

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) Y VERIFICACIÓN DE PRINCIPIOS DE LA QUÍMICA VERDE EN LA PRODUCCIÓN DE CHORIZO ARTESANAL

YESENIA LUCIA SERRANO HERNANDEZ

UNIVERSIDAD EAN

**BOGOTÁ D.C., COLOMBIA,
OCTUBRE DE 2019**

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) Y VERIFICACIÓN DE PRINCIPIOS DE LA
QUÍMICA VERDE EN LA PRODUCCIÓN DE CHORIZO ARTESANAL**

AUTORA

YESENIA LUCIA SERRANO HERNANDEZ

DIRECTOR

JEFREY LEON PULIDO

BOGOTÁ D.C, SEPTIEMBRE 2019

FIRMA DE LOS JURADOS Y DIRECTOR

DIRECTOR

JURADO 1

JURADO 2

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen María por ser la luz en mi camino y convertir mis miedos en esperanzas.

A mi madre quien con la dulzura de su amor ha estado apoyándome incondicionalmente y con su ejemplo me ha inspirado día a día para lograr cada meta trazada. A mis hermanas Angela y Judith quienes continuamente me incentivaron y ayudaron a luchar por mis sueños.

A mis amigos y compañeros de maestría Natalia, Leonardo, Diego, Gustavo, Jorge, Carolina y Rafael con ustedes aprendí que la felicidad no está en la meta sino en el camino que recorrimos para alcanzarla.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirme culminar esta etapa. A mi familia por contribuir en el desarrollo de esta tesis, por sus interminables palabras de aliento en persistir hasta el final.

A la profesora Angela García de la Universidad EAN por su calidad humana y constante interés en colaborarme y despejarme cualquier duda que surgiera.

A mi tutor Jeffrey León por cada detalle y momento dedicado. Por la claridad y exactitud y haberme acompañado durante el avance de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	10
Abstract	11
Introduccion.....	12
Capítulo 1 Estructura del proyecto.	14
1.1 Objetivos.....	14
1.2 Justificacion	14
1.3 Delimitacion, alcance y problema	16
1.4 Metodologia.....	18
Capítulo 2 Estado del arte.	20
2.1 Estado del arte.....	20
2.1.1 Productos carnicos.	20
2.1.2 Perspectivas de los productos carnicos.	21
2.1.2.1 Panorama nacional.	22
2.1.2.2 Panorama Boyaca.....	22
2.1.3 Normativas aplicables al sector carnicos.	23
2.1.4 Procesos artesanales vs. industrializados.	26
2.1.5 Evaluacion del ciclo de vida.	28
2.1.6 Descripcion del ciclo de vida.	30
2.1.7 Aplicaciones del ACV en chorizo artesanal.....	31
2.1.8 Quimica verde.	32
2.1.9 Conclusiones preliminares.	34

Capítulo 3 Metodología ACV del chorizo artesanal.	36
3.1 Aplicación del ACV del chorizo artesanal	36
3.1.1 Definición de objetivo y alcance.....	36
3.1.1.1 Objetivo.....	36
3.1.1.2 Alcance.....	36
3.1.2 Funcion y unidad funcional.....	37
3.1.3 Limites del sistema.....	37
3.1.4 Suposiciones y limitaciones.	38
3.1.5 Modelamiento del proceso.	38
3.1.5.1 Fase de produccion de carne.	38
3.1.5.2 Fase de elaboracion del chorizo artesanal.....	41
3.1.5.3 Variables fundamentales de proceso.....	44
3.1.6 Datos para el inventario del ACV.	45
3.1.6.1 Fase de produccion de carne.	45
3.1.6.2 Fase de procesamiento del alimento.	47
3.1.7 Simulacion del ciclo de vida.	48
3.1.8 Evaluacion del impacto del ciclo de vida.....	49
3.1.9 Verificacion de la quimica verde aplicada a chorizo artesanal.....	53
Capítulo 4 Alternativas de mejora en la produccion de chorizo artesanal.	54
4.1. Resultados y discusion.	54
4.1.1. Discusiones de ACV y quimica verde.	54
4.1.2. Opciones de mejora y mitigacion.....	60
5. Conclusiones y trabajos futuros	63
6. Lista de Referencias	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad nacional.....	24
Tabla 2. Equipos e instrumentos involucrados en cada una de las etapas de elaboracion de productos carnicos artesanales e industrializados.....	27
Tabla 3. Descripcion etapas de proceso del producto carnico artesanal.....	42
Tabla 4. Formula de materias primas e ingredientes elaboracion de chorizo artesanal....	43
Tabla 5. Variables fundamentales de proceso.....	44
Tabla 6. Inventario fase de produccion de carne de res y carne de cerdo.....	46
Tabla 7. Parámetros físico químicos y microbiológicos del agua residual.....	47
Tabla 8. Inventario fase de procesamiento del alimento.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del ciclo de vida de la cuna a la tumba	16
Figura 2. Diagrama del ciclo de vida del chorizo artesanal	17
Figura 3. Metodología de desarrollo	18
Figura 4. Proceso productivo industrial de carnes y productos carnicos	21
Figura 5. Fases que conforman un ACV y su interrelación	30
Figura 6. Principios de la química verde	33
Figura 7. Descripción de la evaluación de la calidad de la información	36
Figura 8. Suposiciones y limitaciones para el desarrollo del estudio	39
Figura 9. Diagrama de flujo fase de producción de carne de res	39
Figura 10. Diagrama de flujo fase de producción de carne de cerdo	40
Figura 11. Diagrama de flujo fase de procesamiento de alimentos	41
Figura 12. Ciclo de vida del chorizo artesanal en software GaBi	49
Figura 13. Descripción general de la estructura ReCipe	51
Figura 14. Potencial de eutrofización	55
Figura 15. Agotamiento del agua	56

RESUMEN

En el departamento de Boyacá las micro y pequeñas empresas elaboran productos cárnicos artesanales como el chorizo. Dentro de los principales retos que enfrentan estas industrias se encuentra el uso eficiente de los recursos. El objetivo del presente estudio fue aplicar la metodología ACV y verificar la aplicación de los principios de química verde en el sistema de producción de chorizo artesanal en una microempresa del municipio de Sogamoso. Se definió el alcance del ACV, se realizó el levantamiento de los procesos, se analizó el inventario, se evaluaron los impactos haciendo uso de la herramienta computacional GaBi, se verificaron los principios de la química verde en la elaboración del producto y se plantearon opciones de mejora y mitigación. Se obtuvo como resultado que la etapa de producción de carne es la principal fuente de los impactos y al realizar la evaluación de impactos se detectaron los siguientes: potencial de eutrofización y agotamiento del agua. Se propone como principal alternativa de mejora la disminución del consumo de agua aplicando procedimientos operativos estandarizados y mediante el uso de equipos que aumenten el impacto y velocidad de salida de agua.

Palabras clave: química verde, ciclo de vida, producción, chorizo, artesanal.

ABSTRACT

In the department of Boyacá, micro and small companies produces artisanal meat products such as chorizo. Among the main challenges facing these industries is the efficient use of resources. The objective of this study was to apply the LCA methodology and verify the application of the principles of green chemistry in the artisanal chorizo production system in a microenterprise in the municipality of Sogamoso. The scope of the LCA was defined, the study of the processes was carried out, the inventory was analyzed, the impacts were evaluated using the GaBi computational tool, the principles of Green Chemistry in the production of the product were verified and the improvement options were considered and mitigation. It was obtained as a result that the meat production stage is the main source of the impacts. The main environmental aspects that derive from meat production are the discharge of wastewater and solid waste and the consumption of water. To carry out the impact assessment, the following were detected: eutrophication potential and water depletion. It is proposed as the main alternative to improve the reduction of water consumption through the application of standardized operating procedures and the use of equipment that increases the impact and speed of water production.

Keywords: green chemistry, life cycle, production, chorizo, artisanal.

INTRODUCCION

La industria alimentaria es uno de los sectores económicos más importantes del mundo y es considerada como objetivo prioritario en términos de desarrollo sostenible y eficiencia en el uso de los recursos (Ramos, 2015). El impacto ambiental del sector comenzó a cobrar importancia en los años 80 a raíz de las consecuencias ecológicas de los efluentes y vertidos procedentes de la producción de alimentos (Ramos, Etxebarria & Zufia, 2014).

En la actualidad la problemática ambiental a la que se enfrenta la cadena alimentaria se ha extendido por el auge de empresas en el país. En Colombia, los establecimientos industriales cuya actividad principal es la elaboración de carnes y productos cárnicos de acuerdo a su tamaño empresarial son 52.9% micro y pequeñas empresas, 27.4 % medianas y 19.7% para grandes empresas (DNP, 2018).

Dentro de la inmensa variedad de productos derivados de la carne, cada región del país posee productos artesanales autóctonos. En el departamento de Boyacá las micro y pequeñas empresas elaboran productos como génovas, jamón, chorizo, salchichas, longaniza entre otros. Usualmente estos productos se fabrican de manera casera sin llevar a cabo seguimientos estrictos de sus procesos y productos dando cabida a posibles efectos en detrimento de la seguridad alimentaria y del medio ambiente, asociados con el mal manejo de recursos y residuos procedentes de sus actividades (Gobernación de Boyacá, 2012).

Lo anterior pone en manifiesto que uno de los principales retos que tiene la industria de alimentos incluyendo el sector cárnico es el uso eficiente de los recursos. Las actividades que se derivan de su producción tienen un impacto negativo en diferentes recursos como la energía y el agua y también son responsables de importantes emisiones de gases de efecto invernadero y la generación de grandes cantidades de residuos sólidos y vertimientos (Perez-Martinez et al., 2018).

Actualmente la sustentabilidad en los procesos productivos abarca desde el estudio y la aplicación de soluciones hasta el enfoque de la innovación en procesos para la productividad de las mismas

empresas. Desde esta perspectiva, el ciclo de vida de un producto comprende las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o su generación a partir de recursos naturales, pasando por la producción de energía y materia, y la fabricación, hasta el uso y el tratamiento al final de la vida útil y la disposición final (ISO 14040, 2007). La metodología de evaluación de ciclo de vida (ACV o LCA) permite cuantificar indicadores ambientales, compilando entradas y salidas de un producto o servicio y mide sus impactos potenciales (Galindro, Zanghelini, & Soares, 2019).

Estudios recientes han aplicado el ACV a la cadena de producción primaria de la carne no procesada como materia prima (Perez-Martinez et al., 2018) (Betancur, 2012) ya que esta fase ha sido determinada como una de las principales fuentes de impacto ambiental, sin embargo, otras actividades dentro de la cadena de valor de la industria cárnica como el procesamiento artesanal no han sido explorados en el país ni en el departamento y pueden causar impactos negativos significativos en el medio ambiente y la salud humana.

Otra alternativa que conduce a la sostenibilidad ambiental y que complementa la metodología ACV es la “química verde”, concepto que contempla el diseño de productos y procesos que reduzcan la generación de sustancias peligrosas y maximicen la eficiencia en la utilización de recursos materiales y energéticos (María et al., 2019). En la cadena de suministro de los alimentos se ha impulsado la investigación sobre técnicas verdes con miras a la conformación de procesos alternativos, eficientes y sostenibles; tanto con fines analíticos como de procesamiento que reduzcan el impacto ambiental de los residuos industriales y logren un manejo adecuado de los recursos ambientales (Pájaro & Olivero 2011).

Finalmente, en el presente proyecto se pretende aplicar la metodología ACV y verificar la aplicación de los principios de la química verde en el sistema de producción de chorizo artesanal, ya que las industrias procesadoras y transformadoras de alimentos cárnicos se proyecta como un sector importante para el desarrollo económico de Boyacá.

CAPITULO 1 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Aplicar la metodología ACV en el sistema de producción de chorizo artesanal en una microempresa del municipio de Sogamoso - Boyacá, incluyendo el estudio de los principios de química verde.

1.1.2 Específicos

1. Revisar en la literatura los antecedentes de ACV aplicado a chorizo artesanal o productos similares.
2. Identificar los procesos involucrados en las principales etapas del ciclo de vida y los principios de la química verde.
3. Estudiar el ciclo de vida en la herramienta computacional GaBi, estableciendo los parámetros clave asociados a la producción de chorizo artesanal.
4. Proponer una alternativa de mejora en la producción de chorizo artesanal que incluya conceptos de química verde.

1.2 Justificación

En Colombia, la oferta disponible de alimentos para consumo humano es de 28 millones de toneladas al año. Sin embargo, no toda la comida destinada al consumo humano se aprovecha. A lo largo de la cadena alimentaria se genera un total de 9,76 millones de toneladas de pérdidas y desperdicios de alimentos lo cual equivale al 34% del total. Del total de alimentos perdidos y desperdiciados, el 64% corresponde a pérdidas que se ocasionan en las etapas de producción, poscosecha, almacenamiento y procesamiento industrial. El 36% restante corresponde a los

desperdicios que se generan en las etapas de distribución y retail, y consumo de los hogares (DNP, 2016).

Del total de pérdidas y desperdicios de alimentos de 9,76 millones de toneladas la industria cárnica aporta el 12% que corresponde a 269.000 toneladas. La región que tiene el mayor nivel de participación en la pérdida nacional es la centro oriental compuesta por Cundinamarca, Santander, Norte de Santander y Boyacá (DNP, 2016). Al clasificar los establecimientos industriales cuya principal actividad es la elaboración de carnes y productos cárnicos en Boyacá se ha encontrado que el 77% corresponden a Mipymes, son este tipo de empresas quienes dinamizan la economía en el departamento y se constituyen en una fuente de empleo y sustento para sus habitantes (Gobernación de Boyacá, 2012).

Las pequeñas y medianas empresas generalmente, no realizan la evaluación del impacto ambiental que representa su proceso productivo, esto se debe a diversos aspectos como la falta de procedimientos para los análisis, poco conocimiento sobre el manejo de recursos y sobre los impactos que se derivan de sus actividades razón por la cual es necesario el desarrollo del presente proyecto. Es preciso adelantar acciones que involucren la innovación y mejora en procesos y productos en el sector cárnico artesanal y hacer transferencia de conocimientos a los involucrados en esta cadena de abastecimiento. Los esfuerzos que se realicen en torno a este tema, deben tener en consideración que el fin último se enmarca en el logro de sistemas alimentarios sostenibles que incluyan la producción de alimentos de manera eficiente y razonable.

