la guía de movilización sea expedida por él ante el ICA. El ganadero, a su vez se pone de acuerdo con el conductor para la programación o reprogramación del cargue. El proceso con el transportador finaliza una vez ha entregado el ganado en la planta de beneficio, en donde debe entregar la guía ICA de movilización y descargarlo en un corral. La factura es enviada posteriormente a Grillé a la prestación del servicio de transporte. Aparte de los CTP (Ver tabla 8) identificados en este proceso y que se deben controlar, se sugiere contar con un sistema GPS para el monitoreo del vehículo durante su trayectoria, asegurar que el conductor no sobrepase las velocidades definidas y que siga la ruta de entrega establecida, permitiendo levantar información relevante para la calificación de prestadores de este servicio y asegurando mediciones objetivas del desempeño de ellos.

3.2.3. FRIGORÍFICO Y PLANTA DE DESPOSTE

En diciembre de 2017, Colombia contaba con 524 frigoríficos, plantas de desposte o desprese autorizados, un 68% menos de la cantidad que se tenía registrada para el año 2008. Esto se debió a implementación estricta del decreto 1500 de 2007 a partir del año 2016 con el fin de reducir las enfermedades transmitidas por alimentos de origen cárnico. De acuerdo con la normatividad actual, el proceso de sacrificio y desposte sólo puede realizarse en las plantas aprobadas por el Invima para tal fin, limitando las funciones que años anteriores tenían los expendios de carne donde también se realizaban actividades de desposte.

Considerando aspectos logísticos y económicos, en el modelo de negocio planteado, el ganado se puede adquirir en regiones ganaderas como el Magdalena medio y el llano y se transporta a la ciudad de Bogotá para su sacrificio y desposte. Bogotá, cuenta únicamente con dos plantas de sacrificio de orden nacional (permite movilizar la carne a cualquier territorio de Colombia).

Una vez se confirma la disponibilidad de ganado y transporte a Bogotá, Grillé debe enviar un correo al frigorífico solicitando la asignación de un turno para las actividades de sacrificio y desposte. De esta forma, se planea la producción y se asegura disponibilidad de la carne para su posterior recolección.

Como se describió previamente, en el frigorífico suceden las etapas pre-mortem y post-mortem más críticas en términos de la calidad de la carne, por lo que es fundamental un control de las variables descritas en la tabla 8. La comunicación en esta etapa es fundamental, para asegurar que se realicen los procesos bajo las características requeridas, así como para el manejo de la cadena logística tanto en recolección de subproductos como la carne de res. El frigorífico entrega a la comercializadora el producto

debidamente identificado a través de un lote único e irreplicable que contiene toda la información requerida de las operaciones llevadas a cabo en sus instalaciones. En este sentido, se debe tener en cuenta que pese a que en la granja se contaba con una identificación individual por animal, en un proceso industrial se conjugan todos los animales provenientes de una misma granja y que se someten a un proceso bajo las mismas condiciones, por ejemplo, si la compra de ganado a la granja es de 28 novillos, y estos son sacrificados y despostados bajo las mismas condiciones en una misma secuencia de tiempo, el frigorífico al final asignará un lote único a los 28 novillos.

El proceso con el frigorífico finaliza después de despachado el producto y enviada la factura por medio de correo electrónico a Carnes Grillé. Se sugiere que para el manejo y captura de datos generados en este proceso, se empleen tecnología RFID y generador de códigos QR a través de softwares especializados, y que la información sea de fácil acceso para el comercializador a través de manejo de datos en la nube en una plataforma digital de uso privado.

El uso del código QR se sugiere al final del proceso durante el empaque de la carne, para que cada bolsa de producto contenga la etiqueta con un código QR que, al leerlo, facilite procesos logísticos posteriores para actividades como: relacionar lotes a facturas de venta, actualización de inventarios, suministro de información de trazabilidad predefinida al usuario, entre otros.

3.2.4. COMERCIALIZADORA DE CARNES GRILLÉ

Como se mencionó anteriormente, en el modelo de negocio que ha sido expuesto, Carnes Grillé es el gestor principal de la cadena cárnica, ya que se encarga de enlazar cada uno de los eslabones. Con los tres primeros actores, Grillé realiza la gestión a distancia, a través de formularios o correos electrónicos y llamadas, finalmente, la operación de Grillé específicamente, inicia al momento del cargue de la carne en las instalaciones del frigorífico, transporte en vehículos autorizados y posterior recepción, almacenamiento y comercialización en sus instalaciones.