Se estima que en las próximas dos o tres décadas, habrá una mayor demanda mundial de fuentes de proteína animal de alta calidad, como la carne. En este escenario, los sistemas eficientes de producción de carne y sus derivados deben apuntar a desarrollar mejoras en su cadena valor incorporando estrategias de sostenibilidad y conceptos verdes dando respuesta a las exigencias del mercado. Un sistema alimentario es eficiente cuando conjuga los aspectos biológicos, ecológicos y económicos, y los relaciona con un uso eficiente de los insumos que ingresan al sistema (energía, recursos naturales, capital, trabajo y tiempo) y los productos que salen (alimentos, fibras, productos agroindustriales etc.) (FAO, 2017).

Es necesario impulsar la transformación productiva de las industrias cárnicas artesanales con el uso de metodologías que agreguen valor y faciliten la toma de decisiones. Con el presente estudio se pretende brindar que los empresarios del sector cárnico artesanal del departamento de Boyacá puedan sobrepasar las limitaciones que enfrentan en la actualidad en el desarrollo de sus actividades y con el manejo adecuado de recursos y así disminuir o mitigar los impactos potenciales inherentes a sus procesos productivos, reducir las pérdidas y desperdicios y detectar oportunidades de mejora en sus procesos con la aplicación del análisis de ciclo de vida y la verificación de los principios de la química verde.

1.3 Delimitación, alcance y problema

La cadena productiva de los cárnicos artesanales requiere un enfoque que se fundamente en la elaboración y difusión de directrices y prácticas de fabricación destinadas a fomentar la productividad y el correcto manejo de los recursos con el fin de minimizar el impacto ambiental que se deriva de sus actividades industriales. En la actualidad los microempresarios del sector no cuentan con alternativas de mitigación de impactos que les permitan incorporar acciones de mejora de sus procesos y productos que les facilite la toma de decisiones y la generación estrategias que promuevan la sostenibilidad en la cadena de valor de cárnicos artesanales.

En el contexto del análisis del ciclo de vida, generalmente se incluye el estudio y la cuantificación de los impactos ambientales asociados a la vida de un producto, proceso o actividad desde “la cuna a la tumba” que incluye las siguientes etapas: adquisición de materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida útil como se describe en la Figura 1.

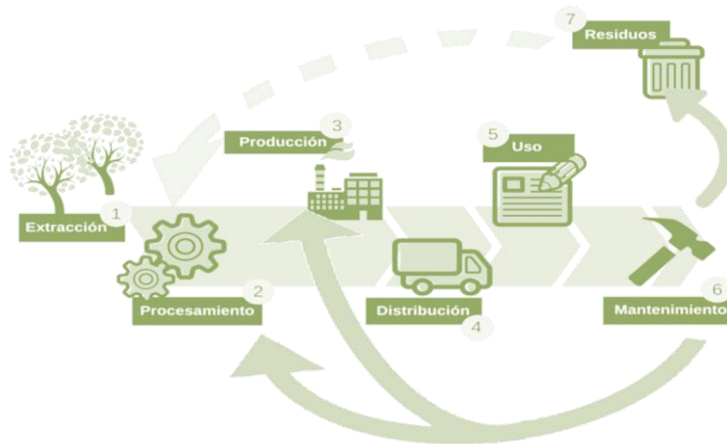


Figura 1. Etapas del ciclo de vida de la cuna a la tumba que abarca desde la extracción o generación de la materia prima hasta el fin de su vida útil. Fuente Enea (2015).

En Colombia los productores primarios y las plantas de beneficio no cuentan con un sistema de trazabilidad que permita rastrear o seguir los atributos de la carne desde la etapa de crecimiento y engorde de los animales razón por la cual no se puede conocer el tipo de alimentación que les ha sido suministrada, las condiciones de pastoreo, clima etc. Según lo expuesto anteriormente, en la presente investigación no se contempla el ciclo de vida completo del producto, sino que el sistema de estudio comprende la fase de producción de carne que hace referencia al sacrificio y corte de bovinos y porcinos y la fase de procesamiento del alimento artesanal, todo ello con el objetivo de entender el proceso hacia la producción de chorizo. Por lo tanto, el enfoque de ciclo de vida que se toma en consideración es entonces de la puerta a la puerta como se observa en la Figura 2.

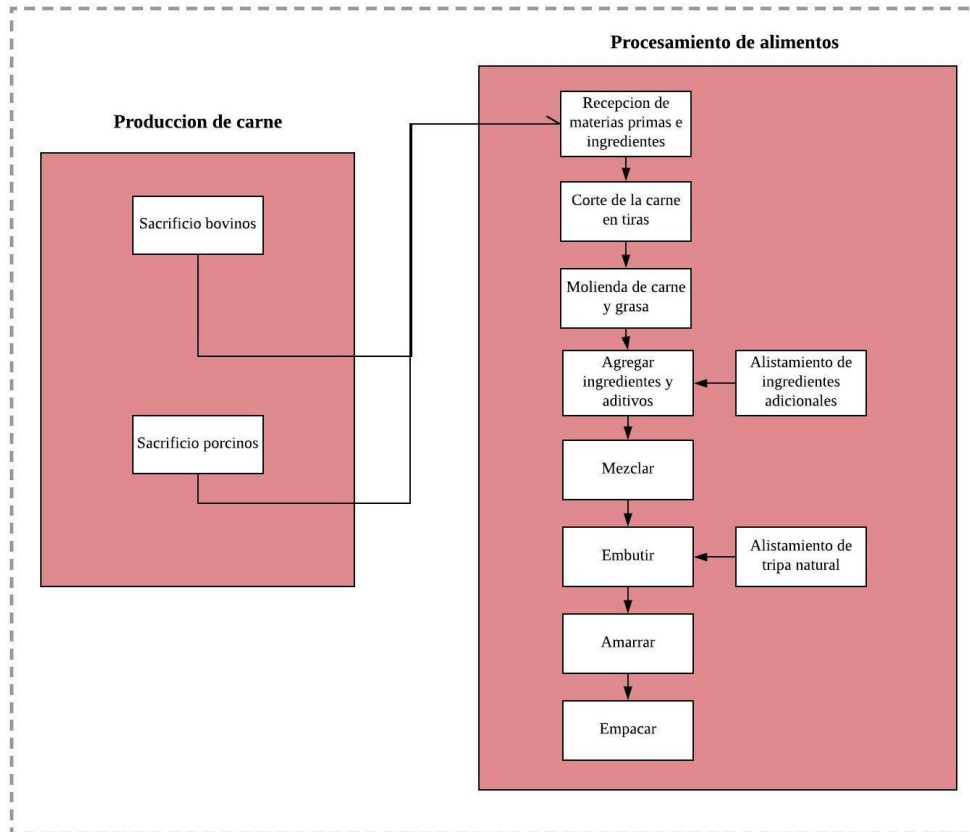


Figura 2. Diagrama de ciclo de vida del chorizo artesanal. Comprende desde el sacrificio de los bovinos y porcinos para la producción de la materia prima hasta el procesamiento y obtención del producto final artesanal. Fuente. Elaboración propia (2019).

Los inputs definidos para la fase de producción de la carne son peso promedio del animal para sacrificio, consumo de agua y energía y los outputs son carne, co productos sólidos y líquidos y residuos sólidos y líquidos. Para la fase de procesamiento del chorizo artesanal se establecen como inputs carne de res y cerdo, ingredientes adicionales, bandejas de empaque y consumo hídrico y energético y como outputs fueron definidos el producto terminado, residuos sólidos y líquidos durante el proceso.

1.4 Metodología

El presente trabajo se soporta en estudios previos similares que describen la aplicación del ACV en productos alimenticios (Perez-Martinez et al., 2018). A continuación, se muestra la metodología del proyecto:

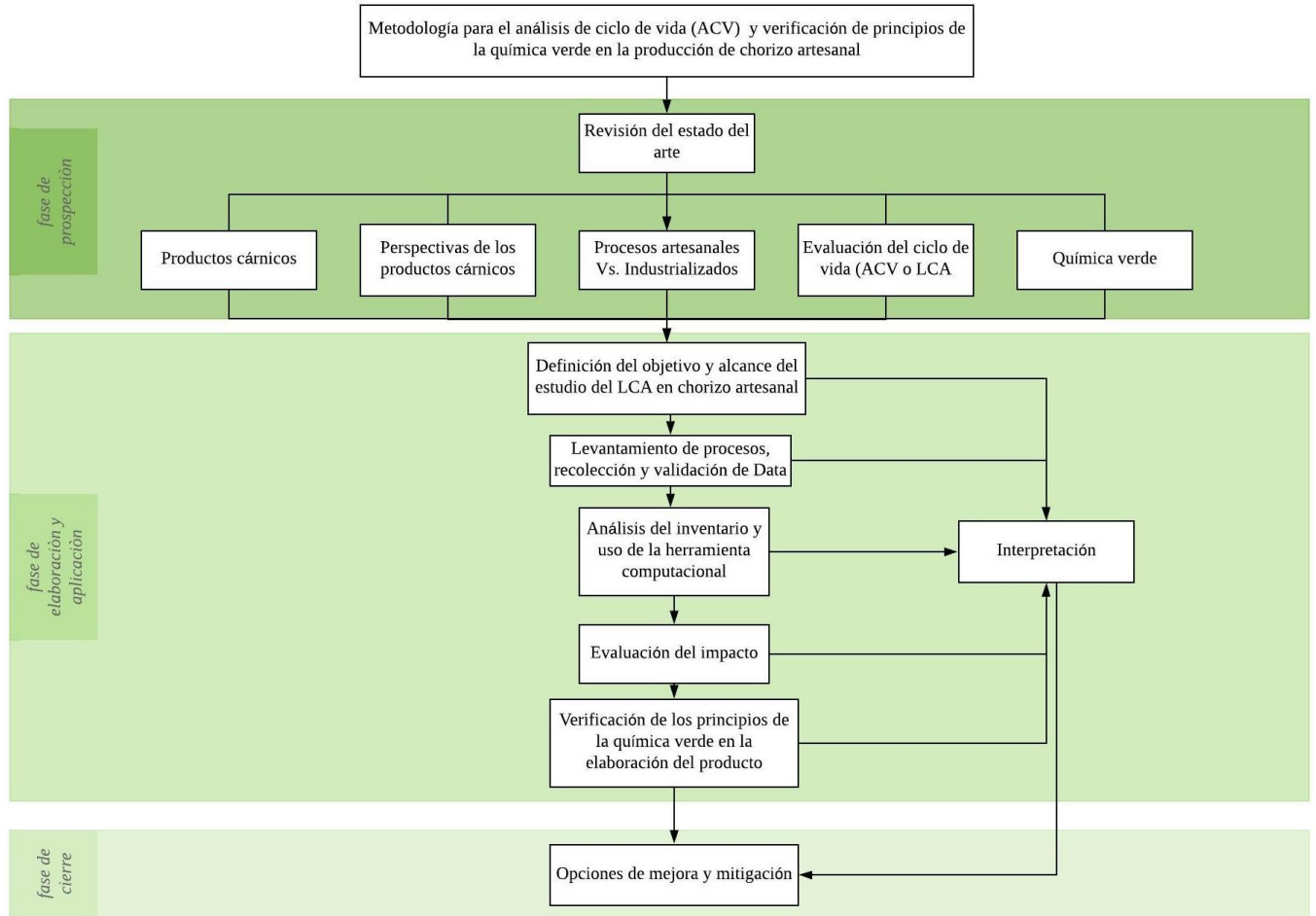


Figura 3. Metodología del proyecto. Se describe el procedimiento que se estableció para el desarrollo del proyecto. Fuente Elaborada por la autora (2019).

Como primer paso, fue desarrollada una etapa de revisión de la literatura para reconocer las etapas de los procesos involucrados en la fabricación de productos cárnicos, identificar las fases del análisis de ciclo de vida y sus aplicaciones en la producción de chorizo artesanal, las perspectivas de los cárnicos artesanales en el panorama nacional y departamental y las normativas aplicables al sector. Por otra parte, se establecieron las diferencias de los procesos artesanales e industrializados y se especifican las variables fundamentales de proceso. Por último, se revisan los conceptos de química verde y su evaluación en cárnicos artesanales.

Posteriormente en el capítulo 3, son presentadas las cuatro fases empleadas en la aplicación del análisis de ciclo de vida según lo establecido en la norma ISO 14040 y 14044 en el caso de estudio de la producción de chorizo artesanal, la primera de ellas hace referencia a la definición del objetivo y el alcance en donde fueron determinadas las unidades funcionales, los límites del sistema, suposiciones y limitaciones del estudio. La segunda fase corresponde a la recopilación de datos y el modelamiento de proceso. La tercera fase corresponde a la evaluación del impacto del ciclo de vida, evaluación del impacto ambiental del chorizo artesanal y finalmente se hace la valoración de los conceptos de química verde aplicados al producto objeto de estudio. A continuación, se discuten los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología ACV y principios de la química verde y se plantean opciones de mejora y mitigación.

Finalmente, en el capítulo 4 se presentan las conclusiones de la investigación y recomendaciones para trabajos futuros que puedan complementar los resultados y oportunidades de mejora identificadas en el presente estudio.

CAPITULO 2 ESTADO DEL ARTE

2.1 ESTADO DEL ARTE

Este capítulo reúne y organiza la información relacionada con la descripción de los productos cárnicos. Además, se detallan las perspectivas de éstos productos en el panorama nacional y departamental y las normativas aplicables al sector. Se establece la diferenciación entre procesos artesanales e industrializados y se abordan las variables fundamentales de proceso. Finalmente, se describe la evaluación del ciclo de vida y las aplicaciones del ACV en chorizo artesanal y se detallan los principios de la química verde y su evaluación aplicada a la elaboración de chorizo artesanal.

2.1.1 Productos cárnicos

Los productos derivados de la carne son todos aquellos preparados total o parcialmente con carnes, despojos, grasas y subproductos comestibles, procedentes de animales de abasto, con ingredientes de origen vegetal, condimentos, especias y aditivos (Madrid, 2014). Durante siglos la carne y sus productos derivados han constituido algunos de los alimentos más importantes que se consumen en todo el mundo especialmente los de origen artesanal.

Los productos cárnicos artesanales son por lo tanto alimentos tradicionales por excelencia, que se caracterizan porque tienen un fuerte componente regional pues reflejan la identidad y expresiones vívidas por una comunidad en particular. Para su elaboración se hace uso selectivo de la carne de razas animales autóctonas y la adición de ingredientes específicos, aplicados de acuerdo con las recetas locales y las antiguas prácticas de fabricación (Geyzen et al., 2019). El proceso industrial de productos cárnicos abarca desde el ingreso del ganado a las plantas de beneficio hasta el envasado de productos cárnicos procesados como se evidencia en la Figura 4.



Figura 4. Proceso productivo industrial de la cadena de carnes y productos cárnicos. Se describen las etapas que comprende el proceso de elaboración de estos productos. Fuente. Archivos de economía DPN (2018).

Los productos cárnicos procesados se clasifican en procesados crudos frescos o congelados o precocidos o no y en procesados crudos madurados o fermentados o ambos, procesados cocidos y procesados crudos madurados de pieza entera. En el caso de la carne, el músculo animal se compone típicamente de 60-80% de agua, 18-20% de proteína, 0.5-1.9% de lípidos, 1-1.5% de minerales y una proporción de carbohidratos (P. M, Iturriaga, Ribotta, & Thomas, 2013).

Según lo estipulado por la NTC 1325 de 2008 (ICONTEC, 2008), el chorizo se define como un producto cárnico procesado, crudo fresco, obtenido por molido o picado, cocido o madurado, embutido, elaborado a base de carne y grasa, con la adición de sustancias de uso permitido. El chorizo debe cumplir con los requisitos de composición y formulación establecidos en dicha norma.

2.1.2 Perspectivas de los productos cárnicos

En Colombia, el sector cárnico tiene gran relevancia en los niveles económico, ambiental y social, desde la producción hasta el consumo final, al reunir diversas actividades que demandan recursos y mano de obra en todo el territorio nacional (Contraloría General, 2018) (Gobernación de Boyacá, 2012) (Fedegan, 2019).

En este sentido, las actividades productivas sostenibles, junto con la reconcepción de los procesos y productos, abren la puerta para que los empresarios del sector comiencen a desarrollar bienes de mayor valor para atender mercados cada vez más exigentes. Sin embargo, la alta informalidad presente en las etapas de producción y comercialización, junto con el impacto ambiental generado sobre todo en relación con el cuidado de las fuentes de agua, afecta considerablemente al sector e impide el desarrollo sostenible del negocio (DNP, 2018).

2.1.2.1 Panorama Nacional

Dentro de los derivados cárnicos los productos que se encuentran con mayor participación promedio anual de los años 2001 al 2014 en el país, según los datos reportados por el DPN en el año 2017, son los embutidos como salchichas (44.9%), salchichón (23.8%), chorizos y longanizas (17.8%) y carnes frías preparadas embutidas (5.7%). A su vez, el eslabón carnes frías tiene una mayor participación en productos específicos como jamón (34.9%) y mortadela (20.9%). La carne y los productos cárnicos se encuentran entre los más promisorios en cuanto a potencial de investigación, puesto que funcionan regularmente como componentes clave de las dietas tradicionales en todo el mundo (Contraloría General, 2018) (Fedegan, 2019) (Geyzen et al., 2019).

3.1.2.2 Panorama Boyacá

En el departamento de Boyacá, los sectores agroindustriales más importantes por su volumen, calidad, estacionalidad y cultura productiva son el cárnico, lácteo, hortícola, frutícola y panelero. Las empresas de estos sectores planean la producción en función de anticiparse a la demanda y cumplir pedidos casi en un 70% y su producción es absorbida en un 50% por el mercado local, el 30% por el mercado regional, el 16.67% destinada al mercado nacional y el 3.33% al internacional (Gobernación de Boyacá, 2012).

La ganadería en la totalidad de municipios del departamento alcanza alrededor de 950.430 cabezas, de las cuales el 50% se destinan como ganado en cebo y aproximadamente el 18% a leche y doble propósito (Fedegan, 2019) (Gobernación de Boyacá, 2018).

Las industrias cárnicas de la región enfrentan desafíos en cuanto a innovación en sus productos y procesos, se ven limitadas en generar una conceptualización nueva desde su composición hasta su

comercialización; razón por la cual no se está contribuyendo con el desarrollo de estrategias que permitan equilibrar el aumento de la productividad con la sostenibilidad ambiental. Los principales atributos de innovación que se han gestado hasta el momento en el sector se relacionan con calidad, precio, uso de aditivos, conservantes, agentes alergénicos, entre otros. En síntesis, los empresarios agroindustriales de Boyacá aun no contemplan como prioridad la implementación de programas de mejora, solo el 40% de las empresas manifiesta realizar algunas prácticas de gestión de la calidad, planeación estratégica y gestión ambiental (Gobernación de Boyacá 2012).

2.1.3 Normativas aplicables al sector cárnicos

El estado es la entidad responsable de normar, regular y direccionar la implementación de un sistema alimentario, con base en las necesidades específicas y la cultura, para que ésta sea sostenible en el tiempo. Además, debe involucrarse en la regulación de la inocuidad de los alimentos, el funcionamiento de los mercados y la elaboración de estándares de agricultura y alimentación (FAO 2017).

Las especificaciones de calidad de los productos cárnicos vienen dadas por la normatividad vigente, la Tabla 1. presenta las principales regulaciones que aplican al sector.

Tabla 1. *Normatividad nacional*

ENTE REGULADOR	NORMA	DESCRIPCION
CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA	Ley 09 de 1979 (Código Sanitario Nacional)	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias
MINISTERIO DE SALUD	Decreto 2162 de 1983	Por el cual se reglamenta parcialmente el título V de la ley 09 de 1979, en cuanto a producción, procesamiento, transporte y expendio de los productos cárnicos procesados.
PRESIDENTE DE LA REPUBLICA	Decreto 3075 de 1997	Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979 y se dictan otras disposiciones
PRESIDENTE DE LA REPUBLICA	Decreto 60 de 2002	Por el cual se promueve la aplicación del Sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control – HACCP en las fábricas de alimentos y se reglamenta el proceso de certificación.
MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL	Resolución 5109 de 2005	Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano.
MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL	Decreto 1500 de 2007	Por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos, destinados para el Consumo Humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación.
ICA	Resolución 2640 de 2007	Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado porcino destinado al sacrificio para consumo humano
ICA	Resolución 2341 de 2007	Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado bovino y bufalino destinado al sacrificio para consumo humano.
MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL	Resolución 2606 de 2009	Por la cual se establece el Reglamento Técnico sobre los requisitos que deben cumplir los aditivos alimentarios que se fabriquen, procesen, envasen, almacenen, transporten, expendan, importen, exporten, comercialicen y se empleen en la elaboración de los alimentos para consumo humano en el territorio nacional.
MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL	Resolución 0333 de 2011	Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano.
MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL	Resolución 1506 de 2011	Por medio de la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los aditivos que se emplean para la elaboración de alimentos para consumo.
MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL	Decreto 2270 de 2012	Por el cual se modifica el Decreto 1500 de 2007, modificado por los Decretos 2965 de 2008, 2380, 4131, 4974 de 2009, 3961 de 2011, 917 de 2012 y se dictan otras disposiciones.
MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL	Resolución 2674 de 2013	Por la cual se reglamenta el artículo 126 del Decreto-ley 019 de 2012 y se dictan otras disposiciones.
MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL	Resolución 1229 de 2013	Por la cual se establece el modelo de inspección, vigilancia y control sanitario para los productos de uso y consumo humano.
ICA	Resolución 2304 de 2015	Por la cual se establecen los requisitos sanitarios y de inocuidad para obtener la Certificación en Buenas Prácticas Ganaderas BPG en la producción primaria de ovinos y caprinos destinados al sacrificio para consumo humano

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL	Resolución 0719 de 2015	Por la cual se establece la clasificación de alimentos para consumo humano de acuerdo con el riesgo en salud pública.
INSTITUTO NACIONAL DE VIGILANCIA DE MEDICAMENTOS Y ALIMENTOS	Resolución 2016037912 de 2016	Por la cual se establecen los lineamientos para la inscripción y autorización sanitaria ante el Invima, de los establecimientos acondicionadores de carne y productos cárnicos comestibles.

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 1. Se presenta la normatividad nacional vigente aplicable a la cadena de suministro de productos cárnicos. La inocuidad de los alimentos puede mejorarse mediante un enfoque preventivo como la aplicación de prácticas higiénicas (BPM) y la aplicación de procedimientos basados en análisis de riesgos y puntos críticos de control (HACCP) (Kerry & Kerry, 2011). Teniendo en cuenta que la carne y sus derivados son alimentos altamente perecederos y pueden generar un riesgo significativo para la salud humana, en el país esta cadena está ampliamente regulada a nivel industrial.

Adicionalmente, se encuentran las normas que definen los estándares de calidad nacionales e internacionales de los productos cárnicos y la estructura del sistema de gestión de inocuidad de los alimentos. Estos sistemas deben asegurar que todas las actividades de la organización que puedan impactar sobre la seguridad de sus productos estén definidas claramente e implementadas eficazmente (Verano Cañaveras & Santos Hernández, 2012). Las normas técnicas aplicables al sector son:

- NTC 1325:2008 Industrias alimentarias. Productos cárnicos procesados no enlatados.
- NTC-ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
- NTC-ISO 22000:2005 Sistemas de gestión de inocuidad de los alimentos. Requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria.

2.1.4 Procesos artesanales vs Industrializados

Los alimentos artesanales desempeñan un papel importante en la autenticación de una cultura étnica o nacional. Se relacionan con las economías campesinas y con celebraciones y comunidades específicas. En los últimos años se han transformado en "artefactos híbridos" que están regulados por la legislación nacional e internacional con respecto a la "calidad del producto, higiene, precios, abastecimiento y mercados" (Bardone & Spalvena, 2019). El procesamiento artesanal es una forma de elaboración que difiere de la industrial por los siguientes conceptos (Paltrinieri, 2004):

- Construcción sencilla y capacidad de producción reducida.
- Producción que depende de la disponibilidad de la materia prima y de la demanda del producto terminado.
- Transporte del producto hacia las diferentes operaciones, así como el empaclado, se efectúan manualmente.
- Costo de fabricación que no es competitivo y producción se especializa en pocos productos.
- La calidad del producto terminado no es siempre constante, debido a las posibilidades limitadas de control del proceso.
- En ocasiones el producto no es bien aceptado por el consumidor a causa de la inconstancia de características como color, olor y textura.

Por otra parte, en los procesos industrializados, en el proceso de transformación de la carne es indispensable la utilización de maquinaria y equipos que faciliten el proceso de transformación de las materias primas. Con esto se busca que los procesos de transformación de la carne sean rentables, programar volúmenes altos de producción, incrementar los porcentajes de rendimientos y que la calidad del producto final cumpla con los parámetros exigidos por las entidades controladoras (Ramírez, 2006). En la Tabla 2. se establecen las diferencias especificaciones según las etapas de proceso, equipos e instrumentos.

Tabla 2. Equipos e instrumentos involucrados en cada una de las etapas para la elaboración de productos cárnicos artesanales e industrializados.

	PROCESO ARTESANAL	PROCESO INDUSTRIAL	DESCRIPCION
EQUIPOS INSTRUMENTOS	Neveras de refrigeración	Neveras de congelación con control de temperatura y humedad relativa	Almacenar materias primas como carne y grasa externa de cerdo
	Cuchillos (se recibe la carne inmediatamente se corta)	Sierra eléctrica (se recibe la carne congelada y se corta congelada)	Cortar las postas de carne congelada
	Molino manual	Molino M12 con motor eléctrico	Picar la materia prima de acuerdo al tipo de pasta cárnica en diferente tamaño de gránulo se cambia el disco (4mm,12mm, etc)
	Mezclado manual	Mezcladora	Obtener pasta cárnica homogénea con la incorporación de ingredientes y aditivos formulados para el proceso
		Cutter	Cortado fino de la carne hasta Obtener emulsiones finas como para mortadelas y salchichas
		Emulsificador	Corta finamente la carne y mezcla aplicando un sistema de vacío, vuelve más pequeñas las partículas de carne y da mayor estabilidad a las emulsiones evitando la separación final de la grasa post proceso.
	Embutido manual o Embutidora manual	Embutidora neumática	Embutir la masa obtenida en empaques naturales o sintéticos de acuerdo al producto a elaborar. (tiene sistema de boquillas de diferente diámetro de acuerdo a la tripa que se trabaja como empaque primario)
	Cocción en ollas usando estufa	Marmitas o Túnel de cocción	El producto se somete a cocción entre 68 y 76 grados centígrados por inmersión o por vapor con el fin de lograr un centro térmico mínimo de 68 grados centígrados y garantizar la disminución de la carga bacteriana.
	Temperatura ambiente	Túnel de secado	Secar las superficies de los embutidos para lograr corteza y evitar la proliferación microbiana por Aw.
Tajadora manual	Tajadora	Obtener rebanadas o lonchas de producto de diferente espesor.	

Empacado manual	Empacadora al vacío	Empacar y sellar el producto terminado
No se rotulan los productos	Rotulado	Maquina etiquetadora por peso y tipo que registra todos los datos de trazabilidad exigidos por la normativa vigente.
Levantamiento de carga manual	Carro de carnes	Almacenamiento y transporte
Neveras de refrigeración	Cuartos fríos	Almacenamiento de producto terminado.
Cuchillos con mango en madera	Cuchillos con mango plástico	Corte y troceado de materias primas
Sin medidas de protección	Guantes de acero	Protección personal
Mesas de plástico	Mesas de acero inoxidable	Manejo de producto en proceso.
Bascula colgante artesanal con indicador de lectura aproximado con sistema de tablero analógico	Bascula digital calibrada con sistema de tablero digital de mayor precisión	Pesar materias primas e ingredientes

Fuente. Elaboración propia (2019)

En la Tabla 2. se evidencia que el proceso artesanal emplea equipos manuales en los cuales el consumo de energía es mínimo y el control es menos riguroso por lo que los estándares de calidad varían y no son constantes.

2.1.5 Evaluación del Ciclo de vida

El ciclo de vida involucra las etapas interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de la materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final (ISO 14044, 2007). El ACV es una metodología utilizada para cuantificar los posibles impactos ambientales y para la salud humana de todo el ciclo de vida de un producto, así como para cuantificar los efectos en las reservas de recursos que permite conocer las partes y fases más problemáticas del ciclo de vida de un producto e identificar y evaluar mejoras futuras (da Luz, de Francisco, Piekarski, & Salvador, 2018). En la actualidad existen diferentes herramientas software que facilitan el análisis como SimaPro, Eco-it, Air.e LCA, open LCA, GaBi, TEAM y UMBERTO.

La Evaluación del Ciclo de Vida se considera uno de los enfoques más apropiados para el análisis de los impactos ambientales de las actividades industriales, ya que es complejo y puede tener efectos negativos significativos debido a los diferentes procesos involucrados en la elaboración, empaque y transporte de los alimentos (McAuliffe, Chapman, & Sage, 2016).