Grillé, recibe la carne de la planta de desposte con un lote, fecha de vencimiento y certificado de calidad, así como la posibilidad de acceder a una plataforma digital para consultar el detalle de las operaciones realizadas con ese lote. El uso de código QR en la etiqueta interior de producto, le permitirá a Grillé mantener inventarios actualizados, controlar lotes despachados a cada cliente, y asegurar rotación de la mercancía en sus instalaciones.

Una operación simultánea que se contempla para este actor, es la de recepción de pedidos de clientes, que incluye creación de clientes en base de datos si es nuevo cliente, la recepción del pedido, alistamiento, generación de factura y despacho. La trazabilidad que debe aplicarse en este proceso corresponde básicamente al seguimiento del lote desde su recepción, almacenamiento para asegurar rotación (primeros en entrar, primeros en salir), y seguimiento del lote en despacho según el cliente, para lo cual se recomienda el uso de

código QR que al momento de factura asocie el lote y toda la información de trazabilidad al cliente al que se está facturando.

Por otro lado, se pueden implementar GPS para el rastreo de los pedidos que son entregados en la flota propia de la empresa, con el fin de asegurar tiempos de entrega y condiciones de transporte como continuidad en la cadena de frío.

3.2.5. PRODUCTORA DE DERIVADOS CÁRNICOS

La empresa productora es aquella que transforma materias primas en alimentos cárnicos procesados, o como se denominan técnicamente según el decreto 1500 de 2007, derivados cárnicos. La trazabilidad en este tipo de industrias es más compleja ya que se deben incorporar una variedad de materias primas, insumos y materiales en una mezcla para obtener un producto compuesto. La información necesaria para la trazabilidad de cada materia prima debe ser documentada para evitar la pérdida de datos relevantes y cada etapa de proceso debe documentarse independientemente de acuerdo con las variables de control.

En el modelo expuesto, las actividades de toma de pedidos, alistamiento y facturación son similares a las que suceden en Grillé. Por otro lado, las actividades subsecuentes de la estimación de la demanda de derivados cárnicos, determinará la programación de la producción, para la cual se deberá asegurar que cada uno de los materiales requeridos para cada producto estén en cantidad suficiente. Se sugiere contar con un sistema de reaprovisionamiento automático que alerte cuando los niveles de un material lleguen a las cantidades estimadas para solicitar un nuevo pedido, con este tipo de sistemas y otros que permiten compartir información entre empresas (intercambio electrónico de datos EDI por sus siglas en inglés), se puede generar una orden de compra automática o que sólo requiera una autorización de algún usuario de la empresa donde se genera la orden permitiendo también asegurar la trazabilidad de la información. De no contar con este tipo de sistemas, las ordenes de compra se pueden hacer vía correo electrónico.

Este actor puede hacer uso de las tecnologías que han sido mencionadas previamente para asegurar que la carne que le ha sido suministrada sea de la especie animal solicitada. En este caso aplican las técnicas de análisis molecular o espectrofotometría. Si bien es cierto, son tecnologías que implican altos costos a la compañía y actualmente debido a que no han alcanzado los niveles de economías de escala no son de fácil acceso y pronta respuesta. Por lo tanto, se plantean como propuestas más avanzadas y se reitera la importancia de la transparencia y ética en la trazabilidad de las carnes, acompañada de métodos que permitan la captura de datos y no sean modificables, tales como la mencionada tecnología de blockchain.

3.2.6. MINORISTA O SERVICIO DE ALIMENTACIÓN

Este tipo de clientes de Grillé compran el producto para posteriormente exhibirlo en expendios de carne o para prepararlo en un plato final para consumo. La trazabilidad en esta etapa incluye el mantener el sistema de loteado que es suministrado en la etiqueta de

cada unidad de empaque. Una vez abierta la unidad de empaque para exhibición o para preparación se deben llevar registros que prevengan la pérdida de datos fundamentales en la trazabilidad. Las órdenes de compra se pueden recibir vía correo electrónico o directamente en los puntos de venta de Grillé.

3.2.7. CONSUMIDOR FINAL

Cuando el consumidor final es el que compra directamente la carne en Grillé, se asegura que cada unidad de empaque va rotulada de acuerdo con la normatividad vigente de forma tal que el cliente puede identificar información relevante como fecha de sacrificio, fecha de desposte, fecha de empaque y fecha de vencimiento. A través del código QR en cada etiqueta que lleva la unidad de empaque, se garantiza que el producto es asociado a un cliente al momento del despacho, y a si mismo, es una herramienta para el consumidor; si desea conocer mayor detalle del producto que ha adquirido, puede utilizar una aplicación lectora de códigos QR que lo remitirá a la página de Grillé, donde podrá encontrar recetas con el tipo de corte que lleva a su hogar, y así mismo a través de una plataforma digital conocer más detalles de la trazabilidad del producto que normalmente no se documentan en una etiqueta. Es aquí donde se sugiere que no sólo el consumidor final sino cualquier comprador de carne en Grillé pueda ingresar y leer toda la trazabilidad de la carne desde la producción primaria hasta su comercialización en Grillé.

Tabla 6. CTP y unidades trazables

CTP	Información de trazabilidad	Unidad de trazabilidad	Método de captura de datos
Compra de pie de cría	Raza, edad, peso, estado de salud, fecha de compra, granja de origen de raza de carne.	Animal individual	RFID – Etiqueta electrónica
Vacunación	Método de vacunación, medicina, dosis, operador, fecha.	Animal individual	RFID – Etiqueta electrónica
Alimentación	Tipo de alimentos y suplementos, fecha de cambio, operador.	Animal individual	RFID – Etiqueta electrónica
Tratamiento de enfermedades	Nombre de la enfermedad, tratamiento, medicina, dosis, operador, fecha.	Animal individual	RFID – Etiqueta electrónica
Venta para sacrificio	Peso final, precio, estado de salud, cliente destino, fecha.	Animal individual	RFID – Etiqueta electrónica
Transporte	Número de guía ICA, placa vehículo, lotes de animales transportados, operador, fecha.	Animal individual	RFID – Etiqueta electrónica. GPS
Inspección ante-mortem	Peso, estado de salud, número de guía ICA, origen, certificado de cuarentena, operador, fecha.	Animal individual	RFID – Etiqueta electrónica

CTP	Información de trazabilidad	Unidad de trazabilidad	Método de captura de datos
Separación de canal	Peso canal, fecha, operador.	Número animales de la compra – mismo origen. Nuevo lote unificado	RFID – Etiqueta electrónica
Enfriamiento de canal	Temperatura ambiente, pH inicial y final canal, tiempo de enfriamiento, humedad, operador, fecha.	Nuevo lote unificado	RFID – Etiqueta electrónica
Despote de canal	Peso canal fría, temperatura de despote, tiempo inicial y final de despote, operador, condiciones microbiológicas ambientales, fecha, pH.	Nuevo lote unificado	Código QR
Empaque al vacío	Lote de material de empaque empleado, operador, temperatura, fecha, pesos por unidad empacada y tipos de cortes, fecha de vencimiento.	Nuevo lote unificado	Código QR
Despacho	Cantidad de despacho por tipo de corte, identificación del vehículo, temperatura vehículo, operador despacho y transporte, # precinto de seguridad, # guía movilización.	Nuevo lote unificado	Código QR
Recepción en comercializadora	# precinto de seguridad, fecha, temperatura carne, operador de transporte, # guía movilización nacional, certificado de calidad, operador de recepción, cantidad.	Nuevo lote unificado	Código QR
Almacenamiento y rotación PEPS	Ubicación en almacenamiento, fecha, operador.	Nuevo lote unificado	RFID – Etiqueta electrónica
Alistamiento y despacho de pedidos	Cantidad, lote, operador de alistamiento, factura de venta, operador de domicilio o entrega en punto, fecha.	Nuevo lote unificado	Código QR

Fuente. Adaptado de Liang et al., (2015)

3.3. CONCLUSIONES PRELIMINARES

El modelado de procesos bajo el enfoque BPM permite analizar un sistema de forma global, identificando los actores, flujos de información, tareas y actividades a desarrollar en cada momento con el fin de lograr un objetivo en común. A través del modelo desarrollado en este estudio, se establecieron las relaciones entre los diferentes actores de la cadena de suministro de la carne bajo el modelo de negocio actual de Carnes Grillé. Son 5 los actores principales que interactúan hasta lograr un resultado esperado, que en este caso es brindar carne que cumpla los requisitos de inocuidad y sensoriales (variables resultado que fueron definidas en el capítulo 2).

Los CTP deben identificarse siempre en un sistema de trazabilidad para aplicar mayores controles y mecanismos de seguimiento que prevengan la pérdida de datos fundamentales para el sistema. En el modelo de trazabilidad que se evaluó en este estudio, se encontraron 15 CTP en diferentes etapas y a cargo de diferentes actores de la cadena de suministro. El intercambio de datos de los CTP entre actores se sugiere a través de tecnologías de información para asegurar su confiabilidad e inalterabilidad.

Una vez establecido el modelo, se complementaron las actividades con la tabla No. 9 que permite identificar los CTP de un sistema de trazabilidad, esto a su vez, se relacionó con las tecnologías aplicables que fueron descritas en este estudio y que facilitan la captura e intercambio de datos para garantizar un flujo continuo, eficiente y transparente de comunicación en la cadena de suministro.