ACV se considera un método robusto para evaluar sistemas y productos que proporciona una visión amplia de los aspectos ambientales y los impactos potenciales del producto o proceso y una imagen más precisa de las verdaderas compensaciones ambientales en las selecciones de productos y procesos. Debido a este potencial de toma de decisiones, ACV tiene diversos usos, desde el diseño ecológico de productos, las optimizaciones en la fabricación y la gestión de la cadena de suministro, hasta las decisiones estratégicas, la comercialización y la transparencia de las actividades involucradas en la totalidad de las etapas que abarcan la producción de alimentos (Galindro et al., 2019).

En la actualidad ACV constituye una herramienta de gestión ambiental y diseño de procesos menos contaminantes. Ha sido incorporado en el desarrollo de los sistemas de eco etiquetado, en la formulación de guías para el desarrollo de “productos ambientalmente favorables” y en las normas ISO. Las normas ISO poseen varios estándares asociados a la conducción de ACV, algunas ya introducidas en los estándares nacionales (NTC):

- NTC- ISO 14062:2003 Integración de aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de productos.
- NTC 5459:2006 Análisis de ciclo de vida. Vocabulario
- NTC-ISO 14040:2007 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- NTC-ISO 14044:2007 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices. Requisitos del ciclo de vida.
- GTC 52:2010 Guía para tratar las cuestiones ambientales en normas de producto.
- NTC-ISO 14006:2011 Directrices para la incorporación del Eco diseño

- ISO 14001:2015 Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
- NTC-ISO 14046:2017 Gestión ambiental. Huella de agua. Principios, requisitos y directrices.
- NTC-ISO 14067:2018 Gases efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación.
- GTC 14049:2019 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Ejemplos ilustrativos sobre cómo aplicar ISO 14044 para definir objetivos, alcances y análisis de inventario.
- NTC-ISO 14072:2019 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices para el análisis del ciclo de vida de la organización.
- NTC-ISO 14027:2019 Etiquetas y declaraciones ambientales. Desarrollo de reglas de categoría de producto.

2.1.6 Descripción del ciclo de vida

Según la norma NTC- ISO 14040 hay cuatro fases en un estudio de ACV:

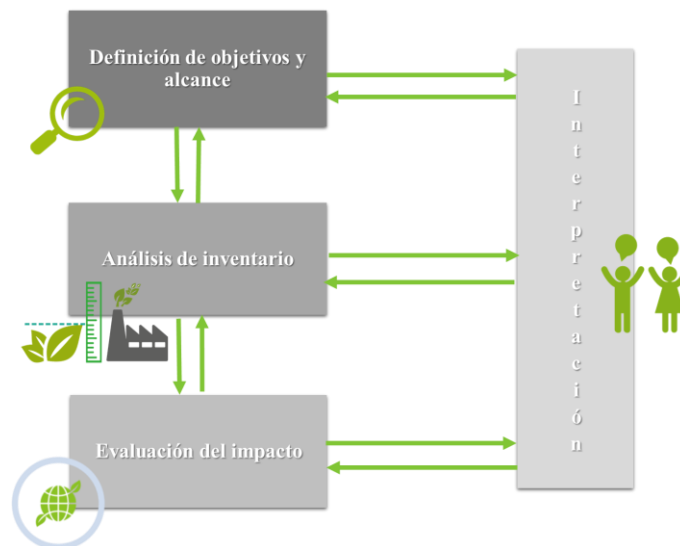


Figura 5. Fases que conforman un ACV y su interrelación. Fuente: Elaboración propia basada en NTC-ISO 14040:2007.

En la etapa 1 los objetivos exponen los motivos por los que se desarrolla el estudio, la aplicación prevista y a quien va dirigido. El alcance consiste en la definición de la amplitud, profundidad y detalle del estudio. En la etapa 2 se incluye la identificación de las entradas (consumo de recursos) y salidas (emisiones de aire, suelo y aguas y generación de residuos) del sistema del producto. Durante la etapa 3 se evalúa la importancia de los potenciales impactos ambientales generados por las entradas y salidas del sistema del producto. En la 4 y última etapa son interpretados los resultados obtenidos en las etapas anteriores, con la finalidad de extraer, de acuerdo a los objetivos y alcance del estudio, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones (ISO 14040, 2007).

2.1.7 Aplicaciones del ACV en chorizo artesanal

La industria alimentaria es un sector ampliamente estudiado desde el punto de vista ambiental, las principales fuentes de impacto se asocian a la primera fase de producción de materias primas en la agricultura y ganadería. Sin embargo, otras actividades dentro de la cadena de valor de la industria alimentaria, como el procesamiento de alimentos, pueden causar impactos negativos significativos en el medio ambiente (Perez-Martinez et al., 2018).

La elaboración de productos cárnicos y la obtención de carne tienen un impacto ambiental que está vinculado al cambio climático. Uno de los métodos más efectivos para medir el impacto de la industria en el medio ambiente es la aplicación de una evaluación del ciclo de vida (ACV), que se valora ampliamente durante el ciclo de vida de los productos. Este proporciona información valiosa sobre la industria de fabricación de carne y productos cárnicos (Biswas & Naude, 2016).

Estudios recientes han utilizado evaluaciones del ciclo de vida que representan la totalidad o parte de las emisiones de gases de efecto invernadero de las entradas y salidas de la cadena de producción de carne de res (Place & Mitloehner, 2012). Biswas & Naude (2016) evaluaron el

impacto ambiental de la industria cárnica procesada utilizando un fabricante local de productos cárnicos procesados como un caso de estudio en Australia occidental, proporcionando a la industria una visión general de las partes típicas del proceso que probablemente aumentarán el impacto ambiental.

Dentro de la búsqueda bibliográfica realizada en las bases de datos y buscadores electrónicos, en el país no se lograron encontrar estudios donde se aplique la metodología ACV a productos locales como el chorizo artesanal.

2.1.8 Química verde

En las últimas décadas, se ha observado una creciente preocupación por los problemas ambientales en todo el mundo. La sociedad contemporánea tiene una alta conciencia y responsabilidad de la dimensión ambiental de las actividades humanas (Armenta, Garrigues, Esteve-Turrillas, & de la Guardia, 2019). La química verde se está convirtiendo en una necesidad para evaluar y gestionar productos y procesos en la industria, así como para contribuir a sociedades más sostenibles (Lozano et al., 2018).

P. Anastas definió el concepto de química verde en 1998 como una filosofía dirigida hacia el diseño de productos y procesos químicos que implica la reducción o eliminación de productos nocivos y formuló sus 12 principios como recomendaciones y directrices para la comunidad científica (Török & Dransfield, 2018), los cuales se resumen en la Figura 6.

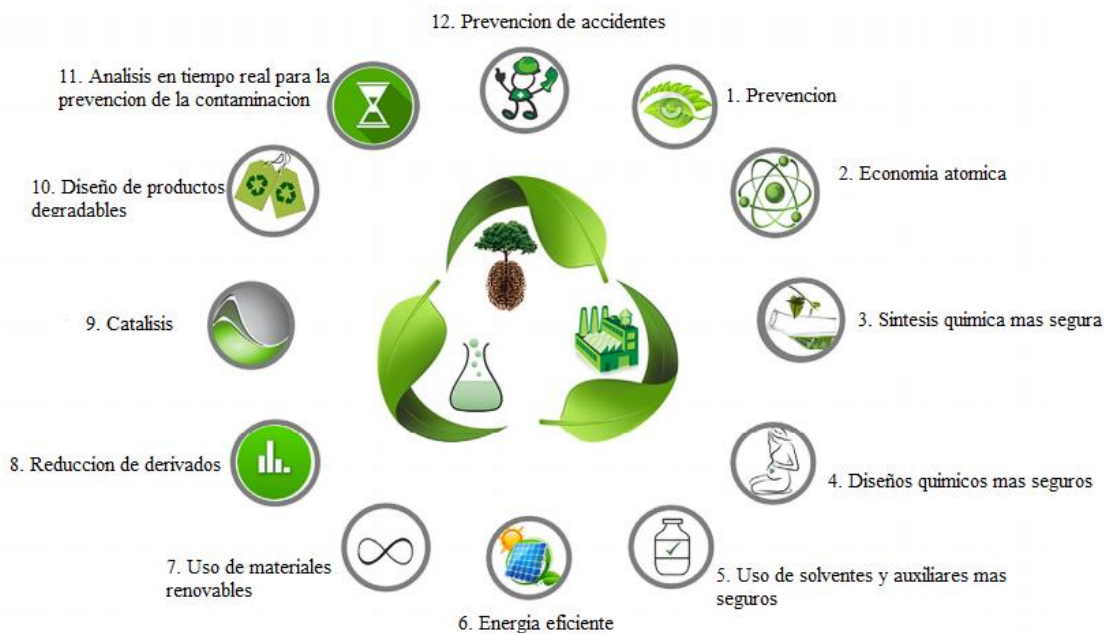


Figura 6. Principios de la química verde. Se enuncian cada uno de los doce principios que conforman a la química verde. Fuente. (de Marco et al., 2019).

En la industria alimentaria, pueden ser aplicados algunos de estos principios que se refieren de modo global a la planificación del producto, procesamiento, análisis y su destino después del uso. El objetivo principal de la química verde es minimizar los riesgos ambientales y ocupacionales inherentes a las actividades industriales (de Marco et al., 2019). Los principios de química verde que pueden asociarse al proceso de elaboración de productos cárnicos son:

1. Prevención: es mejor prevenir la aparición de desechos que tratarlos o limpiarlos después de que se hayan creado.
2. Economía atómica: maximizar la incorporación de todos los materiales utilizados en el proceso al producto final.

3. Síntesis químicas menos peligrosas: siempre que sea posible, generar sustancias que tengan poca o ninguna toxicidad para la salud humana y el medio ambiente.

6. Diseño para la eficiencia energética: los requisitos de energía de los procesos deben ser reconocidos por sus impactos ambientales y económicos y deben minimizarse.

10. Diseño para la degradación: los productos deben diseñarse de modo que al final de su función se descompongan en productos inocuos de degradación y no se conserven en el medio ambiente.

11. Análisis en tiempo real para la prevención de la contaminación: permitir el monitoreo y control en tiempo real, en el proceso, antes de la formación de sustancias peligrosas.

12. Química intrínsecamente más segura para la prevención de accidentes: se deben elegir las sustancias y la forma de una sustancia utilizada en un proceso químico para minimizar el potencial de accidentes químicos, incluidas liberaciones, explosiones e incendios.

Con la aplicación de dichos principios es posible predecir algunos de los beneficios económicos generados por la adopción de Química Verde en los procesos industriales, dentro de los que se destacan menor inversión en el almacenamiento y tratamiento de efluentes, así como disminución en el pago de indemnizaciones por daños ambientales (de Marco et al., 2019).

2.1.9 Conclusiones preliminares

Partiendo de los temas presentados en este capítulo se puede concluir que el sector cárnico artesanal se proyecta como uno de los más importantes tanto para el país como para el departamento de Boyacá a nivel económico, ambiental y social. El estado como ente regulador y de control juega un papel fundamental en la dirección e implementación de las normas vigentes

aplicables a la industria cárnica con el fin de garantizar la calidad e inocuidad de los productos elaborados.

La carne y sus derivados son considerados como los productos más contaminantes de la cadena alimentaria. Los microempresarios del sector artesanal todavía no realizan la evaluación del impacto ambiental que representa su proceso productivo, es por ello que se debe hacer uso de herramientas y metodologías como el ACV y la química verde que reconfiguren los procesos y productos, realicen un manejo controlado y adecuado de los recursos y disminuyan el impacto ambiental y para la salud que ocasiona el desarrollo de sus actividades industriales.

Estudios recientes han utilizado el análisis de ciclo de vida en fase de producción de carne de res, sin embargo, en Colombia no se ha explorado aún la fase de procesamiento de productos como el chorizo artesanal.

CAPITULO 3 ANALISIS DEL CICLO DE VIDA DEL CHORIZO ARTESANAL

3.1 APLICACIÓN DEL ACV DEL CHORIZO ARTESANAL

Este capítulo presenta el ACV del caso de estudio detallando cada una de las etapas que corresponden a la definición de objetivo y alcance, el levantamiento del proceso, la recolección de los datos requeridos para el inventario de ACV, la evaluación del impacto del ciclo de vida y la verificación de la química verde al producto estudiado.

3.1.1 Definición de objetivo y alcance del ACV

3.1.1.1 Objetivo del ACV

Los objetivos son los presentados anteriormente en el capítulo 1. La evaluación de ciclo de vida del chorizo artesanal se realizó de acuerdo a lo estipulado en las normas ISO 14040 y 14044 que se enfocan especialmente en el procesamiento industrial.

3.1.1.2 Alcance del ACV

El sistema de estudio que comprende el ciclo de vida del producto artesanal se encuentra mencionado anteriormente en el capítulo 1. De acuerdo al alcance planteado es esencial que la gestión de la calidad de la información sea una parte integral del proceso global, por ello la Figura 7 muestra el proceso secuencial que se llevó a cabo en la evaluación de la calidad de la información para la presente investigación.

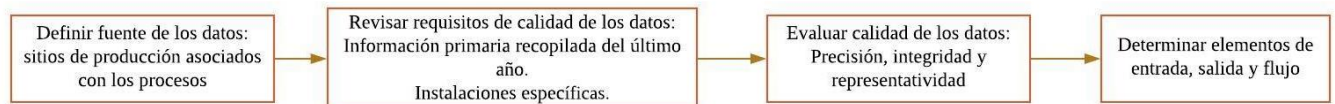


Figura 7. Descripción de la evaluación de la calidad de la información. Se explica el proceso que se aplicó para verificar la validez de los datos necesarios para el análisis del inventario. Fuente. Elaboración propia (2019).

En la Figura 7 se describen los requisitos de calidad de los datos, los cuales especifican en términos generales las características de los datos necesarios para este estudio. Estos requisitos se han definido de modo que permitan lograr los objetivos y alcance propuestos.

3.1.2 Función y unidad funcional

El sistema en este estudio tiene la función de proporcionar alimentos cárnicos de tipo artesanal sostenibles y de alto valor nutritivo a los consumidores. Esta función es aplicable al producto chorizo artesanal que comprende este estudio. La unidad funcional empleada es 1Kg de chorizo artesanal hecho a partir de carne de res, carne de cerdo y grasa de cerdo.

3.1.3 Limites del sistema

El sistema se ha definido con un enfoque de la puerta a la puerta. Este enfoque implica la inclusión de las siguientes etapas del ciclo de vida: la producción de la carne y la fabricación del producto (Perez-Martinez et al., 2018).