Tecnologías como RFID, códigos QR, IoT y blockchain seguirán siendo la base para la mejora continua de los sistemas de trazabilidad, ya que como se pudo evidenciar son la respuesta a las debilidades que se han detectado en los modelos actuales.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un modelo de trazabilidad que involucra cinco actores de la cadena cárnica desde la producción primaria hasta la comercialización para el consumidor final, soportada en los conceptos de business process management (BPM). El modelo contempla las actividades y tareas para cada actor y los procesos fundamentales a seguir para prevenir la pérdida de información vital para un proceso de trazabilidad.

La trazabilidad es un requisito establecido por los entes gubernamentales, con el fin de contar con la información necesaria cuando se presentan alertas alimentarias que involucren la inocuidad. A través de esta, se puede identificar información desde la producción primaria hasta el destino final del producto, facilitando tomar medidas oportunas para reducir el impacto de las desviaciones de proceso y aplicar recogidas de producto eficaces minimizando el número de personas afectadas. En Colombia, la normatividad asociada a la trazabilidad animal data de los años 2007 en adelante, evidenciando menor agilidad en las exigencias a los productores primarios con respecto a normas internacionales de Estados Unidos o Unión Europea por ejemplo, donde desde el año 2000 ya existían regulaciones al respecto.

Las etapas de sacrificio de ganado hasta comercialización de carne en Colombia empezaron a ser reguladas desde el año 2007 a través del decreto 1500. Desde su aparición, se han cerrado más del 69% de los establecimientos de beneficio en Colombia debido a la falta de infraestructura y condiciones locativas que garanticen la inocuidad de la carne.

La implementación y ejecución de un sistema de trazabilidad actual, debe estar soportado en tecnologías de información que aseguren la veracidad de los datos, procedencia, tiempos de captura correctos y que sean inalterables de forma tal que se brinden más garantías al consumidor y a las entidades gubernamentales. El internet de las cosas (IoT) y la tecnología de blockchain son ejemplos de algunas de las nuevas tecnologías que está implementando la industria de alimentos.

Desde el punto de vista de validación de variables para garantizar la trazabilidad y prevención del fraude en carnes, se han establecido métodos de análisis biométricos, electrónicos a través de RFID, espectrofotometría y Análisis molecular.

Se identificaron las variables clave, de resultado y determinantes con base en el modelo de Godet, de forma tal que se puedan priorizar las acciones a tomar para garantizar la calidad y trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro de la carne. En el presente estudio, se identificó que las variables sacrificio, raza y edad (14% de las variables) son aquellas variables determinantes que deben orientarse como propulsoras del sistema para lograr una carne de características sensoriales óptimas. Por otro lado, la variable clave identificada (pH – 4,7% de las variables) demuestra la necesidad de controlar todos los

procesos que puedan interferir en variaciones de pH en la carne ya que esta es la que mayor incidencia directa tiene en la calidad del producto deseado, y es una variable de alta motricidad, es decir que es altamente influenciado por otras variables como las determinantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Agus, A., & Mastuti Widi, T. S. (2018). Current situation and future prospects for beef cattle production in Indonesia - A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(7), 976–983. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0233>
- Arango Morales, X., & Cuevas, V. (2014). *Método de análisis estructural: Matriz de impactos cruzados, multiplicación aplicada a una clasificación (MIC MAC)* (Universidad Autónoma de Nuevo León). Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/6167>
- Badia - Melis, R., Puneet, M., & Ruiz - García, L. (2015). Food Traceability: New Trends and Recent Advances. A Review. *Food Control*, 57(1), 393–401.
- Bahrynovska, T. (2017, December 29). Blockchain for Supply Chain Management: The next technological revolution. Retrieved February 8, 2019, from Applicature website: <https://applicature.com/blog/the-next-technological-revolution-blockchain-for-supply-chain-management>
- Bennett, S. D., Sodha, S. V., Ayers, T. L., Lynch, M. F., Gould, L. H., & Tauxe, R. V. (2018). Produce-associated foodborne disease outbreaks, USA, 1998–2013. *Epidemiology & Infection*, 146(11), 1397–1406. <https://doi.org/10.1017/S0950268818001620>
- Boccard, R. L., Naudé, R. T., Cronje, D. E., Smit, M. C., Venter, H. J., & Rossouw, E. J. (1979). The influence of age, sex and breed of cattle on their muscle characteristics. *Meat Science*, 3(4), 261–280. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(79\)90003-2](https://doi.org/10.1016/0309-1740(79)90003-2)
- Braghieri, A., Carlucci, A., Girolamil, A., & Napolitano, F. (2008). tenderness, pH and acceptability of meat from podolian and limousine x podolian young bulls. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2008.00214.x>
- Bunmee, T., Chaiwang, N., Kaewkot, C., & Jaturasitha, S. (2018). Current situation and future prospects for beef production in Thailand - A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(7), 968–975. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0201>
- Calvo Dopico, D., Mendes, R., Silva, H. A., Verrez-Bagnis, V., Pérez-Martín, R., & Sotelo, C. G. (2016a). Evaluation, signalling and willingness to pay for traceability. A cross-national comparison. *Spanish Journal of Marketing - ESIC*, 20(2), 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.sjme.2016.07.001>
- Calvo Dopico, D., Mendes, R., Silva, H. A., Verrez-Bagnis, V., Pérez-Martín, R., & Sotelo, C. G. (2016b). Evaluation, signalling and willingness to pay for traceability. A cross-national comparison. *Spanish Journal of Marketing - ESIC*, 20(2), 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.sjme.2016.07.001>

- Carriquiry, M., & Babcock, B. (2007). Reputations, Market Structure, and the Choice of Quality Assurance Systems in the Food Industry. *American Journal of Agricultural Economics*, 89(1), 12–23. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2007.00959.x>.
- Cashman, C., Mullen, R., Cravens, R., Gustafson, C., Odde, K., & Kamp, B. V. D. (2008). *United States Patent No. US20080215473A1*. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US20080215473A1/en>
- Chammem, N., Issaoui, M., De Almeida, A. I. D., & Delgado, A. M. (2018). Food Crises and Food Safety Incidents in European Union, United States, and Maghreb Area: Current Risk Communication Strategies and New Approaches. *Journal of AOAC International*, 101(4), 923–938. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0446>
- Chang, J. F. (2005). *Business Process Management Systems: Strategy and Implementation* (1 edition). Boca Raton, FL: Auerbach Publications.
- Charlebois, S., Sterling, B., Haratifar, S., & Naing, S. K. (2014). Comparison of Global Food Traceability Regulations and Requirements. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5), 1104–1123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12101>
- Chryssochoidis, G. M., & Kehagia, O. C. (2006). *Traceability: European consumers' perceptions regarding its definition, expectations and differences by product types and importance of label schemes*. 17. Greece.
- Coff, C., Barling, D., Korthals, M., & Nielsen, T. (2008). *Ethical traceability and communicating food* (Vol. 15). Springer.
- Coma, J., & Piquer, J. (2000). *Calidad de carne en Porcinos: Efecto de la Nutrición animal*. Presented at the XV curso de Especialización Avances en Nutrición y alimentación animal., España. Retrieved from <http://www.uco.es/servicios/nirs/fedna/capitulos/99CAP8.pdf.html>.
- Contexto ganadero. (2016, October 6). Trazabilidad recibe poca atención en el país a pesar de su importancia. Retrieved February 8, 2019, from <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/trazabilidad-recibe-poca-atencion-en-el-pais-pesar-de-su-importancia>
- Cross, H. R., Schanbacher, B. D., & Crouse, J. D. (1984). Sex, age and breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. *Meat Science*, 10(3), 187–195. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(84\)90021-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(84)90021-4)

- Cross, H Russell, & Overby, A. J. (1988). *Meat science, milk science, and technology*. Retrieved from <https://trove.nla.gov.au/version/15938788>
- De Cindio, B., Longo, F., Pizzuti, T., & Mirabelli, G. (2011). *Modeling a traceability system for a food supply chain: Standards, technologies and software tools*. 488. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/306323609_Modelling_a_traceability_system_for_a_food_supply_chain_Standards_technologies_and_software_tools
- Díaz, M., & Burkart, S. (2017). *Marco legal de la cadena de valor de la carne en Colombia*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Stefan_Burkart3/publication/320016681_Marco_legal_de_la_cadena_de_valor_de_la_carne_en_Colombia/links/59c8f6d9458515548f3d9c22/Marco-legal-de-la-cadena-de-valor-de-la-carne-en-Colombia.pdf
- Donnelly, K. A.-M., & Olsen, P. (2009). *Harmonizing methods for food traceability process mapping and cost/benefit calculations related to implementation of electronic traceability systems*. (Workshop No. 15/2009; p. 101). Norway: Nofima Market.
- Dransfield, E. (1994). Tenderness of meat, poultry and fish. In A. M. Pearson & T. R. Dutson (Eds.), *Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products* (pp. 289–315). https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2167-9_11
- Duan, Y., Miao, M., Wang, R., Fu, Z., & Xu, M. (2017). A framework for the successful implementation of food traceability systems in China. *The Information Society*, 33(4), 226–242. <https://doi.org/10.1080/01972243.2017.1318325>
- Dumas, M., Rosa, M. L., & Mendling, J. (2015). *Fundamentals of Business Process Management* (Edición: 2013). Berlin: Springer.
- Espiñeira, M., & SantaClara, F. (2016). *Advances in Food Traceability Techniques and Technologies*. Retrieved from <https://www.elsevier.com/books/advances-in-food-traceability-techniques-and-technologies/espineira/978-0-08-100310-7>
- FAO. (2016, May 7). América Latina y el Caribe podría erradicar el hambre al año 2025. Retrieved February 15, 2019, from <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/422993/>
- Farouk, M. M., Wiklund, E., & Rosenvold, K. (2009). 24 - Carcass interventions and meat tenderness. In J. P. Kerry & D. Ledward (Eds.), *Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat* (pp. 561–584). <https://doi.org/10.1533/9781845695439.4.561>