De acuerdo con el objetivo trazado, se ha analizado cada uno de los procesos unitarios de la fase de producción del producto. Las dos etapas que constituyen el sistema en estudio son:

- Producción de carne: en esta etapa se incluyen los impactos relacionados con sacrificio y corte de bovinos y porcinos.
- Procesamiento de alimentos: esta etapa incluye los consumos de recursos, energía, materias primas y la generación de residuos y efluentes. Cada uno de los procesos unitarios del flujo de producción ha sido considerado individualmente para determinar en detalle el impacto ambiental potencial relacionado con cada tarea incluyendo los procesos de limpieza y desinfección.

3.1.4 Suposiciones y limitaciones:



Figura 8. Suposiciones y limitaciones para el desarrollo del estudio.

En la Figura 8 se describe como la principal limitación en el desarrollo de la presente investigación la ausencia de un sistema de trazabilidad en la fase de producción primaria de la carne que involucra el crecimiento y engorde de los animales.

3.1.5 Modelamiento del proceso

Se realizó el levantamiento de los procesos involucrados en el sistema de estudio y se dividieron en dos fases la de producción de la carne y procesamiento del producto artesanal.

3.1.5.1 Fase de producción de carne

Se recopilaron los datos sobre la etapa de producción de las dos principales materias primas empleadas en el proceso de elaboración de chorizo artesanal que son carne de res y carne de cerdo. Dicha información fue suministrada por la planta de beneficio del municipio de Sogamoso INFRIBOY S.A.S, que tiene a cargo la administración y supervisión del desarrollo de las

actividades de sacrificio y faenado de bovinos y porcinos del sector. Con la información obtenida en la planta de beneficio, en las Figuras 9 y 10 se describieron las etapas de proceso de beneficio y sacrificio bovino y porcino.

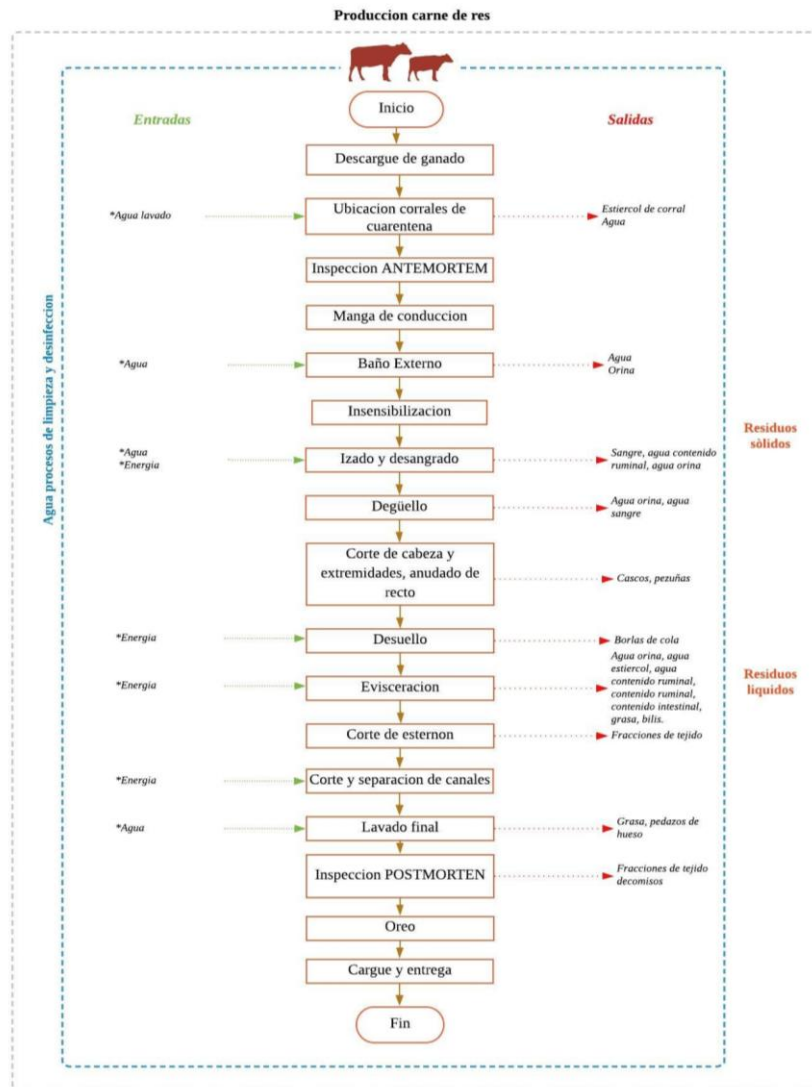


Figura 9. Diagrama de flujo fase producción de carne de res. Fuente. Elaborado por la autora basada en información de INFRIBOY S.A.S (2019)

En la Figura 9. se muestran las etapas de transformación del ganado en pie a carne de res en canal como materia prima para la elaboración del chorizo artesanal.

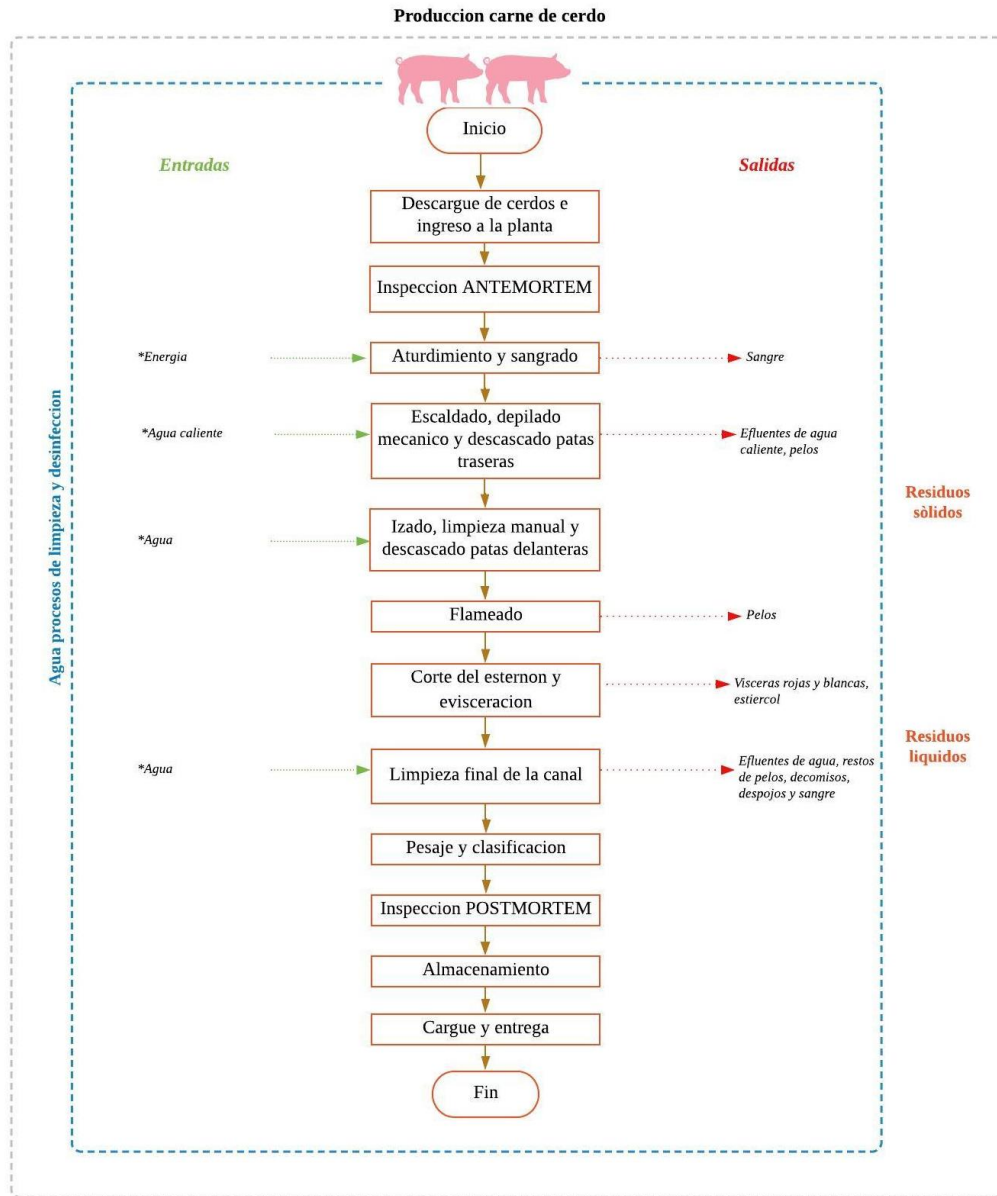


Figura 10. Diagrama de flujo fase producción de carne de cerdo. Fuente. Elaborado por la autora basada en información de INFRIBOY S.A.S (2019).

Posteriormente, en la Figura 10. se ilustra el proceso de transformación de los porcinos en pie a carne en canal.

3.1.5.2 Fase de elaboración de chorizo artesanal

Se realizó el levantamiento de los procesos que conforman la fase de producción del producto cárnico artesanal, en donde se describen cada uno de ellos con el uso de recursos y los materiales empleados. A continuación, en la Figura 11 se presenta el proceso de elaboración del chorizo artesanal.

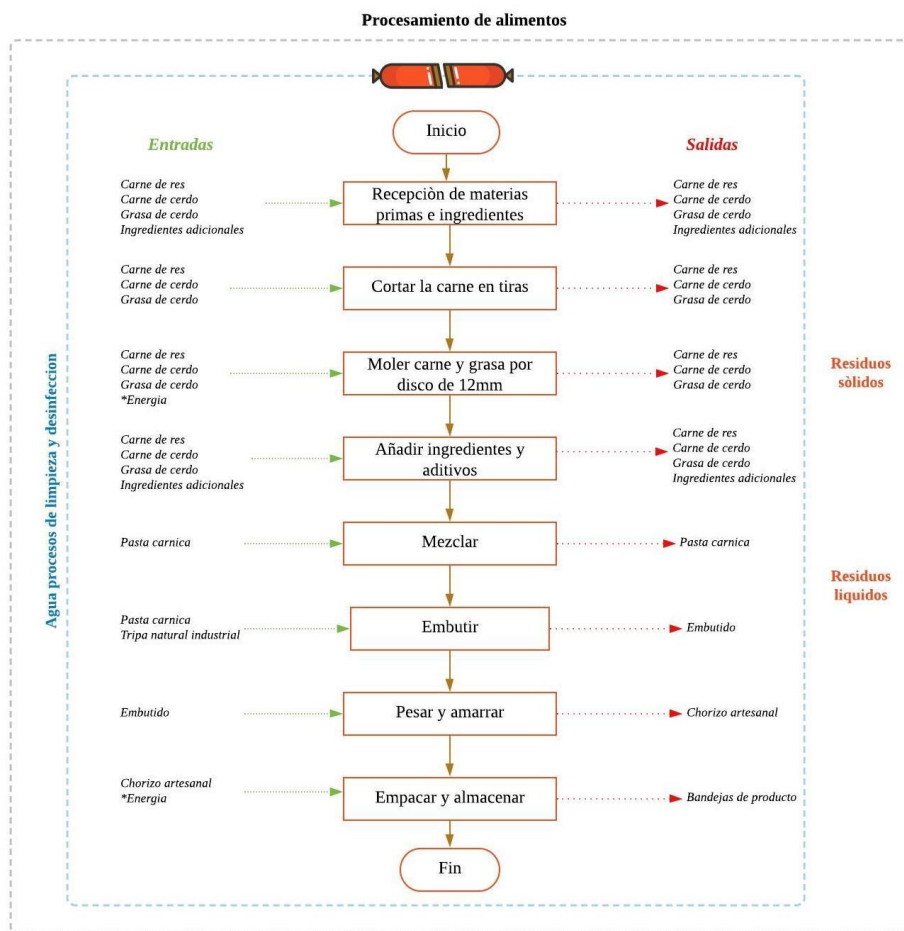


Figura 11. Diagrama de flujo fase procesamiento de alimentos. Fuente. Elaborado por la autora basada en información del microempresario (2019).

La Figura 11. expone las etapas involucradas junto con las entradas y salidas para cada una de ellas en la elaboración del producto cárnico artesanal. A continuación, en la Tabla 3. se describen cada una de las etapas de proceso de acuerdo a como se está realizando en la microempresa y según lo establecido por la FAO en las fichas técnicas de procesados de carnes.

Tabla 3. Descripción etapas de proceso del producto

CHORIZO ARTESANAL		
ETAPA DE PROCESO	PUNTOS DE CONTROL	DESCRIPCION
Recepción de materias primas e ingredientes	Temperatura: 0 a 4°C pH: 5,6 a 5,8	Verificar la calidad y frescura de la carne refrigerada recién despostada (16 a 24 horas después del sacrificio del animal). Se confirma que la grasa externa de cerdo este en buenas condiciones sin coloraciones anormales y olores extraños.
Cortar la carne en tiras	Temperatura: 0 a 4°C	Se corta la carne en tiras largas de espesor de 2cm aproximadamente con el fin de permitir el fácil desplazamiento de la carne por el tornillo sinfín lo cual disminuye la carga de trabajo del motor del molino.
Moler carne y grasa por disco de 12mm	Temperatura: 0 a 4°C	Se muele la carne en discos de 12mm con el fin de obtener un picado grueso característico del producto.
Añadir ingredientes y aditivos	Temperatura: 0 a 4°C	Se agregan los aditivos e ingredientes pesados previamente según formulación.
Mezclar	Temperatura: 0 a 4°C	Se realiza el mezclado manual hasta obtener una pasta cárnica firme y uniforme .
Embutir	Temperatura: 0 a 4°C	Con ayuda del molino sin cuchilla y sin disco se coloca el embudo auxiliar y se embute la pasta cárnica en tripa natural de cerdo calibre 28-30mm.
Pesar y amarrar	Temperatura: 0 a 4°C	Se procede a porcionar el chorizo con amarre realizado en forma manual calculando 12 cm de longitud de cada unidad. Se empacan en bandejas termoespumadas con cubierta termoencogible, se pesan y se coloca la etiqueta con el precio de venta de acuerdo al peso neto del producto empacado.
Empacar	Temperatura: 0 a 4°C	

Fuente. Elaboración propia (2019)

Las materias primas empleadas en la elaboración del producto cárnico son la carne de res, carne de cerdo y grasa de cerdo. Se utilizan condimentos y especias que confieren al producto ciertas características sensoriales específicas dentro de los cuales se encuentran sal, perejil, cebolla natural, ajo natural, pimienta. Además, se agregan aditivos con el fin de aumentar la conservación del producto como la curandina, el eritorbato ayuda a mejorar la estabilidad del sabor del producto y colorante alimentario con el objeto de modificar las preferencias del consumidor. Por último, se maneja tripa natural de cerdo para embutir el producto. Enseguida en la Tabla 4. se especifican las cantidades aproximadas que utiliza el microempresario para la obtención del producto final.

Tabla 4. *Fórmula de materias primas e ingredientes para la elaboración de chorizo artesanal*

Materia prima	Porcentaje	Cantidad por Kg de chorizo
Carnes de res	40,00%	2,544
Carne de cerdo	33,60%	2,137
grasa de cerdo	17,10%	1,088
Sal yodada	1,60%	0,102
Condimento tipo chorizo	1,20%	0,076
Pimienta	0,30%	0,019
Cebolla natural picada	2,00%	0,12720
Perejil natural picado	2,00%	0,12720
Ajo natural picado	2,00%	0,12720
Humo líquido	0,20%	0,01272
Curandina	0,03%	0,00191
Eritorbato	0,01%	0,00064
Colorante rojo punceau o cochinilla	0,01%	0,00064

Fuente. Elaboración propia según información suministrada por la microempresa (2019)

Esta fórmula descrita en la Tabla 4. cumple con los requisitos de composición y formulación, aditivos y colorantes de uso permitido para productos cárnicos procesados crudos frescos incluyendo el chorizo, establecidos en la NTC 1325 de 2008.

3.1.4.3 Variables fundamentales de proceso

La calidad de un alimento cambia con el tiempo, lo que afecta su vida útil. En consecuencia, muchos de los problemas de deterioro de los alimentos están relacionados con cambios en la apariencia general del alimento, la textura, el sabor y el aroma provocando la pérdida de nutrientes, como las vitaminas (Kilcast & Subramaniam, 2011).

La carne es un producto alimenticio perecedero empleado como principal materia prima en la industria cárnica, donde el deterioro puede ocurrir a través de factores intrínsecos o extrínsecos (Moreira et al., 2018). En la Tabla 5 se presentan las variables de proceso que determinan la calidad de los productos cárnicos.

Tabla 5. *Variables de proceso que determinan la calidad de los productos cárnicos reportadas por autores*

Variable de proceso			
Fisico-química	Microbiológica	Temperatura almacenamiento	Autor
pH	Mesofilos	4°C	Sujiwo et al. 2019
pH	Mesofilos	5°C a 23°C	Singh et al 2018
pH	Mesofilos		
% humedad	Bacterias ácido	2°C	Berger et. al 2018
% grasa	lacticas		
pH	Mesofilos	10°C	Mohan et al. 2016
pH			
Humedad	Mesofilos	4°C	Ayari et. al 2016
%grasa			

Fuente. Elaboración propia (2019).

En la Tabla 5. se evidencia que el deterioro de la carne es el resultado de la descomposición y la formación de metabolitos, causados por el crecimiento y la actividad enzimática de los microorganismos y los cambios fisicoquímicos (Moreira et al., 2018).

La microbiota de los productos cárnicos es compleja y típicamente consiste en diferentes tipos de microorganismos que van desde alterantes hasta patógenos (Forsythe, 2008). El potencial de deterioro depende de qué grupos o microorganismos dominarán la carne y de su capacidad para producir compuestos asociados a la descomposición (Casaburi, Piombino, Nychas, Villani, & Ercolini, 2015).

3.1.6 Datos para el inventario del ACV

El análisis del inventario implica la recopilación de los datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas de un sistema. Los datos para cada proceso unitario dentro de los límites del sistema pueden clasificarse en entradas de energía, materia prima, entradas auxiliares y otras entradas físicas; los productos, co productos y residuos; las emisiones de aire los vertidos al agua y otros aspectos ambientales. Después de la recopilación de datos, los procedimientos de cálculo, que incluyen: la validación de los datos recopilados, la relación de los datos con los procesos unitarios y la relación de los datos con los flujos de referencia de la unidad funcional; son necesarios para generar los resultados del inventario del sistema definido para cada proceso unitario (Cardona 2016).

3.1.6.1 Fase de producción de carne

Se verificaron las características de calidad de los datos y se encontraron lo suficientemente documentados por los responsables de la planta de beneficio, por tal razón se tomaron los datos suministrados por esta fuente primaria. Se realizó el levantamiento de dichos datos y al corroborar la dispersión de los mismos se encontró que eran muy cercanos a la media por lo tanto se tomaron los datos promedio para entradas y salidas por día de producción de carne de res y de cerdo como se observa a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. *Inventario fase de producción de carne de res y carne de cerdo*

<i>Producción de carne de res por día</i>		
Entradas	Cantidad	Fuente
Peso promedio en pie de Bovinos para sacrificio (Kg)	402.000	Data primaria del productor
Agua (L)	246.000	
Electricidad (kWh)	13.526	
Salidas	Cantidad	Fuente
Carne de res en canal (Kg)	58.240	Data primaria del productor
Co productos sólidos (Kg)	350	
Co productos líquidos (L)	550	
Residuos sólidos (Kg)	870	
Residuos líquidos (L)	1.086	
<i>Producción de carne de cerdo por día</i>		
Entradas	Cantidad	Fuente
Peso promedio en pie de Porcinos para sacrificio (Kg)	8.313	Data primaria del productor
Agua (L)	17.000	
Electricidad (kWh)	6.763	
Salidas	Cantidad	Fuente
Carne de cerdo (Kg)	5.320	Data primaria del productor
Co productos sólidos (Kg)	831	
Co productos líquidos (L)	382,5	
Residuos sólidos (Kg)	249	
Residuos líquidos (L)	8.500	

Fuente. Elaborado por la autora basada en información de INFRIBOY S.A.S (2019)

En la Tabla 6. los coproductos sólidos y líquidos hacen referencia a los subproductos generados en el proceso de producción de la carne tanto en bovinos como porcinos que son vendidos a PROTEICOL, específicamente se hace referencia a cascotes, borlas de cola, grasa, fracciones de tejido, sangre y bilis. Se consideraron como residuos sólidos el estiércol de corral y el contenido ruminal. Mientras que los residuos líquidos se encuentran compuestos por agua estiércol, agua orina, agua sangre, agua contenido ruminal y contenido intestinal; que son depositados en la planta de tratamiento previo a su disposición final en la red de alcantarillado municipal.

La planta de beneficio suministró los resultados de laboratorio de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los efluentes de la planta de tratamiento de agua residual como se observa en

la Tabla 7., los cuales fueron incluidos como salidas de los dos procesos de sacrificio bovino y porcino.

Tabla 7. *Parámetros físico químicos y microbiológicos del agua residual*

Parámetro	Unidades	Salida
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L O ₂	2800
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	4643
Aceites y grasas	mg/L	840.2
pH	Unidades	7
Sólidos disueltos totales	mg/L	1268
Sólidos sedimentables	mg/L	0.1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	3026
Coliformes fecales	NMP/UFC 10	2.4x10 ⁷
Coliformes totales	NMP/UFC 10	1.1x10 ⁸

Fuente. INFRIBOY S.A.S (2019)

Los datos presentados en la Tabla 7. demuestran que el sistema de tratamiento es ineficiente porque tan solo los parámetros de pH y sólidos sedimentables al compararlos cumplen con la norma establecida Resolución 631 de 2015.

3.1.6.2 Fase de procesamiento del alimento

Se midieron los datos de una fuente primaria, es decir directamente con el microempresario durante el proceso de elaboración del chorizo artesanal que tiene un único turno de proceso por día con una duración de 4 horas en total y la cantidad producida al día corresponde aproximadamente a 6,19 Kg de chorizo artesanal. En el proceso el producto sufre una merma del 6%, como resultado se obtienen 14 bandejas de producto cada una de 420g aproximadamente.

Se realizó el levantamiento de todos los datos y se encontró que presentaban poca variabilidad, por lo que se utilizó el promedio tanto para entradas como para salidas por día de producción de chorizo artesanal como se evidencia en la Tabla 8.

Tabla 8. *Inventario fase de procesamiento del alimento*

Procesamiento de alimentos por día		
Entradas	Cantidad	Fuente
Carne de res (Kg)	2,54	
Carne de cerdo (Kg)	2,13	
Grasa de cerdo (Kg)	1,088	Data primaria del productor
Ingredientes adicionales (Kg)	2,69	
Bandejas de empaque espumadas con cubierta termoencogible (Kg)	0,00225	
Agua (L)	850	
Electricidad (kWh)	137.400	
Salidas	Cantidad	Fuente
Chorizo artesanal empacado (Kg)	6,00	
Residuos sólidos (Kg)	0,29	Data primaria del productor
Residuos líquidos (L)	850	

Fuente. Elaborado por la autora basada en información del microempresario (2019)

En la Tabla 8 para las salidas en la fase de procesamiento del producto se determinaron los siguientes factores: chorizo artesanal, consumo de agua, consumo de energía, residuos sólidos y residuos líquidos.

3.1.7 Simulación del ciclo de vida

Los datos obtenidos en el inventario para las dos fases de producción de carne y procesamiento del alimento se introdujeron en el software GaBi para realizar el respectivo análisis como se observa en la Figura 12.

ACV chorizo artesanal
Diagrama proceso GaBi Mass [kg]
Se muestran los nombres de los procesos básicos.

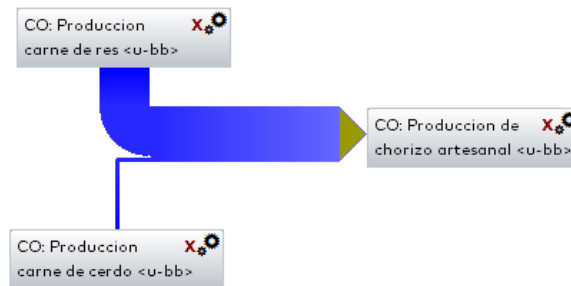


Figura 12. Ciclo de vida de chorizo artesanal en software GaBi. Se detalla la modelación realizada en el software para el sistema de estudio definido. Fuente. Elaborado por la autora en herramienta computacional GaBi (2019).

3.1.8 Evaluación del impacto del ciclo de vida

Esta fase proporciona información adicional para ayudar a evaluar los resultados recopilados en el inventario. En general, este proceso implica la asociación de los datos de inventario con las categorías de impactos ambientales específicos y con los indicadores de esas categorías para entender dichos impactos. El nivel de detalle, la elección de los impactos evaluados y las metodologías usadas dependen del objetivo y alcance del estudio (Cardona 2016).

Para evaluar los impactos ambientales asociados al proceso de elaboración de chorizo artesanal, se empleó el software GaBi education versión free 8.7 ya que la universidad cuenta con acceso a esta herramienta computacional. Este permite utilizar las metodologías de evaluación de impacto más importantes y actualizadas como ILCD 2011 Midpoint+, CML – IA baseline, ReCiPe 2016, IPCC 2013 y Traci 2.1.

- La metodología ILCD significa Sistema internacional de datos del ciclo de vida de referencia y es el resultado de un proyecto llevado a cabo por el Centro Común de Investigación (CCI) de la Comisión Europea que analizó varias metodologías de evaluación del impacto del ciclo de vida para llegar a un consenso sobre el método recomendado para cada tema ambiental, tanto en el punto medio como en el punto final (Cambara, 2012).
- El método CML baseline está elaborado por el Centro para estudios medioambientales (CML) de la universidad de Leiden, Holanda. Las categorías de impacto incluidas con este método son las usadas en muchos estudios de ACV. Los indicadores Baseline (estándar) están basados en el principio de la mejor practica disponible y son indicadores de categoría al nivel de los resultados (aproximación orientada al problema) (Cambara, 2012).
- Recipe se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos CML 2001 y Ecoindicador 99. Con una mejora de los modelos para el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, uso del suelo y agotamiento de los recursos naturales. A su vez se han actualizado factores de caracterización para algunas categorías de impacto y para el paso de normalización (Cambara, 2012).
- El IPCC es el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, fue creado en 1988 para que facilitara evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta (Cambara, 2012).
- Traci supone una herramienta informática para la evaluación de las 12 categorías de impacto que constituyen el método. Muchos de los mecanismos ambientales que soportan las categorías de impacto están importados de otras metodologías como Eco indicador y CML (Cambara, 2012).

Las distintas metodologías mencionadas difieren en el número y la definición de las categorías de daño. En el presente caso de estudio, el conjunto de datos promedio medidos in situ se ingresó al software lo cual permitió el uso de información precisa y actualizada al contexto geográfico regional pues GaBi calculó todos los impactos de acuerdo con la información de los flujos agregada. En consecuencia, el método de evaluación de impacto seleccionado fue ReCiPe 1.08 Midpoint (H), el cual es uno de los más recientes y armonizados que permite la selección de las categorías de impactos conocidos en el procesamiento de alimentos (Perez-Martinez et al., 2018) (Fernández 2015). A continuación, en la Figura 13. se describen algunas de las categorías que se consideran en la metodología Recipe.

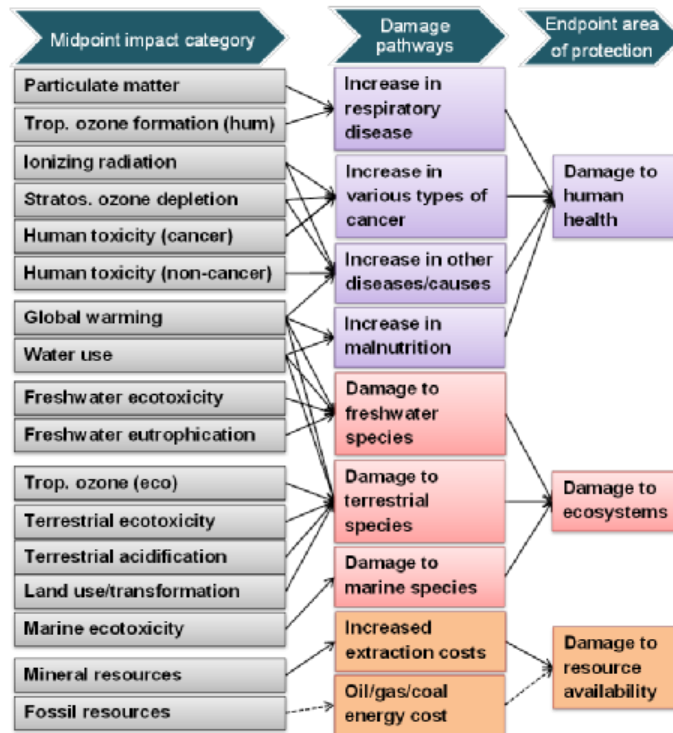


Figura 13. Descripción general de la estructura ReCiPe. Fuente. RIVM Comprometidos con la salud y la sostenibilidad.