- Fedegan. (2018). Consumo aparente per cápita anual - res, cerdo, pollo, pescado. Retrieved February 15, 2019, from <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/consumo-0>
- Fonseca, P. (2016, June 17). Informe: Así funcionan los ciclos productivos de las ganaderías. *Contexto Ganadero*. Retrieved from <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-asi-funcionan-los-ciclos-productivos-de-las-ganaderias>
- Gellynck, X., & Verbeke, W. (2001). *Consumer Perception of Traceability in the Meat Chain*. 7.
- Giraud, G., & Amblard, C. (2003). What does traceability mean for beef meat consumer? *Sciences Des Aliments*, 23(1), 40–46. <https://doi.org/10.3166/sda.23.40-46>
- Godet, M. (1994). *From Anticipation to Action: A Handbook of Strategic Prospective*. Paris, France: United Nations Educational Scientific and Cultural.
- Gómez, B., Rodríguez, C., Zambrano, D., & González, N. (n.d.). *Manual de cortes de carne de cerdo Colombiano*. Retrieved from <https://asociados.porkcolombia.co/porcicultores/images/porcicultores/home/actividades/guia-tecnica-carne-cerdo.pdf>
- Grunert, K. G. (1997). What's in a steak? A cross-cultural study on the quality perception of beef. *Food Quality and Preference*, 8(3), 157–174. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(96\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(96)00038-9)
- GS1. (n.d.). Qué Es La Trazabilidad. Retrieved January 30, 2019, from <https://www.gs1co.org/comunidad/proyectoseiniciativas/que-es-la-trazabilidad.aspx>
- Herrero, B., Royo, L. J., Lago, F., Vieites, J. M., & Espiñeira, M. (2013). *Authentication of male beef by multiplex fast real-time PCR*. (Vol. 2). Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/19440049.2012.740164>
- Houston, C. (2004a). From the Farm to the Factory: An Overview of the American and European Approaches to Regulation of the Beef Industry [Text]. Retrieved February 16, 2019, from <https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/8852126/regulationsbeef3.html?sequence=2>
- Houston, C. (2004b). From the Farm to the Factory: An Overview of the American and European Approaches to Regulation of the Beef Industry [Text]. Retrieved March 19, 2019, from

<https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/8852126/regulationsbeef3.html?sequence=2>

Invima. (2015, November 3). *Resolución 719 de 11 de marzo de 2015*. Retrieved from <https://www.invima.gov.co/vuce/351-resoluciones-alimentos/resoluciones-2015/4061-resolucion-719-de-11-de-marzo-de-2015.html>

Invima. (2017, April 8). Mejoras en las condiciones sanitarias de la carne. Retrieved February 15, 2019, from <https://www.invima.gov.co/556-carne.html>

Jeppsson, A., & Olsson, O. (n.d.). *Blockchains as a solution for traceability and transparency*. 102.

Kerry, J. (2009). *Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat*. Elsevier.

Khan, M. I., Jung, S., Nam, K. C., & Jo, C. (2016). Postmortem Aging of Beef with a Special Reference to the Dry Aging. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(2), 159–169. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.2.159>

Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65–83. [https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(99\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(99)00113-3)

Laster, M. A., Smith, R. D., Nicholson, K. L., Nicholson, J. D. W., Miller, R. K., Griffin, D. B., ... Savell, J. W. (2008). Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer sensory attribute evaluations of steaks from ribeyes, strip loins, and top sirloins from two quality grade groups. *Meat Science*, 80(3), 795–804. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.03.024>

Lawrence, F. (2013, February 15). Horsemeat scandal: The essential guide. *The Guardian*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/uk/2013/feb/15/horsemeat-scandal-the-essential-guide>

Leal, F. (2005, February 23). Trazabilidad, exigencia para entrar a mercados de EE. *La República*. Retrieved from [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:X7M0NMnM5CAJ:www.bogota.gov.co/galeria/23%2520de%2520Febrero%2520\(1\).doc+&cd=4&hl=es&ct=cnk&gl=co](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:X7M0NMnM5CAJ:www.bogota.gov.co/galeria/23%2520de%2520Febrero%2520(1).doc+&cd=4&hl=es&ct=cnk&gl=co)

Lees, M. (2003). *Food Authenticity and Traceability*. Elsevier.

- Liang, W., Cao, J., Fan, Y., Zhu, K., & Dai, Q. (2015). Modeling and Implementation of Cattle/Beef Supply Chain Traceability Using a Distributed RFID-Based Framework in China. *PLoS ONE*, 10(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139558>
- Manos, B., Manikas, I., & Folinas, D. (2006). Traceability data management for food chains. *British Food Journal*, 108(8), 622–633. <https://doi.org/10.1108/00070700610682319>
- Martin, A. H., Fredeen, H. T., & Weiss, G. M. (1971). Characteristics of Youthful Beef Carcasses in Relation to Weight, Age and Sex: lii. Meat Quality Attributes. *Canadian Journal of Animal Science*, 51(2), 305–315. <https://doi.org/10.4141/cjas71-043>
- Ministerio de la protección social. (2007). *Decreto 1500*. Retrieved from https://www.invima.gov.co/images/stories/aliamentos/Decreto1500_2007.pdf
- Mirabelli, G., Pizzuti, T., Gómez-González, F., & Sanz-Bobi, M. A. (2012). *A BPMN GENERAL FRAMEWORK FOR MANAGING TRACEABILITY IN A FOOD SUPPLY CHAIN*. 8.
- Mirowski, L., Marquez, L., Tamplin, M., & Turner, P. (2014). *Food Stability, Sensors and Value Chains: Issues and Challenges in Meat Traceability*. 9.
- Montoya, C. (2014). *Caracterización de algunas variables de calidad de carne en bovinos manejados bajo diferentes condiciones de producción en el trópico colombiano* (Universidad Nacional de Colombia). Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/49255/1/1020392364.2014.pdf>
- Nogalski, Z., Pogorzelska-Przybyłek, P., Sobczuk-Szul, M., Nogalska, A., Modzelewska-Kapituła, M., & Purwin, C. (2018). Carcass characteristics and meat quality of bulls and steers slaughtered at two different ages. *Italian Journal of Animal Science*, 17(2), 279–288. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1383861>
- OECD. (2018). Agricultural output - Meat consumption - OECD Data. Retrieved February 15, 2019, from the OECD website: <http://data.oecd.org/agroutput/meat-consumption.htm>
- Official Journal of the European Communities. (2002). *Regulation (EC) No. 178/2002 of the European Parliament and the Council of 28 January 2002*. https://doi.org/DOI:10.1007/978-1-137-54482-7_19
- OMG, O. M. G. Inc. (2011). *Business Process Model and Notation (BPMN)* (2nd ed.). Retrieved from <http://www.omg.org/spec/BPMN/20100502>

- Onega Pagador, M. E. (2005). *Evaluación de la calidad de carnes frescas: Aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales*. [Universidad Complutense], Servicio de Publicaciones, Madrid.
- Ónenc, A., Sañudo, C., Negueruela, A., Alberti, P., Olleta, J., & Campo, M. (1999). Estudio sobre la influencia de raza, dieta y pH último sobre el color de la carne de ganado vacuno a lo largo de maduración. *ITEA*, 20(1). Retrieved from http://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/1999/comunicaciones/1999_CCP_05.pdf
- Ouali, A., Herrera-Mendez, C. H., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L., & Sentandreu, M. A. (2006). Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, 74(1), 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.05.010>
- Pardiñas, J. (2012). *Sistemas auxiliares del motor*. Editex.
- Pearson, A. M. (2013). *Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products*. Springer.
- Pérez Uribe, R. I., & Vargas, H. A. (2016). El uso del método MICMAC, para la definición de procesos de intervención en las organizaciones. *Ciencia y Poder Aéreo*, 11(1), 92–105. <http://dx.doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.156>
- Pizzuti, T., & Mirabelli, G. (2015). The Global Track&Trace System for food: General framework and functioning principles. *Journal of Food Engineering, Complete*(159), 16–35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.001>
- Porter, M. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: The free press.
- Priolo, A., Micol, D., & Agabriel, J. (2001). Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Animal Research*, 50(3), 185–200. <https://doi.org/10.1051/animres:2001125>
- Purchas, R. W., & Aungsupakorn, R. (1993). Further investigations into the relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers. *Meat Science*, 34(2), 163–178. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(93\)90025-D](https://doi.org/10.1016/0309-1740(93)90025-D)
- Ramundo, L., Taisch, M., & Terzi, S. (2016). State of the art of technology in the food sector value chain towards the IoT. *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a Better Tomorrow (RTSI)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/RTSI.2016.7740612>

- Rincón Ballesteros, D. L., Fonseca Ramírez, J. E., & Orjuela-Castro, J. A. (2017). Hacia un Marco Conceptual Común sobre Trazabilidad en la Cadena de Suministro de Alimentos. *Ingeniería*, 22(2), 161. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2017.2.a01>
- Román, F., & González, G. (2012). *APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BPM EN LA TRAZABILIDAD DE LOS PRODUCTOS HORTOFRUCTÍCOLAS*. 6.
- Schroeder, T., & Tonsor, G. (2012). International cattle ID and traceability: Competitive implications for the US. *ResearchGate*, 37(1). <https://doi.org/DOI:10.1016/j.foodpol.2011.10.005>
- Shanahan, C., Kernan, B., Ayalew, G., McDonnell, K., Butler, F., & Ward, S. (2009). A framework for beef traceability from farm to slaughter using global standards: An Irish perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 66(1), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.12.002>
- Shorthose, R., & Harris, P. (1990). Effect of animal age on the tenderness of selected beef muscles. *Journal of Food Science*, 55.
- Smith, G. C., Culp, G. R., & Carpenter, Z. L. (1978). Postmortem aging of beef carcasses. *Journal of Food Science*, 43(3). Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19780327881>
- Smith, I. (2006). *Improving traceability in food processing and distribution*. Retrieved from <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=ec624cdc22d04767a3070f194c02a948>
- Smith, S. B., Gotoh, T., & Greenwood, P. L. (2018). Current situation and future prospects for global beef production: Overview of special issue. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(7), 927–932. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0405>
- Sterten, H., Oksbjerg, N., Frøystein, T., Ekker, A. S., & Kjos, N. P. (2010). Effects of fasting prior to slaughter on pH development and energy metabolism post-mortem in M. longissimus dorsi of pigs. *Meat Science*, 84(1), 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.019>
- Storøy, J., Thakur, M., & Olsen, P. (2013a). The TraceFood Framework – Principles and guidelines for implementing traceability in food value chains. *Journal of Food Engineering*, 115(1), 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.018>
- Storøy, J., Thakur, M., & Olsen, P. (2013b). The TraceFood Framework – Principles and guidelines for implementing traceability in food value chains. *Journal of Food Engineering*, 115(1), 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.018>

- Teira, G. (2004). *Actualidad y perspectivas de un componente principal de la calidad de carnes bovinas: la terneza. Ciencia, Docencia y Tecnología*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/26418288_Actualidad_y_perspectivas_de_un_componente_principal_de_la_calidad_de_carnes_bovinas_la_terneza
- Thakur, M., & Hurburgh, C. R. (2009). Framework for implementing traceability system in the bulk grain supply chain. *Journal of Food Engineering*, 95(4), 617–626.
- Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID and blockchain technology. *2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2016.7538424>
- Tian, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain and Internet of things. *2017 International Conference on Service Systems and Service Management*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996119>
- Toldra, F. (Ed.). (2017). *Lawrie's Meat Science* (8 edition). Duxford, United Kingdom: Woodhead Publishing.
- van Rijswijk, W., & Frewer, L. J. (2008). Consumer perceptions of food quality and safety and their relation to traceability. *British Food Journal*, 110(10), 1034–1046. <https://doi.org/10.1108/00070700810906642>
- Verdouw, C. N., Beulens, A. J. M., Trienekens, J. H., & Vorst, J. G. A. J. van der. (2011). A framework for modeling business processes in demand-driven supply chains. *Production Planning & Control*, 22(4), 365–388. <https://doi.org/10.1080/09537287.2010.486384>
- Warriss, P. D. (1990). The handling of cattle pre-slaughter and its effects on carcass and meat quality. *Applied Animal Behaviour Science*, 28(1), 171–186. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(90\)90052-F](https://doi.org/10.1016/0168-1591(90)90052-F)
- Wittmann, W., Ecolan, P., Levasseur, P., & Fernandez, X. (1994). Fasting-induced glycogen depletion in different fibre types of red and white pig muscles—relationship with ultimate pH. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 66(2), 257–266. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740660222>
- Wythes, J. R., Arthur, R. J., Thompson, P. J. M., Williams, G. E., & Bond, J. H. (1981). Effects of transporting cows various distances on liveweight, carcass traits and muscle pH. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 21(113), 557–561. <https://doi.org/10.1071/ea9810557>

Zapata, G. O. (2018, August 13). 40 % de la carne que se comercia es ilegal.
www.elcolombiano.com. Retrieved from
<http://www.elcolombiano.com/antioquia/policia-aduanera-contra-comercio-ilegal-de-carnes-YL9148919>