Una diferencia importante entre categorías reside en la opción de analizar el efecto último del impacto “endpoint”, o bien, considerar los efectos intermedios “midpoints”. Como se evidencia en la Figura 12. las categorías de impacto ambiental intermedias se hallan más cercanas a la intervención ambiental, permitiendo en general, modelos de cálculo que se ajustan mejor a dicha intervención (Cardona 2016). Dentro las categorías anteriormente mencionadas las que principalmente se asocian con la industria alimentaria y que se consideran relevantes en el presente trabajo son:

- ✓ *Eutrofización:* en esta categoría se incluyen los impactos debidos a un alto nivel de los macronutrientes, nitrógeno y fósforo. Su incremento puede representar un aumento en la producción de biomasa en los ecosistemas acuáticos. El crecimiento de las algas en los ecosistemas acuáticos producirá una disminución del contenido de oxígeno debido a que la descomposición de dicha biomasa consumirá oxígeno medido como DBO (demanda bioquímica de oxígeno). Este consumo de oxígeno puede conducir a alcanzar unas condiciones anaerobias que provocaran la descomposición causada por bacterias anaerobias que liberaran CH_4 , H_2S y NH_3 . En último término desaparece cualquier tipo de vida aeróbica. Los potenciales de eutrofización (EP) son utilizados como factor de caracterización para calcular el indicador total para dicha categoría (Fantke et al., 2011).

- ✓ *Agotamiento de agua:* se puede definir como la disminución de la disponibilidad de recursos naturales, específicamente el agua. La escasez surge cuando la demanda crece por encima del suministro disponible, ya sea porque el suministro está limitado por una planificación mal coordinada o por infraestructuras hidráulicas inadecuadas o por la disponibilidad física del agua en sí misma. La escasez empeora cuando aumenta la competencia por el agua, y algunas personas o industrias empiezan a capturar cada vez más este recurso (FAO, 2013).

3.1.8 Verificación de la química verde aplicada a chorizo artesanal

La química verde en general busca procesos para reducir o eliminar el uso o la generación de sustancias peligrosas durante la planificación, fabricación y aplicación de productos químicos para minimizar las amenazas a la salud de los operadores y el medio ambiente. Además, el uso de materias primas renovables e inoñas y la aceleración de las reacciones puede ayudar al ahorro de energía y disminuir la generación de residuos (de Marco et al., 2019).

Para el caso de estudio se consultó y verifico con el dueño de la microempresa para la fase de procesamiento del producto cárnico, si en la actualidad se están aplicando los principios de la química verde buscando lograr la sostenibilidad del proceso.

CAPITULO 4 ALTERNATIVAS DE MEJORA EN LA PRODUCCION DE CHORIZO ARTESANAL.

4.1 RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de ciclo de vida ACV recoge información de los impactos ambientales potenciales generados en la producción de chorizo artesanal desde la producción de la materia prima hasta el empaque del producto final. En el presente capítulo se describen y discuten los resultados obtenidos en la aplicación del ACV del chorizo artesanal y la verificación de los principios de la química verde. Finalmente, se plantean alternativas de mejora y mitigación en la fabricación del producto artesanal.

4.1.1 Discusiones de ACV y química verde

El análisis del ciclo de vida es la herramienta ambiental más utilizada para evaluar los posibles impactos y el consumo de recursos a lo largo del ciclo de vida de la carne (Lopez-Ridaura, van der Werf, Paillat, & Le Bris, 2009). El sector agrícola representa aproximadamente el 22% del total mundial de emisiones de gases de efecto invernadero, de las cuales la producción ganadera incluyendo el transporte y la alimentación representa el 80% (Troy & Kerry, 2010) (Hyland, Henchion, McCarthy, & McCarthy, 2017).

La carne es considerada como el producto alimenticio con el mayor impacto ambiental en toda la cadena alimentaria, especialmente los procesos de sacrificio y procesamiento de la carne tienen impactos ambientales ya sea de emisiones al medio ambiente o por el consumo de recursos (Djekic & Tomasevic, 2016). La perspectiva basada en el proceso artesanal está relacionada con el análisis

de los impactos ambientales específicos de la cadena de la carne que ocurren durante su procesamiento (Djekic, 2015).

Como resultado de la evaluación de impactos haciendo uso de la herramienta computacional GaBi en la fase de producción de la carne y el procesamiento del alimento artesanal que hacen parte del presente sistema de estudio, se detectaron los siguientes impactos clave: potencial de eutrofización y agotamiento del agua representados en las Figuras 14 y 15.

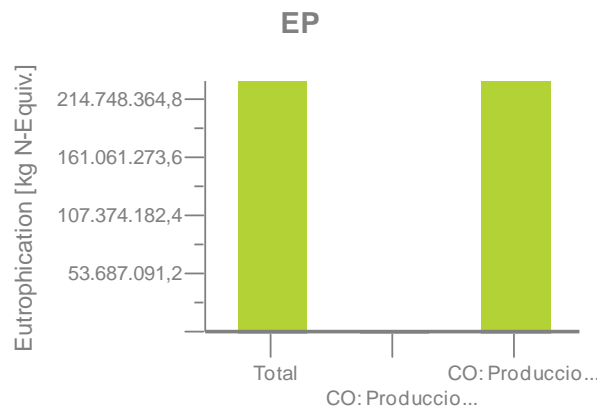


Figura 14. Potencial de eutrofización. Fuente: Elaborado por la autora, resultado evaluación de impactos en herramienta computacional GaBi (2019).

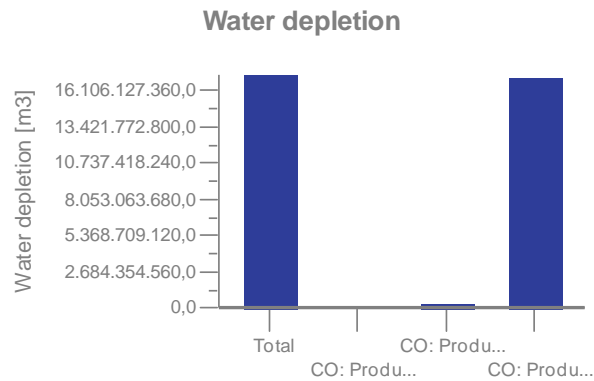


Figura 15. Agotamiento del agua. Fuente: Elaborado por la autora, resultado evaluación de impactos en herramienta computacional GaBi (2019).

Los resultados obtenidos muestran que para la elaboración del chorizo artesanal la fase que presenta una mayor contribución a su impacto ambiental es la de producción de carne de res y cerdo, lo cual es coherente teniendo en cuenta el alto volumen de animales que son sacrificados al día en la planta de beneficio respecto a la cantidad de producto elaborado en condiciones artesanales. En la fase de producción de chorizo artesanal los volúmenes de producción son pequeños y los turnos de proceso son programados según la demanda del producto, el consumo energético es muy bajo ya que solo se emplea un equipo que es el molino y los turnos de proceso son programados en la mañana por lo que la iluminación en la sala de proceso es natural. La generación de residuos sólidos es mínima ya que proviene únicamente de los restos de pasta cárnica que quedan adheridos al molino y todos los ingredientes son incorporados en la elaboración del producto. Por tales razones no se evidencian impactos potenciales en la fase de procesamiento del embutido cárnico artesanal.

Comparativamente, los resultados logrados reafirman lo que se encuentra reportado en estudios similares de productos cárnicos autóctonos procesados, los cuales han demostrado que la etapa de

producción de carne es la principal fuente de los impactos y la fase de procesamiento del alimento representa menos del 10% del impacto (Biswas & Naude, 2016) (Betancur, 2012).

Estos resultados se deben a que existen grandes diferencias en los niveles de implementación de prácticas ambientales en el sector cárnico, tanto en plantas de beneficio como en las plantas procesadoras de productos cárnicos (Djekic & Tomasevic, 2016). Los impactos ambientales del sector cárnico influyen en el cambio climático con respecto al potencial de calentamiento global (GWP), potencial de acidificación (AP) y potencial de eutrofización (EP); Consumo de agua y energía y contaminación del medio ambiente con residuos y vertidos de aguas residuales (Djekic & Tomasevic, 2016).

El impacto de eutrofización representado en la Figura 12, se produce debido a un aporte excesivo de nutrientes a los ecosistemas, que puede llegar a colapsar todos los procesos naturales del sistema donde sea vertido. Este fenómeno conlleva al deterioro de la calidad de las aguas y al rompimiento de las cadenas tróficas (Ramos 2015). En el sistema de estudio, este aporte excesivo proviene en parte de la generación de sangre en el proceso de beneficio de bovinos y porcinos del cual solo el 70% es aprovechado como coproducto líquido para PROTEICOL y el 30% restante se pierde a lo largo del proceso por su derrame en el piso y posterior disposición a la red de alcantarillado municipal. Además de la generación de sangre se obtienen residuos de contenido ruminal, bilis y estiércol, ya que estos terminan en su gran mayoría siendo dispuestos de manera incorrecta a los cuerpos hídricos aledaños y a las redes de alcantarillado sin el adecuado tratamiento.

Los principales aspectos ambientales que se derivan de la producción de la carne entonces son la descarga de aguas residuales y residuos sólidos y el consumo de agua y energía. La gestión de los recursos debe centrarse en el consumo de agua y energía. Tanto en la producción primaria como en la industria alimentaria el agua es un recurso básico y ampliamente utilizado en todas las actividades de producción de carne desde que los animales vivos ingresan a la planta de beneficio

y son sacrificados hasta la elaboración de productos cárnicos (Kupusovic, Midzic, Silajdzic, & Bjelavac, 2007).

El municipio de Sogamoso se abastece de dos fuentes de aguas principalmente, el lago de Tota y el río Tejar. Por su ubicación la planta de beneficio y la microempresa artesanal se abastecen del lago de Tota, que es el tercer lago natural más grande, por su volumen de Latinoamérica y el más extenso de Colombia, motivo por el cual es objeto de protección especial ya que tiene carácter de humedal y el 57% de la cuenca está ubicada dentro del ecosistema de paramo (CORPOBOYACA 2016). Teniendo en cuenta la dimensión e importancia de la fuente hídrica empleada en el sistema de estudio es necesario implementar medidas que permitan mitigar el agotamiento del agua en la fase de producción de la carne en la cual se obtuvo el mayor impacto al realizar la evaluación del impacto del ciclo de vida como se evidencia en la Figura 13.

En este sentido, se confirma que a pesar de que la fase de procesamiento del alimento no genera altos impactos al medio ambiente deben establecerse medidas que incorporen el uso razonable del agua ya que en el proceso productivo se evidenció desperdicio de este recurso. A pesar de los avances tecnológicos en los últimos años en la industria cárnica, el mantenimiento del control higiénico-sanitario de los equipos y utensilios utilizados durante el procesamiento sigue siendo una de las fuentes de generación de vertimientos y contaminación por parte de las industrias del sector (Brasil et al., 2017).

Desde una perspectiva de pequeñas y medianas empresas (PYME), la limpieza y desinfección es uno de los puntos neurálgicos a valorar ya que no existen procedimientos operativos estandarizados y la compra de detergentes y desinfectantes es costosa. Dichos costos incluyen el consumo de energía para calentar y bombear la solución de limpieza, la pérdida de producción debido a las jornadas de limpieza, el tratamiento de aguas residuales y el costo del tiempo de inactividad de la planta durante la limpieza (Khalid et al., 2019). Tales motivos limitan el uso

correcto de las sustancias limpiadoras y del agua por lo que contribuyen en el agotamiento de este recurso y generación de vertimientos.

Por otra parte, la aplicación de los principios de la química verde pueden potencializar aún más el nivel de sostenibilidad de las industrias cárnicas artesanales, al verificar si dichos principios estaban siendo utilizados por el microempresario se detectó que intuitivamente sin tener acceso a esta información se están empleando parcialmente el número 1 que hace referencia a la prevención en la generación de residuos sólidos y el número 2 que comprende la incorporación de todos los materiales utilizados en el proceso al producto final. Como se ha mencionado anteriormente no se evidenciaron impactos potenciales en la fase de procesamiento del alimento, resultado que se atribuye en parte a que están siendo aplicados estos principios de la química verde.

Es valiosa la contribución que las industrias artesanales hacen dentro de las regiones rurales y periféricas a la producción local de alimentos (McKitterick, Quinn, McAdam, & Dunn, 2016). La industria cárnica ha experimentado crecientes demandas sobre su capacidad de producción y procesamiento en las últimas décadas, impulsada no solo por el crecimiento de la población mundial sino también por los cambios sociales y económicos en muchos países en desarrollo. Sin embargo, es necesario que se estén actualizando e implementando prácticas sostenibles y principios de la química verde en sus sistemas de producción pues como se ha demostrado en la presente investigación la producción de carne tiene un impacto considerable en el medio ambiente. Tales problemas han resaltado la necesidad de mejorar la eficiencia, el procesamiento optimizado y la recuperación de valor, para el crecimiento sostenible de la industria y un mejor uso general de nuestros recursos naturales (Drummond, Álvarez, & Mullen, 2019).

El creciente campo del consumo sostenible está ofreciendo a los consumidores más información sobre el impacto ambiental de sus elecciones alimentarias. La llamada "huella de carbono de alimentos" le da al consumidor una métrica con la cual medir la responsabilidad de los

consumidores por las emisiones de gases de efecto invernadero. El crecimiento en los mercados de agricultores, alimentos cultivados orgánicamente y productos producidos localmente es un síntoma de cómo el consumidor está contribuyendo y tomando nota de estos desarrollos (Troy & Kerry, 2010).

4.1.2 Opciones de mejora en la producción de chorizo artesanal

La industria cárnica debe responder continuamente a las señales de calidad dirigidas por el consumidor y el mercado para seguir siendo competitiva y sostenible. En efecto, actualmente existen muchos desafíos e importantes oportunidades que deben ser afrontadas por las industrias del sector. Ante esta situación de sostenibilidad, la industria cárnica debe enfocar sus esfuerzos en reducir de forma significativa los impactos ambientales asociados a su propia actividad e implementar acciones de mejora en cada una de las etapas de la cadena alimentaria.

Después de haber identificado los potenciales impactos que se derivan de la producción del chorizo artesanal se procedió a plantear como principal alternativa de mejora minimizar el consumo del agua incorporando algunos de los principios de química verde, ya que se logró evidenciar el desperdicio de este recurso durante la elaboración del producto. Por ello, se propone hacer uso del onceavo principio que busca permitir el monitoreo y control en tiempo real del proceso mediante el diseño de los procedimientos operativos estandarizados de saneamiento que permitan el uso adecuado del agua para equipos, utensilios y superficies que incluyan realizar la recolección de residuos mediante un estricto barrido en seco para separar la mayoría de los materiales sólidos que puedan ser arrastrados hacia los drenajes y así poder contribuir en la disminución de vertimientos con residuos sólidos que aumentan los niveles de eutrofización en el río Chicamocha. Además, se recomienda el uso de equipos de presión que aumenten el impacto y la velocidad de salida del agua y disminuyan el consumo de este recurso en el desempeño de las actividades de limpieza y desinfección. Por otra parte, es necesaria la compra y adquisición de productos biodegradables

que minimicen o prevengan los riesgos para el medio ambiente y la salud, de modo tal que a esta opción de mejora logran sumarse dos principios más como son el décimo que enuncia que los productos al final de su función se descompongan en productos que no se conserven en el medio ambiente y el doceavo principio que se enfoca en elegir sustancias más seguras para la prevención de accidentes.

En consecuencia, para que esta alternativa sea eficiente es importante capacitar al microempresario y los trabajadores en el uso eficiente del recurso en las actividades anteriormente mencionadas. En general, existe la necesidad de una mayor innovación y la utilización del conocimiento para mejorar la percepción del consumidor por la industria cárnica. Teniendo en cuenta el análisis de ciclo de vida realizado a las etapas de producción de carne y procesamiento del alimento artesanal y la aplicación de los principios de la química verde, se pueden generar innovaciones en el interior de la planta de beneficio y la microempresa que ayuden a la minimización de la contaminación al reducir la generación de residuos, vertimientos, emisiones y demás impactos ambientales. La innovación es un motor clave para el crecimiento económico. Las tendencias actuales en innovación han identificado la necesidad de una mayor asociación y colaboración a lo largo de la cadena de suministro, el desarrollo de relaciones entre productores, procesadores y minoristas y la necesidad de utilizar la última tecnología de la información y la participación en el crecimiento de los mercados de conocimiento (Troy & Kerry, 2010) (Mullen et al., 2017).

La investigación y la práctica coinciden en la necesidad de considerar todo el ciclo de vida del producto para evaluar su impacto de sostenibilidad e incorporar la aplicación de los demás principios de la química verde que se asocian a la industria alimentaria. La extensión a lo largo de todo el ciclo de vida, incluidos todos los procesos ascendentes y descendentes junto con los conceptos de química verde, son componentes fundamentales de los productos verdaderamente sostenibles.

Además, el objetivo del ciclo de vida y los conceptos de la química verde es hacer que el producto existente sea más sostenible en comparación con el estado actual o los productos de la competencia. Estas dos herramientas generan mejores oportunidades para acceder a los mercados que demandan productos más responsables con el medio ambiente pues son elementos importantes no solo para mejorar la sostenibilidad empresarial, sino también para el desarrollo sostenible. La sostenibilidad del producto no solo consiste en evitar daños, sino en esforzarse por ser una fuente de cambio positivo. Existen oportunidades para crear un cambio positivo a lo largo del ciclo de vida del producto existente y, por lo tanto, los productos deben diseñarse principalmente para abordar los problemas que surgen dentro de sus propios ciclos de vida del producto (Dyllick & Rost, 2017).

Si bien el enfoque en la ciencia de los alimentos durante décadas ha sido principalmente aumentar la productividad y lograr precios más bajos en volúmenes más altos, es más probable que el futuro de la producción de carne sostenible enfatice la calidad y el control sobre la cadena de valor para lograr alimentos más saludables a partir de sistemas de producción sostenible (Rijsberman, 2017).

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Los procesos involucrados en las principales etapas del ciclo de vida son la producción de carne como materia prima y la elaboración del alimento artesanal. Al verificar los principios de la química verde se encontró que solo se están aplicando los dos primeros principios que hacen referencia a la prevención y generación de residuos sólidos y la incorporación de todos los materiales utilizados en el proceso al producto final.

Al evaluar e interpretar el impacto y ciclo de vida a partir del software GaBi se determinó que los impactos potenciales que se derivan de las actividades de producción del embutido cárnico artesanal son potencial de eutrofización y agotamiento del agua. Por lo tanto, la industria cárnica debe enfocar sus esfuerzos en reducir de forma significativa los impactos ambientales asociados a su propia actividad e implementar acciones de mejora en cada una de las etapas de la cadena alimentaria.

Es necesario explotar el valor inherente de los coproductos de procesamiento de carne ricos en proteínas, la utilización de la materia prima en su totalidad es un enfoque que ayuda a mantener la mínima generación de residuos. Además, es importante disminuir el consumo de agua mediante la implementación de programas operativos estandarizados, uso de equipos que aumenten la presión del agua y adquirir productos biodegradables que faciliten las labores de limpieza y desinfección. Se debe hacer uso de herramientas y metodologías como el ACV y la química verde que reconfiguren los procesos y productos, realicen un manejo controlado y adecuado de los recursos y disminuyan el impacto ambiental y para la salud que ocasiona el desarrollo de sus actividades industriales. En este sentido, se requiere la capacitación y transferencia a los microempresarios del sector para que reconozcan su importancia y empiecen a plantear opciones de mejora y mitigación en sus procesos productivos.

En la evaluación del sistema productivo artesanal cárnico, el ACV es una fuente valiosa de información sobre la eficiencia del uso de recursos y manejo de desperdicios que puede ayudar a los microempresarios del sector a ganar ventajas competitivas a través del ahorro de costos, el incremento de ganancias y mejoras en la imagen al producto analizado.

El pensamiento y las evaluaciones del ciclo de vida y conceptos de química verde han contribuido a un mayor enfoque en la sostenibilidad del producto, al proporcionar conceptos y herramientas que son aceptados para la gestión de productos artesanales.

En estudios futuros es necesario incluir las fases de crecimiento y engorde de los animales y transporte hasta la planta de beneficio para identificar la totalidad de los impactos desde la extracción de la materia prima, ya que según se ha reportado en la literatura las principales fuentes de emisiones del ciclo de vida de los productos alimenticios se generan en la granja con solo el 12% derivado de las actividades del sistema alimentario después de la producción.

6. REFERENCIAS

- Bardone, E., & Spalvena, A. (2019). European Union food quality schemes and the transformation of traditional foods into European products in Latvia and Estonia. *Appetite*, 135, 43-53.
- Betancur, L. (2012) Implementacion del analisis de ciclo de vida para lomo de res crudo en la empresa Koyomad S.A. Universidad Santo Tomas.
- Biswas, W. K., & Naude, G. (2016). A life cycle assessment of processed meat products supplied to Barrow Island: A Western Australian case study. *Journal of Food Engineering*, 180, 48-59.
- Brasil, C. C. B., Barin, J. S., Jacob-Lopes, E., Menezes, C. R., Zepka, L. Q., Wagner, R., . . . Cichoski, A. J. (2017). Single step non-thermal cleaning/sanitation of knives used in meat industry with ultrasound. *Food Research International*, 91, 133-139.
- Cambara, J. (2012). Analisis de la confiabilidad de las metodologias EICV. Universidad de Oviedo.
- Casaburi, A., Piombino, P., Nychas, G. J., Villani, F., & Ercolini, D. (2015). Bacterial populations and the volatilome associated to meat spoilage. *Food Microbiology*, 45, 83-102.
- Contraloria general de la Republica (2018). Estudio sectorial sobre la produccion carnica bovina.
- CORPOBOYACA (2016). Contabilidad ambiental y economica para el agua: Caso piloto para la cuenca del Lago de Tota.
- da Luz, L. M., de Francisco, A. C., Piekarski, C. M., & Salvador, R. (2018). Integrating life cycle assessment in the product development process: A methodological approach. *Journal of Cleaner Production*, 193, 28-42.
- de Marco, B. A., Rechelo, B. S., Totoli, E. G., Kogawa, A. C., & Salgado, H. R. N. (2019). Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 27(1), 1-8.
- Djekic, I. (2015). Environmental Impact of Meat Industry – Current Status and Future Perspectives. *Procedia Food Science*, 5, 61-64.
- Djekic, I., & Tomasevic, I. (2016). Environmental impacts of the meat chain – Current status and future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 54, 94-102.
- Drummond, L., Álvarez, C., & Mullen, A. M. (2019). Chapter 4 - Proteins Recovery From Meat Processing Coproducts. In C. M. Galanakis (Ed.), *Sustainable Meat Production and Processing* (pp. 69-83): Academic Press.
- Dyllick, T., & Rost, Z. (2017). Towards true product sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 162, 346-360.
- FAO (2013). Afrontar la escasez de agua un marco de accion para la agricultura y la seguridad alimentaria. Informe 38 sobre sistemas hidricos.

- Fantke, P., Juraske, R., Anton, A., Friedrich, R. & Jolliet O. (2011). Dynamic Multicrop Model to Characterize Impacts of Pesticides in Food. *Environmental Science & Technology*, 45,20, 8842-8849
- Fedegan (2019). Cifras de referencia del sector ganadero colombiano.
- Forsythe, S. J. (2008). *The Microbiology of Safe Food*. Chichester, UNKNOWN: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Galindro, B. M., Zanghelini, G. M., & Soares, S. R. (2019). Use of benchmarking techniques to improve communication in life cycle assessment: A general review. *Journal of Cleaner Production*, 213, 143-157.
- Geyzen, A., Ryckbosch, W., Scholliers, P., Teughels, N., & Leroy, F. (2019). Chapter 2 - Food Innovation and Tradition: Interplay and Dynamics. En C. M. Galanakis (Ed.), *Innovations in Traditional Foods* (pp. 27-51).
- Hyland, J. J., Henchion, M., McCarthy, M., & McCarthy, S. N. (2017). The role of meat in strategies to achieve a sustainable diet lower in greenhouse gas emissions: A review. *Meat Science*, 132, 189-195. doi:10.1016/j.meatsci.2017.04.014
- Kerry, J. P., & Kerry, J. F. (2011). *Processed Meats : Improving Safety, Nutrition and Quality*. Cambridge, UNKNOWN: Elsevier Science.
- Khalid, N. I., Saulaiman, U. S., Nasiruddin, N. A., Hatdran, M. M., Ab Aziz, N., Nor Khaizura, M. A. R., . . . Sobri, S. (2019). Integrating cleaning studies with industrial practice: Case study of an effective cleaning program for a frozen meat patties SME factory. *Journal of Cleaner Production*, 235, 688-700.
- Kilcast, D., & Subramaniam, P. (2011). *Food and Beverage Stability and Shelf Life*. Cambridge, UNKNOWN: Elsevier Science.
- Kupusovic, T., Midzic, S., Silajdzic, I., & Bjelavac, J. (2007). Cleaner production measures in small-scale slaughterhouse industry – case study in Bosnia and Herzegovina. *Journal of Cleaner Production*, 15(4), 378-383.
- Lopez-Ridaura, S., van der Werf, H., Paillat, J. M., & Le Bris, B. (2009). Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 90(2), 1296-1304.
- Lozano, F. J., Lozano, R., Freire, P., Jimenez-Gonzalez, C., Sakao, T., Ortiz, M. G., . . . Viveros, T. (2018). New perspectives for green and sustainable chemistry and engineering: Approaches from sustainable resource and energy use, management, and transformation. *Journal of Cleaner Production*, 172, 227-232.
- Madrid A. (2014) La carne y los productos carnicos ciencia y tecnologia. Madrid, AMV ediciones.

- María, L.-P., B, D.-R., José M, L., Giancarlo, C., Barba, F. J., A, M., . . . Daniel, F. (2019). 3 - Green technologies for food processing: Principal considerations. In F. J. Barba, J. M. A. Saraiva, G. Cravotto, & J. M. Lorenzo (Eds.), *Innovative Thermal and Non-Thermal Processing, Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds* (pp. 55-103): Woodhead Publishing.
- McAuliffe, G. A., Chapman, D. V., & Sage, C. L. (2016). A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 12-22. doi:10.1016/j.eiar.2015.08.008
- McKitterick, L., Quinn, B., McAdam, R., & Dunn, A. (2016). Innovation networks and the institutional actor-producer relationship in rural areas: The context of artisan food production. *Journal of Rural Studies*, 48, 41-52. doi:10.1016/j.jrurstud.2016.09.005
- Moreira, M. J. P., Silva, A. C., de Almeida, J., & Saraiva, C. (2018). Characterization of deterioration of fallow deer and goat meat using microbial and mid infrared spectroscopy in tandem with chemometrics. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, 169-180. doi:10.1016/j.fpsl.2018.01.010
- Mullen, A. M., Alvarez, C., Zeugolis, D. I., Henchion, M., O'Neill, E., & Drummond, L. (2017). Alternative uses for co-products: Harnessing the potential of valuable compounds from meat processing chains. *Meat Science*, 132, 90-98. doi:10.1016/j.meatsci.2017.04.243
- P. M, V., Iturriaga, L. B., Ribotta, P. D., & Thomas, S. (2013). *Advances in Food Science and Nutrition*. New York, UNITED STATES: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Paltrinieri, G., Meyer, M., Olmos, U., Diaz, A., Salinas, K., Carbajal, S. (2004) Manuales para la educacion agropecuaria Taller de carne. Mexico, Editorial Trillas.
- Perez-Martinez, M. M., Noguerol, R., Casales, B. I., Lois, R., & Soto, B. (2018). Evaluation of environmental impact of two ready-to-eat canned meat products using Life Cycle Assessment. *Journal of Food Engineering*, 237, 118-127.
- Place, S. E., & Mitloehner, F. M. (2012). Beef production in balance: Considerations for life cycle analyses. *Meat Science*, 92(3), 179-181.
- Ramirez, R. (2006) Tecnologia de carnicos. Bogota D.C., UNAD
- Ramos, S. (2015) Ecodiseño de alimentos mediante el analisis del ciclo de vida. Universidad de Santiago de Compostela
- Rijsberman, F. (2017). The key role of the meat industry in transformation to a low-carbon, climate resilient, sustainable economy. *Meat Science*, 132, 2-5. doi:10.1016/j.meatsci.2017.04.013
- Troy, D. J., & Kerry, J. P. (2010). Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Science*, 86(1), 214-226. doi:10.1016/j.meatsci.2010.05.009
- Verano Cañaveras, D., & Santos Hernández, J. J. (2012). *Presente y futuro de la seguridad alimentaria en restauración colectiva*. Madrid, ES: AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación.