

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA ELABORACIÓN DEL QUESO TIPO CUAJADA
EN UNA FINCA GANADERA DEL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ, META COMO
HERRAMIENTA DE GESTIÓN AMBIENTAL EN LA EMPRESA**

Juan José Pinzón Rodríguez

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 26 de Abril de 2018

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA ELABORACIÓN DEL QUESO TIPO CUAJADA
EN UNA FINCA GANADERA DEL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ, META COMO
HERRAMIENTA DE GESTIÓN AMBIENTAL EN LA EMPRESA**

Juan José Pinzón Rodríguez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director: Kenneth Ochoa Vargas

Línea de Investigación:
Gestión Integral Sustentable

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia

2018

Acta de sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético de este en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Agradecimientos

Tabla de Contenido	
Acta de sustentación	3
Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional	4
Agradecimientos	5
Tabla de Contenido	6
Listado de Tablas	8
Listado de Figuras	9
Listado de Gráficas	10
Lista de siglas y abreviaturas	11
Resumen	13
Abstract	13
Introducción	14
1 Planteamiento del Problema	15
2 Justificación	16
3 Pregunta problema	17
4 Objetivos	17
4.1 <i>Objetivo General</i>	17
4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	17
5 Marcos de Referencia	18
5.1 <i>Marco de Antecedentes</i>	18
5.1.1 <i>Antecedentes</i>	18
5.1.2 <i>Estado del Arte</i>	19
5.2 <i>Marco Teórico</i>	20
5.2.1 <i>Elaboración de la cuajada</i>	22
5.3 <i>Marco Conceptual</i>	23
5.3.1 <i>Gestión Empresarial Ambiental</i>	23
5.3.2 <i>Evaluación del Impacto Ambiental (EIA)</i>	23
5.3.3 <i>Enfoque de Ciclo de Vida</i>	24
5.3.4 <i>Enfoque Sistémico</i>	24
5.3.5 <i>Análisis de Ciclo de Vida (ACV)</i>	24
5.3.6 <i>Puntos Críticos o “Hotspots”</i>	25
5.3.7 <i>Cadena Láctea</i>	25
5.4 <i>Marco Normativo</i>	26

5.5	<i>Marco Geográfico y Socioeconómico</i>	27
5.6	<i>Marco Institucional</i>	28
6	Método	28
6.1	<i>Enfoque, alcance y método de investigación</i>	29
6.2	<i>Análisis del Ciclo de Vida según la norma NTC – ISO 14044:2007</i>	29
6.2.1	<i>Método para objetivo específico 1</i>	29
6.2.2	<i>Método para Objetivo específico 2</i>	30
6.2.3	<i>Método del Objetivo específico 3</i>	32
7	Resultados y Discusión	33
7.1	<i>Definición del Objetivo y Alcance del ACV del queso tipo cuajada</i>	33
7.1.1	<i>Objetivo del ACV</i>	33
7.1.2	<i>Alcance del ACV</i>	33
7.2	<i>ICV del queso tipo cuajada</i>	37
7.3	<i>EICV del queso tipo cuajada</i>	41
7.4	<i>Interpretación de ciclo de vida del queso tipo cuajada</i>	46
7.4.1	<i>Identificación de puntos críticos</i>	47
7.4.2	<i>Análisis de sensibilidad de los datos</i>	59
7.5	<i>Simulación de escenarios posibles para la reducción de impacto</i>	64
7.5.1	<i>Cambio de agentes de limpieza</i>	65
7.5.2	<i>Maximizar la producción de queso</i>	67
7.6	<i>Propuesta de Gestión Ambiental</i>	68
7.6.1	<i>Viabilidad técnica</i>	70
7.6.2	<i>Viabilidad Financiera</i>	73
8	Conclusiones	79
9	Recomendaciones	81
	Bibliografía	84
	Anexos	97
	<i>Anexo A: Formato de recolección de información</i>	97
	<i>Anexo B: ICV del queso</i>	101
	<i>Anexo C: Categorías de impacto utilizadas en la fase de EICV en los artículos sobre ACV del queso</i>	105
	<i>Anexo D: Cálculos de ICV</i>	107

Listado de Tablas

<i>Tabla 1. Inventario global de la producción de 1 Kg de queso tipo cuajada</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 2. Bibliotecas implementadas para elaborar el ICV del queso tipo cuajada.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3. Matriz energética PE-CO.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4. Procesos modificados y creados en SimaPro 8.2.0.0.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 5. Factores de conversión de las categorías de impacto</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 6. Categorías de impacto en el escenario de cambio de agentes de limpieza.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 7. Categorías de impacto en el escenario de cambio de agente desengrasante</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 8. Constitución de la finca como empresa, documentación</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 9. Costos unitarios de producción (CUP) del queso tipo cuajada.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 10. Egresos de la finca para el periodo de 2018 - 2023</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 11. Ingresos de la finca para el periodo de 2018 - 2023</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 12. Ingresos de la empresa para el periodo 2018 - 2023 del entorno actual</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 13. CUP de queso tipo cuajada en el nuevo escenario</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 14. Egresos de la finca para el periodo de 2018 - 2023</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 15. Ingreso anuales de la elaboración del queso tipo cuajada</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 16. Flujo de efectivo neto del escenario 2.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 17. Indicadores económicos del escenario 2.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 18. ICV de ACV de queso</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 19. ICV de ACV de la cadena láctea en donde se incluye el queso</i>	<i>104</i>

Listado de Figuras

<i>Figura 1. Relación entre las actividades empresariales y el ambiente.</i>	23
<i>Figura 2. Fases del ACV.</i>	25
<i>Figura 3. Resultados de EICV.....</i>	31
<i>Figura 4. Relaciones entre las tres primeras etapas de ACV con la interpretación.....</i>	32
<i>Figura 5. Diagrama del ciclo de vida del queso tipo cuajada.....</i>	35
<i>Figura 6. Diagrama de red del ciclo de vida del queso suave tipo cuajada desde la producción de la leche hasta el tratamiento de sus aguas residuales.....</i>	42
<i>Figura 7. Análisis de sensibilidad.....</i>	59
<i>Figura 8. Diagrama de redes de la fábrica de queso.....</i>	60

Listado de Gráficas

<i>Gráfica 1. Caracterización del ciclo de vida del queso suave tipo cuajada con respecto a las categorías de salud humana, calidad de ecosistemas y recursos.</i>	43
<i>Gráfica 2. Ponderación de la evaluación del daño del ciclo de vida del queso suave tipo cuajada</i>	43
<i>Gráfica 3. Caracterización del ciclo de vida del queso suave tipo cuajada</i>	46
<i>Gráfica 4. Evaluación por sustancia, Cambio Climático</i>	47
<i>Gráfica 5. Evaluación por sustancia, Disminución de la capa de ozono</i>	48
<i>Gráfica 6. Evaluación por sustancias, Efectos Cancerígenos</i>	49
<i>Gráfica 7. Evaluación por sustancias, Radiación Ionizante</i>	50
<i>Gráfica 8. Evaluación por sustancias, Respiración Partículas inorgánicas</i>	51
<i>Gráfica 9. Evaluación por sustancias, Respiración Partículas Orgánicas</i>	52
<i>Gráfica 10. Evaluación por sustancias, Acidificación/Eutrofización</i>	53
<i>Gráfica 11. Evaluación por sustancias, Ecotoxicidad</i>	54
<i>Gráfica 12. Evaluación por sustancias, Uso del suelo</i>	55
<i>Gráfica 13. Evaluación por sustancias, Uso de Minerales</i>	56
<i>Gráfica 14. Evaluación por sustancias, Agotamiento de Combustibles Fósiles</i>	57
<i>Gráfica 15. Ponderación de las categorías de impacto</i>	58
<i>Gráfica 16. Puntuación única de las categorías de impacto</i>	58
<i>Gráfica 17. Caracterización de la fábrica de queso</i>	61
<i>Gráfica 18. Ponderación de la las categorías de impacto de la fábrica de queso</i>	63
<i>Gráfica 19. Puntuación única en la fábrica de queso</i>	63
<i>Gráfica 20. Ponderación de la fábrica de queso teniendo en cuenta el cambio de los agentes de limpieza</i>	65
<i>Gráfica 21. Análisis comparativo de los químicos desengrasantes (jabón sódico e hidróxido de sodio)</i>	66
<i>Gráfica 22. Comparación en la distribución del producto</i>	68
<i>Gráfica 23. Puntuación única del escenario actual de la finca y el propuesto.</i>	69
<i>Gráfica 24. VPN con respecto a la utilidad de la empresa en el precio del queso tipo cuajada</i>	79

Lista de siglas y abreviaturas

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
ALC	América Latina y el Caribe
ANDI	Asociación Nacional de Empresarios en Colombia
AVADs	Años de Vida Ajustados por Discapacidad
BPM	Buenas Prácticas de Manufactura
BR	Brasil
CED	Cumulative Energy Demand o Demanda de Energía Acumulada
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CO	Colombia
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
EDA	Enfermedad Diarreica Aguada
EE.UU.	Estados Unidos
EI	Ecología Industrial
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
ESL	Extracción Sólido - Líquido
FAO	Food and Agriculture Organization o Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación
FEDEGAN	Federación Nacional de Ganaderos
FPD.m2.yr	Fracción de especies Potencialmente Desaparecidas en un área determinada durante un tiempo específico
GEA	Gestión Ambiental Empresarial
GEI	Gases Efecto Invernadero
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
ISO	International Organization for Standarization u Organización Internacional de Normalización en español
IDF	International Dairy Federation o Federación Internación de Lechería
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MEE	Método de Efectos Elementarios
MJ.yr	Mega joule excedentes de energía por años per cápita
OAT	One-at-a-time o Uno a la Vez
PE	Perú
PPB	Partes Por Billón
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RAND	<i>Research And Development</i> o Investigación y Desarrollo en español
REPA	Registered Environmental Property Assessor o Análisis de Recursos y Perfil Ambiental en español
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry o Sociedad de Toxicología Ambiental y Química en español
TCAC	Tasa de Crecimiento Anual Compuesto
TGS	Teoría General de Sistemas
UNEP	United Nations Environment Programme o Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente en español

Resumen

Este estudio tiene como objetivo principal la elaboración de un Análisis de Ciclo de Vida de la cadena de la cadena láctea del queso tipo cuajada en una finca ganadera ubicada en el municipio de Puerto López, Meta, desde la producción del concentrado animal, pasando por la producción de leche y de queso hasta finalizar en la distribución del producto terminado. Para ello, fue utilizado el método propuesto por la NTC – ISO 14044:2017 para el uso de esta herramienta, y así, evaluar los impactos ambientales de este derivado lácteo, y proponer una alternativa basada en la Gestión Ambiental Empresarial, teniendo en cuenta las BPM y ACCPP de este sector, buscando disminuir los daños ambientales generados. Como resultados principales se obtuvo que la producción de alimento del animal representa más del 80% del total de las cargas ambientales en la cadena de producción del queso tipo cuajada, teniendo en cuenta el método Eco-indicador 99, siendo principalmente por el uso de combustibles fósiles y la ocupación y transformación de suelo. Por otra parte, la elaboración del queso tipo cuajada, al ser analizada de manera aislada, presenta como puntos críticos el uso de agentes de limpieza y la adquisición de insumos y distribución del producto a los vendedores, aportando en gran medida a las categorías de Agotamiento de Combustibles Fósiles y Uso del Suelo. Finalmente, se identifica que para reducir los impactos ambientales en la elaboración de este tipo de queso es necesario el uso de soda caustica como agente desengrasante y al aumento en la producción de queso, llegando a reducir entre el 98% en la categoría de Uso de Suelo y 63% en el Agotamiento de Combustibles Fósiles, teniendo en cuenta el método OAT. Sin embargo, al momento de evaluar las BPM y APPCC se identifica que es necesario el desarrollo de un proceso de pasteurización, el cual aumenta los impactos ambientales de la fábrica, lo que indica que para lograr una disminución de los daños ambientales y cumplir con los requerimientos legales se requiere de un aumento en el precio del producto, con el fin de lograr un periodo de retorno a corto plazo (menos de 5 años).

Palabras clave: Análisis de Ciclo de Vida, Cuajada, Impactos Ambientales

Abstract

The aim of this study is performed a Life Cycle Assessment of curd cheese dairy chain of curd in a livestock farm located in the Puerto López, Meta municipality, from the feed production, through milk and cheese manufacturing, until product final distribution. For this purpose, the method proposed by the NTC - ISO 14044: 2017 was used for this tool, for evaluate the environmental impacts of this dairy product, in order to propose an alternative based on the Business Environmental Management, taking into account dairy GMP and HACCP, seeking to reduce the environmental damage. As main results it was obtained that the feed production represents more than 80% of the total environmental loads in the curd cheese dairy chain, by taking into account the Eco-indicator 99 method, which is mainly by the use of fossil fuels and land occupation and transformation. On the other hand, the curd cheese environmental impacts, excluding the dairy farm, present as hotspot the cleaning agents and the acquisition of inputs and product distribution to sellers, contributing of Fossil Fuels Depletion and Land Use categories. Finally, it is identified that the livestock, in order to reduce the environmental impacts in the cheese manufacturing, it is necessary to use caustic soda as a degreasing agent, and to increase the production of cheese, reaching a reduction of 98% in Land Use and 63% in Fossil Fuels Depletion categories, by taking into account the OAT method. However, evaluating GMP and HACCP it is identified that the development of a pasteurization process is necessary, even if it increases the environmental impacts of the factory, which indicates that a reduction in environmental damage and comply with the legal requirements, is required an increases in the product price, in order to achieve a short term return period (less than 5 years).

Key words: Life Cycle Assessment, Curd, Environmental Impacts

Introducción

Esta investigación está enmarcada en el municipio de Puerto López, Meta en una finca ganadera ubicada en la zona rural de este municipio, dividido en tres fases que permitieron el desarrollo óptimo del proceso investigativo. Antes que nada, este proyecto se basa en la elaboración de un Análisis de Ciclo de Vida, uno de los métodos, no solo más populares a la hora de cuantificar los impactos ambientales de un producto o servicio, sino también de mayor reconocimiento en la toma de decisiones en el tema ambiental de iniciativas como la Producción Más Limpia, Producción y Consumo Sostenible, Ecoeficiencia, entre otros. Asimismo, este enfoque de permite un análisis completo y detallado de aquellos grupos de interés para cualquier organización, por lo que resulta ser una de las mejores herramientas de análisis de toda una cadena de producción.

Por otra parte, este método toma mayor relevancia cuando es utilizado en un producto que sea de importancia para un sector en particular, en el caso de esta investigación, se toma el queso tipo cuajada, perteneciente a la cadena láctea de Colombia, siendo de vital en términos económicos, sociales y ambientales tanto beneficiosos como perjudiciales. Sin embargo, los estudios de ACV en Colombia para este sector se han limitado a las actividades emprendidas en una granja, dejando de lado aquellos procesos que representan una mayor rentabilidad a nivel económico, los cuales presentan una mayor efectividad a momento de proponer soluciones que permitan reducir los impactos ambientales que estas generar, lo que facilita la toma de decisiones.

De esta manera, esta investigación utilizar el método de ACV como una herramienta que permita la Gestión Ambiental Empresarial en la finca. Para lograrlo fue desarrollado proceso de recolección de información de una manera rigurosa, y así elaborar el Inventario del Ciclo de Vida del queso tipo cuajada. Esto permitirá la identificación de los flujos de materia y energía durante la elaboración de este derivado lácteo, donde se reconoce cada una de las entradas y salidas del proceso productivo. Gracias a esto, es posible el desarrollo de una Evaluación de los Impactos del Ciclo de Vida, y más precisamente de su cuantificación, mediante el método Eco-indicador 99, definen el daño ambiental en tres categorías, la salud humana, la calidad de los ecosistemas y el uso de los recursos, por lo que no solo enmarca valores dirigido a los tipos de contaminantes emitidos, sino que a aquellas implicaciones futuras. Esta evaluación permite una identificación de puntos críticos de la cadena de producción, facilitando el proceso de toma de decisiones y de detalles para determinar la mejor solución a la hora de reducir los impactos ambientales.

Finalmente, la investigación concluye con una propuesta de intervención del proceso productivo del queso tipo cuajada, basado en la Gestión Ambiental Empresarial. Esta propuesta consiste en un análisis de viabilidad técnica y financiera sobre las soluciones propuestas a la producción de este derivado lácteo, buscando primeramente determinar el costo de los daños ambientales a los que se somete la finca, y posteriormente el costo para la reducción de estos daños. Esto contemplara las BPM y el APPCC quienes proponen la correcta ejecución de la elaboración de cualquier derivado lácteo, buscando mejorar la calidad del producto.

1 Planteamiento del Problema

Una de las principales actividades económicas que ha generado graves deterioros ambientales, es la industria de alimentos, gracias a un aumento de la demanda alimentaria tres veces mayor que hace 50 años, provocando un consumo de más del 30% de la capacidad de regeneración del planeta (Govindan, 2017). Esto trajo consigo que, en la actualidad, sea un sector reconocido por la emisión de 9800 a 16900 megatoneladas de Gases Efecto Invernadero (GEI) al año, donde entre el 19% y 29% son contribuidos por los procesos de manufactura, de cosecha, empaçado, transporte, consumo y disposición final. Adicional a esto, gran parte de estas emisiones son gracias al uso de animales para la generación de alimentos, como es el caso de la industria cárnica y de lácteos, donde se utilizan principalmente rumiantes para tal fin (Benis & Ferrão, 2017; González-García, Castanheira *et al*, 2013).

Concretamente, la industria láctea, despliega diferentes impactos ambientales. Globalmente, se registra un aporte de entre 0,8 y 3,07 kg de dióxido de carbono equivalente, por cada kilogramo de leche bovina producida (Djekic *et al.*, 2014), generando para 2015, una descarga de entre 0,64 a 2,46 mega toneladas de dióxido de carbono equivalente, gracias a una producción de 800 millones de toneladas de leche (Froment & van Belzen, 2015), sin tener en cuenta los procesos de ganadería o aquellos derivados de la leche. Por otra parte, localmente, se reconoce a la industria láctea los procesos de eutrofización o pérdida de la biodiversidad (Battini *et al.*, 2016), así como vertimientos con altas cargas orgánicas (González-García, Hospido *et al.*, 2013).

Entre los derivados de la leche, el queso posee el proceso productivo con mayores impactos ambientales (Berlin, 2002; Djekic *et al.*, 2014; Finnegan *et al.*, 2017b; González-García, Castanheira, *et al.*, 2013; González-García, Hospido, *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2013; Palmieri *et al.*, 2017). En especial, se le atribuye esta característica debido a las demandas energéticas (Kim *et al.*, 2013; Palmieri *et al.*, 2017); al consumo de agua (Finnegan *et al.*, 2017); generación de vertimientos (Palmieri *et al.*, 2017); y en la emisión de metano por los procesos de fermentación (González-García, Castanheira, *et al.*, 2013). A pesar de esto, los factores determinantes de este producto, son aquellos impactos ambientales formados a nivel local como los procesos de acidificación, eutrofización, competencia por tierra y formación de oxidantes fotoquímicos (Finnegan *et al.*, 2017; González-García, Castanheira, *et al.*, 2013; Palmieri *et al.*, 2017).

En el caso de Colombia, el sector lácteo es reconocido por problemáticas ambientales como el conflicto de uso, erosión y compactación de los suelos (Revista Semana, 2017); además, económicamente, esta actividad (en especial por la ganadería) impide el desarrollo de otro tipo de actividades como la conservación, al necesitar de grandes extensiones de tierras (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2017). Sin embargo, la medición, y más precisamente, la cuantificación de los impactos ambientales que genera la producción de leche y sus derivados se desconoce en Colombia, y por consiguiente, aquellos generados en la producción de queso tipo cuajada en el municipio de Puerto López, Meta.

A pesar de que varios autores identifican la contaminación del agua y suelo por los residuos de plaguicidas o fertilizantes, de medicamentos, la descarga de vertimientos y la disminución de la cobertura vegetal; también se presenta la contaminación del aire por material particulado (Dehaquiz & Zambrano, 2012; Vélez *et al.*, 2014), aunque no se evidencia una evaluación de estos impactos. Es decir, todavía es muy escaso los análisis de los daños ambientales en cada uno de los componentes de la cadena de producción, es este caso, del queso, y sus efectos en el cambio climático, la salud humana, la calidad de los ecosistemas y en los recursos no renovables, siendo variables fundamentales en la búsqueda del desarrollo sostenible.

Esto se debe a la fuerte orientación de Colombia por usar metodologías y elaborar estudios de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) en mayor medida a proyectos, obras y actividades, como los de infraestructura, petroleros o mineros (Toro, Martínez *et al.*, 2013; Toro, Requena *et al.*, 2013; Vilorio, 2015; Toro *et al.*, 2012; Martínez, 2010; Arboleda, 1998; Hernández, 1994), y en especial en sectores distintos al de los alimentos, o el de los lácteos. Esto crea que, en Colombia, se excluyan un gran número de sectores con un gran potencial de generar grandes impactos ambientales; no se presente una moderación del estado en el uso de método de EIA, y por ende no hay una rigurosidad en su selección; no se incorporan factores sociales, como el daño a la salud humana (Toro et al, 2010).

2 Justificación

Los aspectos ambientales son en la actualidad, la nueva orientación en el panorama empresarial a nivel mundial, como resultado de acuerdos, convenios o tratados internacionales, firmados por los distintos países o sectores productivos. Esto ha provocado que las empresas tengan que cumplir con temas legales, de mejora continua o innovación (Mazzi *et al.*, 2017), y por ende deben optar por técnicas como el ecomarketing (Papadas *et al.*, 2016), la ecoeficiencia (Miao *et al.*, 2017), la Producción Más Limpia, entre otras, que mejoren o incorporen la Gestión Ambiental en las empresas (Quiñónez, 2012). Por esta razón, es necesario una herramienta que ayude a cualquier organización a cumplir con el desempeño ambiental, facilitando la incorporación de estrategias ambientales acordes a cada línea de producción (Aranda et al., pp. 65–66).

En vista de esta tendencia, autores como Mazzi *et al.* (2017) y Thammaraska *et al.* (2017), sostiene que una de las herramientas más populares para el cumplimiento de los requisitos anteriormente mencionados, es el método del ACV, al proporcionar un perfil ambiental de la organización con una visión holística del producto o servicio seleccionado. Adicionalmente, al evaluar los impactos ambientales mediante una perspectiva del ciclo de vida del producto o servicio, puede ser acoplada a los requerimientos de la ISO 14001:2015, la cual llevo a cabo una nueva revisión en ese mismo año, con el fin de responder a las últimas tendencias y mejoras del enfoque ambiental (Hikichi *et al.*, 2017).

En el caso de Colombia, el ACV es una metodología que se acopla a los lineamientos del MADS, al crear un estudio detallado de cada uno de los procesos durante la vida del bien o servicio, y los impactos que genera, como se menciona en sus lineamientos. Por otra parte, el ACV facilitaría el cumplimiento del Acuerdo Competitivo de la Cadena Láctea elaborado en 1999 elaborado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura¹. Entre sus ejes estratégicos para mejorar la competitividad láctea se encuentra el desarrollo de un “Lácteo Sostenible”, donde se destaca el manejo sostenible de los recursos naturales usados para la elaboración de la leche y sus derivados, y el incremento de alternativas tecnológicas de gestión. Para ello es fundamental la integración de 6 eslabones en las decisiones tomadas por la empresa como son los proveedores, las unidades productivas, el acopio, las industrias, la comercialización y el consumidor final (Mojica *et al.*, 2007).

De igual forma, a nivel mundial y en especial en el sector de alimentos, este método es reconocido por ser “el mejor marco de referencia para evaluar los posibles impactos ambientales de los productos actualmente disponibles”, donde su mayor virtud es la perspectiva sistémica que proporciona al producto, la cual evita el desplazamiento de cargas de un impacto ambiental a otro, y de un proceso a otro (Baldini *et al.*, 2017). Esto permite contemplar distintos retos ambientales globales, como el cambio climático, procesos de eutrofización, la acidificación terrestre y acuática, el agotamiento a la capa de ozono, la disminución de los recursos naturales y la pérdida de la biodiversidad (Brancoli *et al.*,

¹ Acompañado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, FEDEGAN, ANDI, entre otros.

2017). Ahora bien, el ACV es utilizada en un sector alimentos, y en especial para la producción de lácteos para la reducción de todas sus alteraciones en el ambiente (Meul *et al.*, 2014), al crear una mejor evaluación de las perturbaciones ambientales del proceso productivo de la ganadería lecheras y sus etapas siguientes, al proponer un entendimiento de las interrelaciones en el sistema (Battini *et al.*, 2016), facilitando el planteamiento de mejoras en la eficiencia y rentabilidad de los procedimientos de su elaboración (Djekic *et al.*, 2014), identificando soluciones adecuadas para contrarrestar los retos globales del sector lácteo (Sala *et al.*, 2017).

Sumado a esto, en América Latina y el Caribe (ALC), se ha presentado un aumento en la productividad y en la distribución recursos destinados a la producción de alimentos, en los que se encuentra Colombia, con un incremento anual de 1,9% desde 2004, llegando a ser el segundo mayor productor de ganado lechero en ALC (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Food and Agriculture Organization, & Instituto Interamericano de Cooperativa para la Agricultura, 2015). De ahí que el sector lácteo en Colombia resulta ser de gran importancia económica al contribuir, en el caso de la ganadería bovina (tanto leche como carne) el 1,6% del PIB nacional, el 20% del PIB agropecuario y 53% del PIB pecuario (Tapasco *et al.*, 2015), siendo además, el sustento económico de más de 500 mil familias (Revista Semana, 2017). Todo esto, gracias a que en Colombia se producen en promedio 6360 millones de litros al año, generados por cerca de 1,5 millones de cabezas de ganado lechero (Castrillón, 2014); y a un consumo de 73,6 Kg por habitante de productos lácteos (Tapasco *et al.*, 2015).

Ya concretamente, el queso Colombia es obtenido de entre el 5% al 8% de la leche producida en todo (CONPES 3675, 2010), llegando a consumirse entre 1.1 y 1.5 kilogramos per cápita (Contexto Ganadero, 2015). A saber, la cultura del queso en Colombia va en aumento, y esto se ve reflejado en el incremento en 2016 del 1% en el volumen de producción, y un 6% en su precio, provocando ventas de hasta 1,1 trillones de pesos, con una Tasa de Crecimiento Anual Compuesto (TCAC)² de 4% para 2021. Asimismo, su mayor consumo está dado por los quesos locales como el campesino, doble crema, pera, cuajada, costeño y quesillo, la cual es una categoría que genera ventas de 1.003,6 billones para el año 2016 y un volumen anual de producto de 47.500 toneladas (Euromonitor International, 2016).

3 Pregunta problema

¿Cuáles son los impactos ambientales que genera la producción de la cuajada en una finca ganadera del municipio de Puerto López, Meta mediante la utilización del método del Análisis del Ciclo de Vida?

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Elaborar un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del queso tipo cuajada en una finca ganadera ubicada en el municipio de Puerto López, Meta como herramienta de Gestión Ambiental Empresarial.

4.2 Objetivos Específicos

- Formular el Inventario de Ciclo de Vida del proceso productivo del queso tipo cuajada en una finca ganadera ubicada en el municipio de Puerto López, desde la recepción de la leche hasta la venta del producto.

² Muestra el promedio anual de la tasa de crecimiento, en este caso, de las ventas de queso en Colombia durante un período determinado (Rist & Pizzica, 2014)

- Evaluar los impactos ambientales de la producción del queso tipo cuajada teniendo en cuenta su Inventario de Ciclo de Vida.
- Proponer una alternativa basada en la gestión ambiental para reducir los impactos ambientales identificados en el Análisis del Ciclo de Vida del queso tipo cuajada.

5 Marcos de Referencia

5.1 Marco de Antecedentes

Según Ramírez (s.f) es su libro “Metodología de la Investigación Científica”, el marco de antecedentes consiste en la revisión bibliográfica sobre el tema de investigación, recopilando toda la información previa que haya sido desarrollada por distintos autores. Este marco desglosará las épocas y los enfoques a lo largo de la historia, referente al ACV, el cual será tratado en el subcapítulo conocido como antecedentes. Ya para enmarcar aquellos autores principales y las distintas investigaciones en torno al ACV del queso, y la determinación de la abundancia o escasez de literatura en relación con la problemática de investigación, dirigida al entorno geográfico del municipio Puerto López, será abordado en el subcapítulo conocido como Estado del Arte³ (Ramírez, s.f.).

5.1.1 Antecedentes

El concepto del ciclo de vida fue usado en primera medida por el gobierno de los Estados Unidos en la década de los 50’s, como una herramienta para gestionar el presupuesto de las Fuerzas Armadas de este mismo país, siendo realizado por la Corporación RAND (*Research And Development* o Investigación y Desarrollo). Sin embargo, solo fue hasta 1969 cuando *The Coca – Cola Company*, internamente realiza un estudio que contemplaba este enfoque, mediante la realización de un Inventario de Ciclo de Vida, el cual consistía en encontrar aquel envase con el menor daño posible al ambiente y al suministro de recursos naturales. Para ello, la compañía cuantificó las materias primas y los combustibles utilizados, y las cargas ambientales de la elaboración de cada envase (Curran, 2012).

Ya para la década de los 70’s, el enfoque de ciclo de vida fue denominado como REPA en Estados Unidos, y Ecobalance en el continente europeo. No obstante, para finales de la década y comienzos de la siguiente, las preocupaciones de las organizaciones estaban dirigidas a la gestión de residuos y requerimientos energéticos, más que para un análisis de costos (Curran, 2006). Con el pasar de los años este método se fue ajustado progresivamente, aumentando así sus publicaciones en el ámbito científico y organizacional, pero con la particularidad de que cada estudio contaba con su propia terminología y conceptos (Heijungs *et al.*, 2011).

Ahora bien, ya para la década de los 90’s se buscaba la estandarización de este método, y de esta manera, lograr un mayor avance en la detección de daños ambientales basadas en el enfoque del ciclo de vida. Gracias a organizaciones como la SETAC o ISO, se logró generar una armonización en los términos, procedimientos y requerimientos del ahora conocido a nivel mundial como ACV (Klöpffer & Grahl, 2014). Esto trajo para el nuevo milenio iniciativas, tanto de los EE. UU. y de Europa, referente al pensamiento del ciclo de vida, donde buscaban orientarlo a la toma de decisiones, a la transparencia y calidad de la información, y a la promoción de distintos puntos de vista y de resultados (Curran, 2006).

³ Este subcapítulo fue nombrado estado del arte debido a que este presenta un enfoque que busca recuperar para describir, es decir, “dar cuenta del estado de conocimiento actual sobre un concepto” (Gómez *et al.*, 2015), en este caso sobre el estudio del ACV del queso, teniendo relación con lo propuesto por Ramírez (s.f.) en el marco de antecedentes.

5.1.2 Estado del Arte

Teniendo en cuenta las bases de datos seleccionadas para esta investigación⁴, Malaspina *et al.* (1995) se reconoce como el primer autor en identificar los impactos ambientales de la producción de queso, a pesar de no ser el objetivo central del estudio. Inicialmente, este autor buscaba probar un tratamiento anaeróbico de las aguas residuales con contenido de suero, provenientes de una fábrica de quesos conocida como Sardinian Pecorino, ubicada en Boloña, Italia. Entre sus resultados, el autor determinó altos niveles de DBO, amonio y fósforo en los vertimientos producto del suero del queso.

Seguido de esta investigación, Bernhard & Moon (1998), llevaron a cabo un Ecobalance desde el criado del ganado lechero, hasta el consumo del producto, delimitando al proceso de agricultura como el de mayor impacto ambiental. Sin embargo, solo fue hasta 2001 cuando fue utilizado el método del ACV para evaluar los impactos ambientales del queso, aunque no en su totalidad. Berlín (2001) construye el Inventario del Ciclo de Vida del queso semiduro producido en Goteburgo, Suecia, como es Hushallsost (uno de los más populares en ese país), describiendo detalladamente todo su proceso productivo, desde la producción de los alimentos en la granja, hasta la disposición final del producto consumido.

Ya para el año 2002, el mismo autor toma esta información y efectúa el ACV del producto, justificando un aumento del consumo de queso en ese país y la escasa información sobre los impactos ambientales sobre este derivado lácteo. Por otra parte, solo fue hasta 2011 donde se publicaron investigaciones relacionadas con el uso de este método en la cadena de producción del lácteo en Europa. Cabe destacar que se presentaron dos tendencias en estos estudios, aquellos que tomaban una industria láctea, donde se producían cualquier tipo de derivados de la leche cruda como la mantequilla, suero de leche, leche en polvo, etc, y entre esos el queso. La otra tendencia era tomar este método y enfocarlo en una industria quesera o en un queso en particular.

Entre 2011 y 2014, fueron publicados cinco artículos en Europa, donde analizaron la cadena de producción de los lácteos mediante el método del ACV. En Escocia fue utilizado para reducir la huella de carbono de este sector (Sheane *et al.*, 2011); mientras que en Dinamarca fue realizada para evaluarla (Flysjö *et al.*, 2014). En Suecia y Nueva Zelanda, como una herramienta para identificar las emisiones de gases efecto invernadero (Flysjö, 2012); y en Rumania (Doublet *et al.*, 2013) y Serbia (Djekic *et al.*, 2014), para identificar sus impactos ambientales.

En el mismo periodo de tiempo fueron publicados cuatro estudios únicamente para la línea de producción del queso. En Holanda, el ACV fue usado para determinar la ecoeficiencia del queso semi-duro holandés (van Middelaar *et al.*, 2011) y los impactos ambientales del queso semi-madurado holandés (Broekema & Kramer, 2014). En Portugal para determinar el desempeño ambiental de queso maduro portugués (González-García, Castanheira, *et al.*, 2013); y por último, en España buscaron analizar los impactos ambientales del queso Galicia (González-García, Hospido, *et al.*, 2013).

Contemporáneo a estas publicaciones, en América, países como Canadá y Estados Unidos, iniciaban sus estudios sobre el ACV del queso. Inicialmente, en EE.UU fue desarrollado una metodología para determinar el orden de asignación al utilizar este método en la cadena de producción del queso (Aguirre-Villegas *et al.*, 2012), tomando como ejemplo el queso cheedar. Posteriormente, Canadá tomaba esta herramienta para establecer la huella de carbono de los productos lácteos (Vergé *et al.*, 2013); y en el caso, de EE.UU establecieron una línea base de los impactos ambientales de la producción de queso mozzarella y cheedar (Kim *et al.*, 2013). De igual forma, como país pionero en el

⁴ IdeA, Science Direct, Proquest, Ebook Central, Springer Link y Scopus

uso de este método para este derivado lácteo se encuentra Brasil, para la comparación de los impactos ambientales de un proceso productivo artesanal e industrial del queso Minas (Muller *et al.*, 2014).

Para los años 2015 y 2016, no fueron encontrados artículos sobre el ACV del queso. Sin embargo, en 2017 se determina el cálculo del aporte al calentamiento global de varios productos lácteos elaborados en Irlanda como el queso (Finnegan *et al.*, 2017); y en el caso de Italia, los impactos ambientales de la cadena láctea (Palmieri *et al.*, 2017) y la identificación de sus puntos críticos y de oportunidades de mejoras del proceso (Dalla Riva *et al.*, 2017); para este mismo año, se encuentra que Brasil publica su segundo artículo relacionado con el ACV del queso, pero esta vez para evaluar los mayores impactos ambientales de este producto en la ciudad de Bahía (Santos *et al.*, 2017). Ya para el 2018, en Italia se reconocen los daños e impactos ambientales potenciales de la producción de dos quesos de DOP Asiago (Dalla Riva *et al.*, 2018) y Grana Padano (Bava *et al.*, 2018).

Como resultados de mayor relevancia en el uso del ACV en la cadena de producción del queso se encuentra que la Unidad Funcional (UF⁵) más utilizada es 1 kg de producto; el alcance de estas investigación mayormente va desde la producción de la comida de los animales hasta el empaquetado del producto; y que el método de asignación utilizado en la investigación puede afectar entre un 50% a 100% de los resultados, por lo que es necesario escoger el más apropiado. Ya en materia de impactos ambientales, se encuentra que la producción de la leche resulta ser el mayor generados; y que los quesos semiduros poseen mayores valores en las distintas categorías de impacto, en especial aquellas relacionadas a consumo de energía, en relación a los quesos frescos (Finnegan, 2017).

5.2 Marco Teórico

Este marco constituye de una descripción detallada de aquellas teorías encontradas durante la revisión bibliográfica relacionada con el tema central de esta monografía, ACV y la elaboración del queso tipo cuajada, lo que permite delimitar el área de la investigación y su orientación, con respecto a las técnicas y procedimientos esbozadas en este documento (Ramírez, n.d.). En principio, como teoría fundamental de esta monografía, se presenta la **Teoría de la Ecología Industrial** (EI), la cual propone un entendimiento y análisis de los flujos de materia y energía, dentro y fuera de un sistema industrial, teniendo en cuenta los principios de los ecosistemas naturales (Korhonen, 2004). Esto es conocido como la “metáfora biológica”, donde se consideran principios biológicos para el análisis de uno o varios sistemas industriales, con su entorno ecológico (Leigh & Li, 2015). Como consecuencia, esta teoría mira los ecosistemas naturales no humanos como un modelo de actividad industrial (Lifset & Graedel, 2002).

Cabe mencionar que el concepto de EI, fue introducido por Frosch & Gallapoulos en 1989, siendo encaminado al entendimiento de los patrones y las dinámicas de una industria con su entorno (Bringezu, 2003). Con el pasar de los años, autores como Korhonen (2004), propone la división de esta teoría para mejorar el entendimiento de la industria. Una de ellas consiste en determinar los flujos de energía y materia presentes entre y dentro del sistema industrial y el ecológico; la otra parte, hace referencia a identificar las características y propiedades del sistema ecológico (los tipos de componentes que lo constituye), y del industrial (relacionadas con las conexiones y enlaces entre sus componentes, su clase y su distribución).

Adicional a esto, autores como Deutz & Ioppolo (2015), complementa la estas propuestas, mediante la incorporación de los tres principios de la termodinámica⁶, y de esta manera, incorporando un enfoque

⁵ Es la cuantificación de las funciones identificadas del producto, teniendo como propósito principal, el proporcionar una referencia de las entradas y salidas, asegurando así, la comparabilidad de los resultados del ACV.

⁶ Relación entre el calor, la energía y la habilidad de trabajo dentro de un sistema cerrado o abierto

de ingeniería en esta teoría. Entre estos se presenta el principio de la conservación de la energía en un sistema cerrado, lo que exige el uso de herramientas o método que permiten, no solo la identificación de los flujos de materia y energía, también la cuantificación de los mismos, además del análisis de las entradas y salidas del sistema, tanto interna como externamente.

Por tal motivo, el ACV resulta ser una de las herramientas que mejor desempeña y abarca la Teoría de EI. Esto se debe principalmente al concepto del ciclo de vida que incorpora esta método (Lifset & Graedel, 2002), permitiendo el análisis del flujo de materiales desde la extracción de recursos hasta la disposición final, gracias a que provee parámetros claves de la ecología industrial como los requerimientos acumulativos de energía o el material de entrada por unidad de producto o servicio (Bringezu, 2003). Sin embargo, este método al enfocarlo bajo esta teoría, hace que sea considerada como herramienta para la detección directa de impactos ambientales y de medición de aquellas señales o perturbaciones antropogénicas en los ecosistemas, ya que genera una escala del sistema industrial, lo que facilita el entendimiento de los flujos de materia y energía (Deutz & Ioppolo, 2015).

Sumado a esto, a fin de generar un mayor entendimiento de la empresa y complementarla la Teoría de EI, y asimismo, el ACV, se presenta la **Teoría General de Sistemas (TGS)**, la cual planteada en primera medida por el biólogo Von Bertalanffy (1976) en 1956, siendo reconocida una “revolución científica” para la época ya que propone, no solo el estudiar las partes y los procesos de un sistema vivo de una manera aislada, también su organización y el orden que los unifica, resaltando las interacciones dinámicas, y plasmando así un nuevo enfoque, el sistémico. Posteriormente, Miller (1978) complementa este enfoque afirmando que los sistemas en todos sus niveles son abiertos y compuestos por subsistemas, con procesos de entrada, de rendimiento y de salidas, en forma de materia, energía e información. A pesar de esto, al igual que Von Bertalanffy, Miller direccionaba el enfoque sistémico a los sistemas vivientes.

Solo fue hasta la aparición de Yourdon (citado por Caddy & Helou, 2007), quien adapta lo propuesto por dichos autores a los sistemas no vivientes, como es el caso de las empresas, formulando un entendimiento de estas, mediante la TGS. Para ello, el autor propuso una división de subsistemas del gran sistema, con el fin de reducir su complejidad, y facilitar el entendimiento para mejorar el trabajo de las compañías. Esto abrió campo a que Mele *et al.* (2010) centraran esta teoría, en los sistemas abiertos empresariales, orientado a comprender sus interacciones tanto internamente y entre los subsistemas. Asimismo, pretendía el entendimiento del entorno empresarial, es decir, entre sus suprasistemas, e identificar la habilidad de esta para adaptarse los cambios de este. Cabe recalcar que, según Alter (2013), cualquier método que sea utilizado para lograr una comprensión de la compañía basado en la TGS, debe mencionar los límites, las entradas y salidas, las transformaciones y el estado del sistema.

Esto último, propuesto por Alter (2013), obliga la inclusión de una nueva teoría, para un mayor entendimiento de las industrias o empresas, como es el caso de la **Teoría de los Grupos de Interés o Stakeholders**. A saber, el concepto de *Stakeholders* fue creado por el autor Edward Freeman en 1984, definiéndolo como un enfoque para caracterizar las empresas dependiendo de sus relaciones con los grupos externos. Solo fue concebida como teoría gracias a Donaldson & Peterson en 1995, quienes formularon este concepto como una teoría (Fontaine *et al.*, 2006), direccionándola en las características y comportamientos de las empresas, y para ello proporcionaron tres orientaciones de la teoría de los *Stakeholders* (citado por Céspedes-Lorente *et al.*, 2003).

Teniendo en cuenta esta investigación, la orientación de la instrumentalidad se acopla en mayor medida, debido a que esta establece que toda organización posee ciertas conexiones entre sus partes y

ciertos estados finales, esto hace referencia a que cualquier comportamiento optado por la empresa trae consigo unos resultados o unas consecuencias que son más probables que ocurran en sus grupos de interés (Jones, 1995). Teniendo en cuenta esto, Freeman *et al.* (2001) postula que todo individuo o grupo de interés es afectado, o puede afectar los objetivos corporativos de una empresa, debido a las conexiones externas los que los hace parte de la organización, y por tanto, es un sistema abierto con una gran cantidad de redes, que requieren de una análisis con un enfoque sistémico.

Más adelante Céspedes-Llorente *et al.* (2003) afirma que toda organización tiene una responsabilidad de integrar a sus partes interesadas, como menciona Freeman, para facilitar la Gestión ambiental en la empresa. Esto ocasiono que la Teoría de los *Stakeholders* presentara un nuevo enfoque relacionado con las implicaciones ambientales, producto de aquellos que la empresa considera grupos de interés. Por ende, esta teoría sugiere que las compañías son productoras de externalidades que afectan a estos grupos, pero asimismo estas causan que los *Stakeholders* incrementen sus presiones a la compañía, ya que estos buscarían que esta organización redujera aquellas externalidades negativas o intensificar las positivas (Sarkis *et al.*, 2011).

5.2.1 Elaboración de la cuajada

Como guía fundamental para la elaboración de la cuajada se toma como base a Tabares & Feria (2009), quienes propusieron una metodología para la elaboración del queso tipo cuajada, teniendo en cuenta ocho pasos, sin tener en cuenta aquellos procesos que son elaborados para la extracción de la leche. Por ende, como primera etapa se lleva a cabo la **recepción y estandarización de la leche**, donde el operario antes de ingresar esta materia prima al proceso, debe verificar su contenido (3,3% - 3,5%) y su pH (6,6 – 6,7). Si la leche se encuentra bajo estos parámetros, el operario puede pasar a la segunda etapa, la **pasteurización de la leche**, donde inicialmente un incremento de la temperatura de la leche a 72°C – 74°C por 15 segundos, para eliminar los microorganismos presentes que son perjudiciales para la salud humana, para luego disminuirla a 28°C – 30°C. Cabe aclarar que durante esta etapa se agrega cloruro de calcio en proporción 10 - 12 g por cada 100 L, para evitar la pérdida de calcio en la leche debido a al incremento de temperatura.

Seguido de la reducción de la temperatura es añadido el cuajo⁷, en proporciones de 6 mL – 10 mL por cada 100 L de leche, lo que inicia con la etapa de **coagulación**, donde la mezcla debe ser agitada de manera manual o mecánica durante 2 min a una velocidad constante, para luego dejar en reposo durante 30 min – 40 min, y lograr la formación de la cuajada y el desprendimiento del suero. De ahí se pasa a la cuarta etapa, la cual consiste en el **desuerado de la cuajada**, es decir, la remoción de la mayor cantidad de suero en el tanque hasta dejar únicamente los precipitados, ya sea forma manual o mecánica, y así poder avanzar a la quinta etapa, donde se **añade cloruro de sodio** (sal), en proporción de 15 g – 20 g por cada 100 L de leche. Cuando ya se ha logrado la distribución homogénea de la sal en la cuajada, se inicia el proceso de **moldeado de la cuajada** mediante la generación de una presión por algún elemento externo, y así ser **almacenado** en una nevara hasta lograr la contextura adecuada para su **empacado** y posterior distribución.

⁷ Es un insumo utilizado para la elaboración de queso, que puede ser de origen animal (estómago de los terneros), vegetal (hierba de cuajo) o microbiano (*Rhizomucor miehei*), el cual reacciona, gracias a la péptidas, con la caseína de la leche, formando así el suero líquido y la cuajada (Çakmakçı & Boroğlu, 2004).

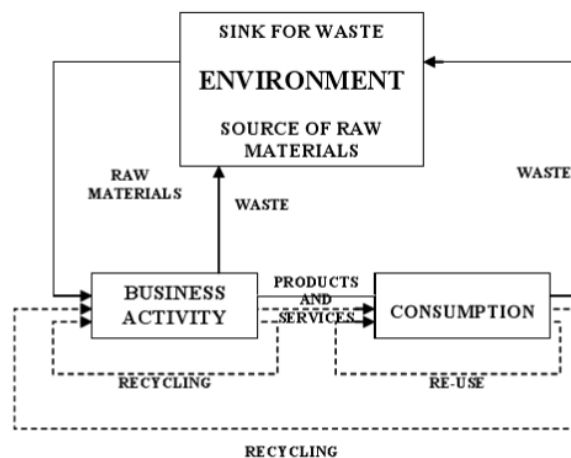
5.3 Marco Conceptual

Este marco consiste en las principales definiciones de esta investigación, presentando los rasos principales de aquellos conceptos seleccionados, teniendo en cuenta, tanto la problemática como el tema principal del estudio (Ramírez, n.d.).

5.3.1 Gestión Empresarial Ambiental

Hace referencia al control de las actividades humanas, industriales, agrícolas, domésticas, entre otras, buscando la conservación de los recursos y la reducción de la contaminación (Edwards, 2003). De igual forma, se encarga del manejo de las actividades emprendidas por las empresas, ya sea la extracción de materias primas para la fabricación de productos, las distintas actividades desempeñadas para su fabricación, su disposición final y los servicios utilizados, que provocan un impacto en el ambiente (Vaiskunaite, 2009).

Figura 1. Relación entre las actividades empresariales y el ambiente.



Fuente: (Vaiskunaite, 2009)

En resumidas cuentas, la gestión ambiental, como se muestra en la figura #1, toma al ambiente como el proveedor de materias primas manipuladas por las actividades empresariales para la generación de productos y servicios, que posteriormente serán consumidos. Tanto las actividades empresariales, como el consumo de productos y servicios, producen residuos que culminarán en el ambiente, por lo que es esencial el desarrollo de procesos de reciclaje y de reutilización, tanto en las actividades empresariales, como en su consumo.

Asimismo, la gestión ambiental engloba toda la normatividad vigente relacionado con el medio ambiente y la protección del mismo, buscando constantemente mejoras que reduzcan los impactos generados por las empresas u organizaciones. Todo esto mediante un control riguroso de los procesos y actividades empresariales que los generan, mediante la incorporación del medio ambiente en sus costos (Navarro, 2011).

5.3.2 Evaluación del Impacto Ambiental (EIA)

Entre las actividades que debe realizar la GEA es la evaluación de aquellos impactos ambientales que la empresa genera, es decir, la valoración del cambio positivo o negativo que se genera sobre el ambiente, como el resultado del total o parcial de los elementos de sus productos o servicios (NTC - ISO 14001:2015). Es así como la EIA busca identificar sistemáticamente el impacto potencia o efecto de cualquier actividad dentro de una organización, para el fortalecimiento del análisis de aquellos aspectos ambientales en la planeación y toma de decisiones. Por ende, es pertinente la más completa y

equilibrada información multidisciplinaria, y que sea desarrollada bajo un método, o mejor dicho, mediante una herramienta, en este sentido, de Gestión Ambiental, como los Sistemas de Gestión Ambiental, Auditoría Ambiental, Ecodiseño, o ACV (Mareddy *et al.*, 2017).

5.3.3 Enfoque de Ciclo de Vida

Es una perspectiva que busca eliminar el pensamiento tradicional en los procesos de manufactura, hacía una donde se incluyan los impactos ambientales, económicas y sociales de un producto, teniendo en cuenta desde la extracción de materiales de los recursos naturales, la producción, empaçado, distribución, uso, mantenimiento y reciclaje, reutilización, recuperación o disposición final de producto (de la cuna a la tumba) fabricado, teniendo en cuenta el flujo de materiales y energía durante cada una de estas etapas. Es así como se pretende con este enfoque de ciclo de vida, reducir el uso de recursos y las emisiones al ambiente, sin dejar de lado las mejoras en el rendimiento socioeconómico de la organización y su cadena de valor (UNEP/SETAC: Life Cycle Initiative, 2017).

Consecuentemente, al tomar este enfoque, se evita el desplazamiento de cargas entre cada una de las etapas del ciclo de vida, gracias a la estimación de los flujos directos e indirectos, llevando a un análisis detallado de los impactos del producto (Loiseau *et al.*, 2012). Más aún, cuando se contemplan los impactos ambientales de un producto, bajo este pensamiento, no solo se debe tener en cuenta la cadena de producción, también los impactos ambientales de aquellos insumos o productos que son incorporados durante todo su ciclo de vida, por lo que se convierte en una necesidad al momento de evaluar los impactos (Bidstrup, 2015).

5.3.4 Enfoque Sistémico

Este pensamiento es direccionado a ser una habilidad de análisis, utilizada para mejorar la capacidad de identificar y entender los sistemas complejos o no, frente a modificaciones internas, para predecir su comportamiento y generar efectos deseados (Arnold & Wade, 2015). Para ello, el enfoque sistémico, pretende el reconocimiento de patrones y sus interrelaciones, o mejor dicho, revelar aquellas relaciones causales entre las distintas partes o subsistemas que están provocando un impacto ambiental o una pérdida de eficiencia y efectividad del sistema, creando así, una base sólida de información para mejorar el sistema (Onat *et al.*, 2017).

De ahí que, este enfoque sea útil para entender los cambios a lo largo de las escalas de un sistema, ya sea en una dimensión espacial, temporal, cuantitativa o analítica usadas para medir y estudiar cualquier fenómeno dentro de las unidades del sistema delimitado (Williams *et al.*, 2017). Por esta razón, el reconocimiento de las interconexiones no lineales y los diferentes tipos de flujos y variables; y el entendimiento de la realimentación, la estructura del sistema y los comportamientos dinámicos de sistema, son elementos que trabajan conjuntamente para conseguir aclarar el sistema abordado (Arnold & Wade, 2015)

5.3.5 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Es un método definido por los estándares internacionales ISO 14040 y 14044, con el objeto de analizar los aspectos e impactos ambientales de un sistema de producción. Esta herramienta de gestión ambiental estudia los aspectos ambientales y sus posibles impactos a través de la vida del producto, es decir “de la cuna a la tumba”, desde la extracción de la materia prima, hasta su producción, luego su uso y finalizando con su disposición final. Incluso, esta herramienta categoriza, de manera general, los impactos ambientales causados por los recursos utilizados en la salud humana y las consecuencias ecológicas (Klöpffer & Grahl, 2014).

5.4 Marco Normativo

Este marco consiste en una recapitulación de la normatividad internacional, relacionada a los acuerdos sobre protección del ambiente, y más específicamente sobre el desarrollo sostenible a nivel mundial, empezando por la Agenda 21 en 1992, pasando por la Cumbre de la tierra, el Acuerdo de Marrakesh y 10 YFP, finalizando con la Agenda 2030. Cabe destacar que Colombia tuvo una respuesta frente a estos eventos mediante la creación de leyes y políticas que permiten ubicar a este país en el marco del desarrollo sostenible.

En principio, el contexto ambiental en Colombia se plasma en la Constitución de 1991 ya que el Estado reconoce que el pueblo colombiano tiene el derecho de gozar de un ambiente sano, y que la protección de su diversidad y su integridad es deber del Estado, quien lo debe hacer a través de la ley. La responsabilidad al Estado de conseguir el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano, son otros factores otorgados por medio de este documento. De esta manera, en los artículos 79, 80, 88, 95 y 334, se recompila la importancia del medio ambiente, asimismo, donde se añade la obligación a los colombianos de proteger y velar por los recursos culturales y naturales, para así conservar un ambiente sano.

Esta Constitución Política es una respuesta del Estado Colombia frente al cambio de pensamiento a nivel mundial sobre los recursos naturales, esto gracias a diferentes sucesos como la publicación de Rachel Carson conocida como “Primavera Silenciosa”, el informe del Club de Roma, la Cumbre Mundial sobre Medio Humano en Estocolmo y el informe Brundtland recordado como “Nuestro Futuro Común”. Gracias a esto, nace la Agenda 21, un programa que nace en la Cumbre de Río 1992 que buscaba impulsar la sostenibilidad, mediante un nuevo modelo de desarrollo para el siglo XXI, donde comprendía a 172 países que debían construir políticas ambientales, económicas y sociales encaminadas a satisfacer los requerimientos del “Desarrollo Sostenible”.

Esta Cumbre de la Tierra de 1992, como fue llamada, gracias a estos lineamientos, oriento de manera definitiva uno de los acontecimientos más importantes en Colombia, en materia ambiental, y es la creación de la Ley 99 de 1993. Mediante esta ley se crea el entonces Ministerio de Ambiente⁸ y se ordena el sector público, jerarquizando los diferentes entes encargados de llevar a cabo el cumplimiento de los derechos del ambiente. Para ello se crea el Sistema Nacional Ambiental y entidades como las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) ingresan a este sistema, con el fin de cumplir los nuevos retos del siglo XXI. Sumado a esto, en 1997 se expide la Política Nacional de Producción Más Limpia (PML) por el entonces Ministerio de Ambiente, fundamentalmente para la “prevención” de la contaminación, por medio de la creación de propuestas reales, orientadas a la sostenibilidad, y que estas creen una competitividad en cualquier sector económico, generando que la responsabilidad ambiental sea un compromiso del Gobierno colombiano y los sectores productivos. Este es el caso de los Centros Nacionales de PML (CNPML), creados un año después, para afirmar el desarrollo empresarial del país, a través del fomento de mejores condiciones productivas, competitivas y sostenibles (Sandoval & Liévano, 2012).

Ya en el siglo XXI, las reuniones se buscaba más, reafirmar lo adoptado por la Agenda 21, y en 2002 se lleva a cabo la Cumbre Mundial de Johannesburgo, y más precisamente el Proceso de Marrakesh donde se reconoce el apoyo global de entidades como el PNUMA y UNDESA para la implementación de iniciativas nacionales y regionales sobre Producción y Consumo Sostenible (PCS), donde los gobiernos deben ajustarse a un Marco de Programas a 10 años (10 YFP). Gracias a esto, el mismo año

⁸ En la actualidad reconocido como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)

el Estado colombiano, por medio del MADS expidió el Plan Estratégico Nacional de Mercados Verdes (PENMV), el cual buscaba un mejoramiento ambiental desde la competitividad empresarial y la transformación productiva. Asimismo, para el 2010 se crea la Política Nacional de PCS, la cual prioriza aquellos sectores productivos, teniendo en cuenta sus tendencias de crecimiento, impactos sobre el ambiente y los beneficios sociales (empleo), como el manufacturero (alimentos, envases, productos químicos), para el diseño de proyectos sostenibles, el fortalecimiento de capacidades e investigación y la generación de una cultura de autogestión y autorregulación (United Nations Environment Programme & Organización de las Naciones Unidas, 2007)⁹.

Diez años después aparece la Cumbre de la Sostenibilidad o Río +20 y la delimitación de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) dando como resultado la Agenda 2030, donde nuevamente se tratan la modificación de las modalidades insostenibles y la promoción de una PCS, como se expresa en el objetivo 12, siendo un requisito indispensables para llevarlo a cabo, continuando como los programas 10YFP. Para su cumplimiento, se crea La Comisión de Alto Nivel para el Aislamiento y Efectiva Implementación de la Agenda 2030 y sus ODS, y de esta manera, establecer la participación de todos los sectores y grupos de interés.

Llegado a este punto, la necesidad de un país por acoplarse a cada uno de estos acuerdos o convenios, y sus modificaciones ha generado la obligación de incorporar el tema de sostenibilidad a las líneas productivas. Este es el caso de la creación de la Política para Mejorar la Competitividad del Sector Lácteo en Colombia, donde uno de sus ejes estratégicos es la innovación en esta actividad mediante una sostenibilidad ambiental, mediante el uso de tecnologías y técnicas apropiadas para lograrlo (Ministerio de Comercio Industria y Turismo & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015)¹⁰. Asimismo, en el ámbito departamental, la Gobernación del Meta reconoce que para obtener un futuro ambientalmente sustentable es indispensable incorporar factores como la educación ambiental y la cultura ciudadana, por lo que el papel de la academia es requerida para su obtención (H. Gómez, Ramírez, & Mendoza, 2011). Ya para ser más específico, el Municipio de Puerto López tiene como objetivo en su Plan de Desarrollo (2016 – 2020), el armonizar el desarrollo económico y social con la sostenibilidad ambiental, como un factor para la conservación de los recursos y servicios naturales existentes (Bravo, 2017).

5.5 Marco Geográfico y Socioeconómico

El municipio de Puerto López se encuentra ubicado en el departamento del Meta con un área total de 6740 kilómetros cuadrados, donde el 0,14% (9,5 km²) representa la zona urbana y el 99,86% (6730,5 km²) de área rural. limitando al norte con los municipios de Cumaral, Cabuyaro y el departamento de Casanare; al oriente con el municipio de Puerto Gaitán; al sur con el municipio de San Martín; y al occidente con los municipios de San Carlos de Guaroa y Villavicencio.

La finca seleccionada queda ubicada en la zona rural del municipio, en la parte sur-occidente, aproximadamente, a 20,68 km de la zona urbana. Esta zona se caracteriza una planicie aluvial¹¹ de ríos meándricos, en las que se presentan terrazas, superficies planas y angostas, cóncavas, con planos de inundación anual y pendientes entre 0% a 3%. Este tipo de suelo resulta ser el de mayor fertilidad para su explotación agrícola o agropecuaria, como es la ganadería, siendo, con la producción de arroz de

⁹ Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA por sus siglas en inglés) & Organización de las Naciones Unidas (ONU por sus siglas en inglés)

¹⁰ Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MCIT) & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)

¹¹ “Este término se utiliza para designar aquellos espacios naturales que constan de relieves bajos o de una mínima altitud, cercanos al nivel del mar” (Otero *et al.*, 2013)

riego y secano, las dos actividades más importantes en el municipio. Aun así, en la actualidad, ciertas actividades han cambiado el rumbo del municipio, en los que se encuentra la producción de alimentos procesados, en especial en el sector lácteo, a pesar de no contar con una infraestructura apropiada para el procesamiento de productos derivados de la leche, como el queso (Otero *et al.*, 2013).

A saber, el departamento de Meta pertenece a la región lechera 4, la cual abarca el 7% del total del país, siendo la de menor producción, aunque el uso de la leche para la producción de sus derivados, es la segunda región más idónea para tal fin, debido a que su leche cuenta con un contenido de proteínas de 26%, y en el caso de este departamento se destaca la producción de uno de los 12 quesos típicos del país como es la cuajada. Este producto presenta una categoría de fresco ácido, gracias a que no requiere de una maduración y presenta una textura blanda. Esta categoría de quesos resulta ser una de las preferidas por los consumidores, causando que dominen el mercado colombiano, con ventas de 47,5 miles de toneladas en 2016, llegando a generar para el mismo año 1.003,6 billones de pesos.

5.6 Marco Institucional

Por cuestiones de confidencialidad, para este marco de referencia no se definirá la ubicación exacta de la finca o su nombre, tampoco el de los dueños o trabajadores. Solo será expuesto sus actividades productivas, el número de trabajadores, el municipio al que pertenece y otras variables que no incumplen con este acuerdo.

La finca objeto de estudio para esta investigación se encuentra ubicada en el área rural del municipio de Puerto López, Meta a 15 km del casco urbano y 73 km de la ciudad de Villavicencio (capital del Meta). Cuenta con un área de 100 hectáreas, donde se ubican 23 vacas lecheras, 5 toros, 7 caballos, una fábrica de queso y dos casas, en las que habitan los dueños y trabajadores, y una variedad de animales donde su cantidad fluctúa diariamente. Entre las actividades económicas desarrolladas en la finca se presenta la elaboración y venta de queso tipo cuajada, y la venta de animales como cabras, pavos, marranos y gallinas, siendo sus mayores ingresos provenientes de la elaboración del derivado lácteo. El ordeño de las vacas se lleva a cabo todos los días (excepto el 25 de diciembre y 1 de enero) en un periodo de tres horas, desde las 3:00 am hasta las 6:00 am, por 3 trabajadores, los cuales tienen como objetivo extraer 130 L durante este periodo de tiempo.

Por otra parte, la elaboración del queso se lleva a cabo en la misma finca a 100 metros del rancho donde se ordeñan los animales. La leche es transportada en envases de plástico mediante un sistema de transporte manual de tres ruedas conocido como “carretilla” hasta el lugar de manufactura. Siendo las 10:00 am, ya coagulada la leche se inicia el proceso de elaboración del queso. Al finalizar, se almacena durante dos días en una nevera destinada para tal fin, para luego ser vendido, en un punto de expendio de quesos a 4 km de la finca.

6 Método

En este nuevo capítulo se inicia con la explicación del método del ACV, teniendo en cuenta la norma NTC – ISO 14044, donde se explicará cada una de sus fases, dependiendo del alcance de esta investigación y el uso de este método en la cadena de producción del queso doble crema. Por otra parte, al ser una investigación, esta posee un “...conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema...” (Sampieri *et al.*, 2014), y por lo tanto, es necesario definir un enfoque, un alcance y un método de investigación. Para ello fueron compilados dos autores, uno proporciono un marco de referencia que permitía definir cada uno de estos tres aspectos, como es el caso de Sampieri *et al.* (2014); y en el caso de Pinilla & Aguado (2012), acopla estos diferentes conceptos para la elaboración de una investigación en el campo de la gestión ambiental.

6.1 Enfoque, alcance y método de investigación

Esta investigación cuenta con un enfoque mixto, donde se presentan características del enfoque cuantitativo y cualitativo. En primera medida, el ACV requiere de una fase de recolección de información y datos de una empresa o proceso, y de esta manera, obtener mediciones numéricas de los flujos de masa y energía pertenecientes a este. Sin embargo, el ACV también cuenta con un enfoque cualitativo, debido a que los resultados obtenidos requieren de una interpretación del autor, en especial, en términos de rectificación, modificación o incorporación de la información, o cuando sus resultados son utilizados para mejorar las prácticas empresariales.

Adicionalmente, esta monografía cuenta con dos alcances investigativos, tanto de características descriptivas como de estudio de caso. El primero es gracias a que es necesario detallar todo el proceso de manufactura, y así, identificar sus impactos ambientales. Por otra parte, este estudio es muy específico ya que se centra en un producto en una empresa particular en un entorno específico, generando que no sea posible extrapolar en su totalidad a otro tipo de queso o derivado lácteo. Como consecuencia, es necesario el uso de un método analítico, el cual consiste en dividir el proceso de fabricación en diferentes etapas, y esto permite identificar y evaluar los impactos ambientales, y lograr una propuesta viable y precisa para su reducción.

6.2 Análisis del Ciclo de Vida según la norma NTC – ISO 14044:2007

Ya para el cumplimiento de los objetivos, el ACV se divide en cuatro etapas, como se mencionó en el Marco Conceptual. En el caso de la primera fase, la cual incluye la definición del objetivo y el alcance, fue tomado como apoyo al autor Mary Ann Curran (2012), con su libro “*Life Cycle Assessment Handbook*”, el cual enfoca esta metodología en la industria de alimentos. Por otra parte, como fundamento para la adquisición de bibliografía de artículos científicos relacionados con el ACV, fueron utilizadas las bases de datos de la Universidad El Bosque: *IdeA*, *Science Direct*, *Proquest*, *Ebook Central*, *Springer Link* y *Scopus*. Asimismo, fue tomado como una herramienta de apoyo la tesis de grado de Hernández (2014), fundamentalmente en la recopilación de la información y la incorporación de la misma en el Software *SimaPro*.

6.2.1 Método para objetivo específico 1

Tomando en cuenta que el primer objetivo específico es “Formular el ICV del proceso productivo del queso tipo cuajada en una finca ganadera ubicada en el municipio de Puerto López, desde la recepción de la leche hasta la venta del producto”, fue necesaria la elaboración de las dos primeras etapas del ACV, la definición del objetivo y alcance, y el ICV. Esta primera etapa fue desarrollada en dos fases, en primer término, la definición del objetivo, en donde se mencionó las aplicaciones de esta investigación, las razones del estudio, el público previsto y se precisó la forma de divulgación de la información obtenida. Como segunda fase, se definió el alcance del ACV, donde se mencionan los límites del sistema, la UF, la asignación¹² de los procedimientos, la metodología de evaluación de impactos y los tipos de impacto, la interpretación utilizada, los requisitos relativos a los datos, las suposiciones, los juicios de valor y elementos opcionales, las limitaciones, los requisitos de calidad de los datos, y el tipo de revisión crítica, todo esto mediante un análisis detallado del proceso productivo, en el cual poco a poco fueron mencionados cada uno.

Para el caso del ICV, fue una etapa que consistió en la recopilación de los datos cualitativos y cuantitativos de cada uno de los procesos unitarios del sistema seleccionado. Por tal motivo, en principio, fue necesaria la revisión de información secundaria, relacionada a los 18 artículos científicos

¹² Distribución de los flujos de entrada o de salida de un proceso o un sistema del producto entre el sistema del producto bajo estudio y uno o más sistemas del producto diferentes (NTC – ISO 14044, 2007).

seleccionados sobre el ACV de queso y de la cadena de láctea donde se incluía este producto, extrayendo la información necesaria para la ejecución de esta información. Posteriormente, gracias a esta revisión fue posible la realización del Formato de Recolección de Información (mostrado en el Anexo A), tomando como base los propuestos por Curran (2012), Hernández (2014) y la NTC – ISO 14044:2007. Esto permitió la recopilación de la información primaria dentro de la finca, mediante una observación directa del proceso productivo y entrevistas a los propietarios y trabajadores; así como las mediciones directas de aquellos valores con los que la finca no contaba, como el consumo de agua; o los cálculos para la obtención del consumo de electricidad y energía térmica durante la parte del ciclo de vida seleccionado, y de esta manera plasmar el ICV mediante el método conocido como Procesos del Diagrama de Flujo, el cual consiste en la representación gráfica de la interconexiones mediante flechas entre cada uno de los procesos, los cuales serán tomados como cajas (Suh & Huppel, 2005), siendo una forma sencilla de representar un proceso no tan complejo (Islam *et al.*, 2016). Esta información de plano fue incorporada al software SimaPro 8, teniendo en cuenta las guías¹³ que proporciona el mismo software, y siendo complementada por la información de fondo, obtenida por las bases de datos¹⁴. Finalmente, de esta fase, se llevó a cabo el balance de masa y energía del producto con base a la UF, y sintetizado mediante un diagrama que facilita su comprensión.

6.2.2 Método para Objetivo específico 2

Este método consiste en “Evaluar los impactos ambientales de la producción del queso tipo cuajada, teniendo en cuenta su Inventario de Ciclo de Vida”, el cual es desarrollado luego de completar con el ICV, y de haber cuantificado y normalizado¹⁵ los datos obtenidos con la UF, se inició el proceso de recopilación de los resultados de indicadores para las diferentes categorías de impacto, obteniendo la representación del EICV del sistema productivo, mediante la selección del método Eco-indicador 99, el cual fue necesario para llevar a cabo una comparación. Este método proporcionó las categorías de impacto, los indicadores de categoría y los modelos de caracterización¹⁶; y así, la asignación de los resultados del ICV en cada una de las categorías de impacto y su clasificación; finalizando con el cálculo de los resultados de indicadores de categoría. Estos cálculos fueron, gracias a SimaPro, normalizados, agrupados¹⁷ y ponderación¹⁸ para facilitar la recopilación de los resultados del indicador y del perfil del EICV, y su interpretación.

¹³ *Introduction to LCA with SimaPro* – Goedkoop, Oele, Leijting *et al.*(2016); *SimaPro Tutorial* - Goedkoop, Oele, Vieira, *et al.* (2016); *SimaPro Database Manual: Methods Library* - Pre’ Consultants (2014); e *Input Output in SimaPro* - Kerkhof & Goedkoop (2010)

¹⁴ USLCI, Ecoinvent 3, Agri-footprint, Industry data,

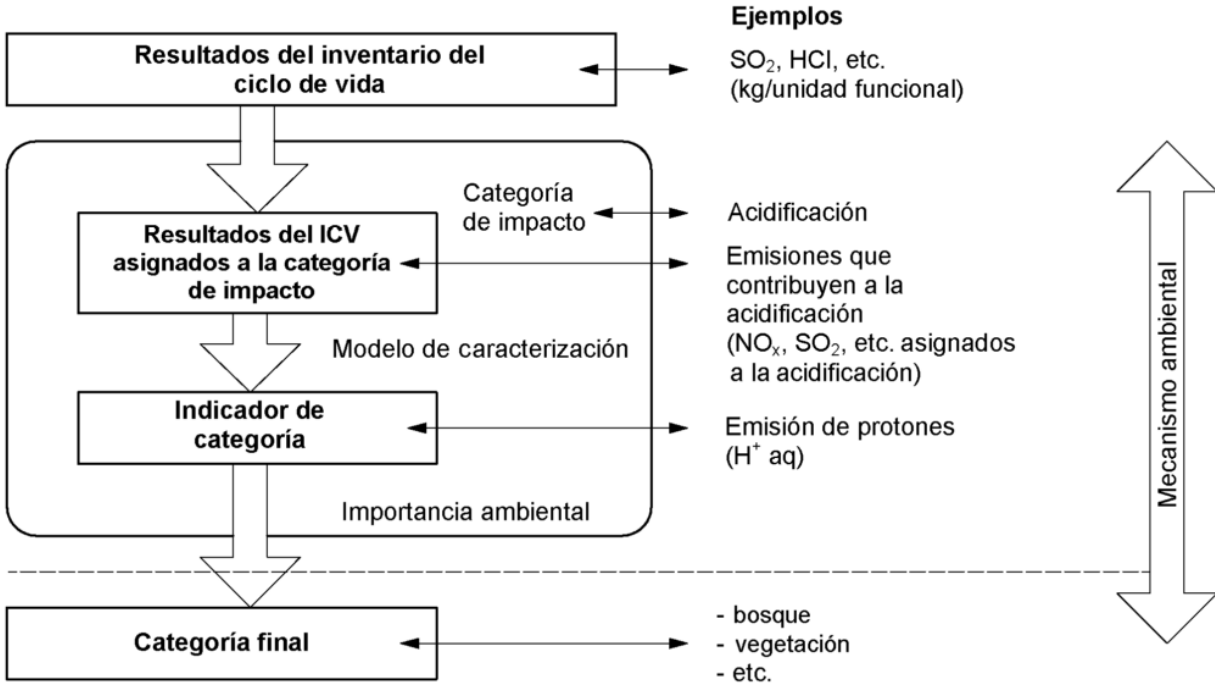
¹⁵ Busca generar una medida que permita definir si los resultados obtenidos de las categorías de impacto del producto analizado tiene un nivel relativamente alto o bajo, con respecto a un valor de referencia, permitiendo resolver la incompatibilidad de unidades (Goedkoop *et al.*, 2016)

¹⁶ Todos estos serán apoyados por aquellos artículos postulados en el estado del arte de esta investigación

¹⁷ Es la organización y clasificación de las categorías de impacto.

¹⁸ Es la conversión y posible suma de los resultados del indicador a través de las categorías de impacto utilizando factores numéricos basados en juicios de valor

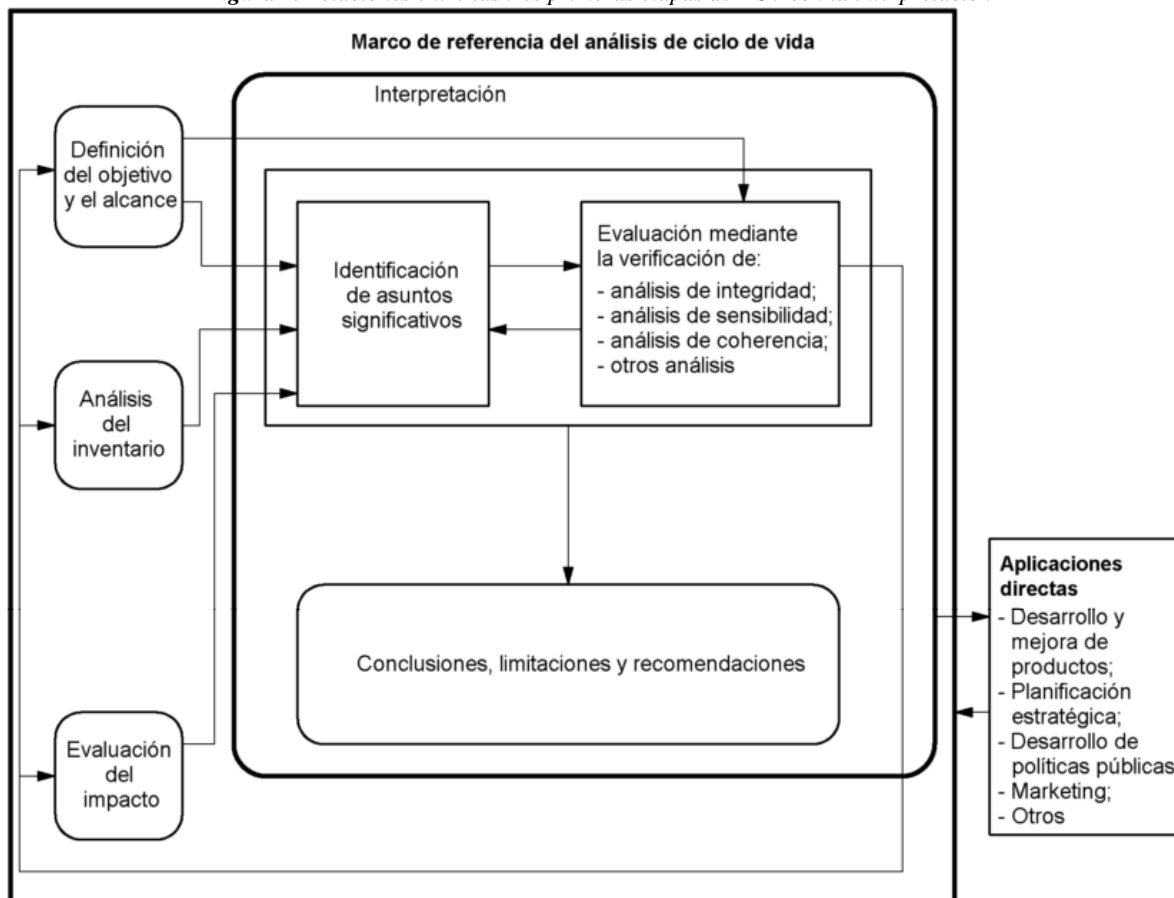
Figura 3. Resultados de EICV



Fuente: (NTC – ISO 14044, 2007)

La Interpretación del Ciclo de Vida, teniendo en cuenta la NTC - ISO 14044 de 2007, es la última etapa del ACV, donde se evaluó y verificó el análisis de sensibilidad de las entradas y salidas, y las elecciones metodológicas significativas. Por tal motivo, fue necesario identificar los asuntos significativos de las etapas anteriores, y la valoración sobre las verificaciones de los análisis de integridad, sensibilidad y coherencia.

Figura 4. Relaciones entre las tres primeras etapas de ACV con la interpretación



Fuente: (NTC – ISO 14044, 2007)

6.2.3 Método del Objetivo específico 3

En esta parte de la investigación se busca “Proponer una alternativa basada en la gestión ambiental para reducir los impactos ambientales identificados en el ACV del queso tipo cuajada”, llevada a cabo posteriormente a la culminación del ACV del queso tipo cuajada, fue utilizada como herramienta de gestión ambiental la viabilidad técnica y financiera de un análisis de sensibilidad. Este consistió en primera medida en la identificación de aquellos puntos críticos durante el ACV, y de esta manera, elaborar el análisis de sensibilidad mediante un cambio de las variables más importantes encontradas para la reducción de los impactos ambientales. Ya habiendo resultados, frente al alteración de las variables, se realizó una determinación de la viabilidad técnica de los cambios al proceso productivo del queso tipo cuajada y de su funcionamiento, y asimismo, una viabilidad financiera, que proporcionó la capacidad de la organización, en este caso, la finca, para lograr estos cambios. Al final, esta herramienta, favoreció la formulación de recomendaciones, no solo a la empresa, sino también referente al ACV del queso tipo cuajada.

7 Resultados y Discusión

7.1 Definición del Objetivo y Alcance del ACV del queso tipo cuajada

7.1.1 Objetivo del ACV

Este estudio tiene como objetivo evaluar los impactos ambientales de la cadena de producción del queso suave tipo cuajada, buscando identificar los puntos críticos representativos para su manufactura. Esto con el fin de proponer alternativas de mejora en el sistema, enfocadas en su mayoría en el proceso de elaboración del queso, basándose en herramienta de Gestión Ambiental Empresarial (GAE), y de esta manera, ser un apoyo para la toma de decisiones futuras en la finca. Además, esta investigación surge de la necesidad de los dueños de conocer a fondo la cadena de producción del queso suave tipo cuajada, de sus insumos y distribución. Pese a que es un proyecto que busca apoyar a los dueños de la finca, es un documento que será publicado en el ámbito académico, recalcando nuevamente la confidencialidad del nombre de la finca y la evidencia en las formas de manufactura del queso.

A saber, normalmente, este método de evaluación de impactos ha tenido como objetivo para este derivado lácteo evaluar (Bava *et al.*, 2018; Berlin, 2002; González-García, Castanheira, *et al.*, 2013; Muller *et al.*, 2014; Palmieri *et al.*, 2017), calcular (Broekema & Kramer, 2014), cuantificar e identificar (González-García, Hospido, *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2017) los daños ambientales de la cadena productiva del queso. Sin embargo, otros autores han utilizado el ACV como una herramienta para la toma de decisiones de las fábricas queseras, referente mejorar en el rendimiento ambiental de las mismas (Kim *et al.*, 2013); para mejorar la ecoeficiencia de las empresas, o dicho de otra forma, el rendimiento económico por unidad de impacto ambiental producido (van Middelaar *et al.*, 2011); e incluso, para desarrollar métodos de asignación en este sistema productivo, ya sea de salidas simples (solo una) o múltiples (Aguirre-Villegas *et al.*, 2012).

7.1.2 Alcance del ACV

Tomando como referencia los diferentes autores seleccionados, en relación al ACV del queso, e identificando una tendencia en este tipos de estudio, se considera la UF para el queso suave tipo cuajada de 1 Kg , principalmente debido a que es la unidad de medida más habitual en este tipo de producto (Finnegan, 2017); aunque autores como Flysjö (2012), Kim *et al.* (2013) y Palmieri *et al.* (2017), tomaron como UF 1Kg de leche, 1 ton de queso y 1 L de leche, respectivamente. En esta investigación serán tomados tres subsistemas de la cadena láctea del queso tipo cuajada. El primer subsistema consta de la producción del concentrado o alimento animal y de la leche; el segundo, se centra en la manufactura del queso tipo cuajada, es decir, la fábrica, donde se incluyen sus procesos de elaboración; y un último subsistema que abarca el proceso de tratamiento de las aguas residuales generadas de la elaboración del queso. La integración de este último subsistema radica en que autores como (González-García, Castanheira, *et al.*, 2013) y Dalla Riva *et al.* (2018) lo consideran un punto crítico al momento de evaluar los daños ambientales del ciclo de vida del queso.

Ahora bien, el ciclo de vida de cualquier derivado lácteo inicia con la **Producción del alimento de los animales** y luego el ordeño de los mismos para la adquisición de la materia prima, la leche. La información relacionada con estas fases agrícolas fue tomado del estudio de Guzmán & Gutiérrez (2016) sobre la **Producción de leche** en Colombia. Para ello, los autores tomaron como UF 1000 L de leche cruda, en una finca ubicada en Ubaté, Cundinamarca, donde solo se produce leche, por lo que se asigna esta información a la zona de estudio seleccionada y se acopla a la finca ganadera seleccionada, la cual produce su propia leche y no requiere de un transporte vehicular.

De esta manera, se tiene como tercera etapa la **Recepción de la leche en la “fábrica”**, la cual no efectúa un proceso de pasteurización de la leche, y por consiguiente, no es necesario el uso de Salpetre (Nitrato de Potasio), para evitar procesos de fermentación de la leche (en su mayoría utilizado para la elaboración de quesos semiduros), y ni de Cloruro Cálcico para brindar firmeza al queso, ya que el calentamiento de este insumo causa una pérdida de nutrientes de la leche, y en especial de proteínas que brindan la estructura al queso. Llegado a este punto, en la fábrica es añadido el cuajo microbiano con el propósito de llevar a cabo el proceso **Coagulación de la leche**, el cual consiste en la acumulación, solidificación y precipitación de sus proteínas, dando origen a la cuajada y el suero dulce.

Este cuajo es elaborado en Palmentto Bay, Florida, EE.UU. donde se obtienen las proteasas microbianas del hongo *Mocur Miehei*, de ahí es transportado vía marítimas 17256 km hasta llegar al puerto de Santa Marta, para luego recorrer 967 km en un camión de carga 16 ton hasta llegar a Bogotá D.C., para ser mezclado con benzoato de sodio y cloruro de sodio, y de esta manera, ser distribuido en un camión de carga de 7,5 – 16 ton, 117 km hasta Villavicencio, Meta, siendo adquiridos por los dueños en la finca, quienes se movilizan en un vehículo particular, 73,3 km para la adquisición de este insumo.

Seguido de la coagulación de la leche, se lleva a cabo la **Separación de la cuajada**, donde el operario, mediante un recipiente, retira la cuajada y la deposita en un colador con el objetivo de retirar el exceso de suero del producto. Todo el líquido es almacenado en envases de entre 5 – 6 galones, para ser aprovechados como alimento de los animales de la finca, lo que resulta ser una salida útil en su proceso productivo. Luego de tener aislada la cuajada, se realiza el proceso de **Salado de la cuajada**, donde se añade al producto Cloruro de Sodio (sal de cocina) mezclando de forma manual y lograr la homogenización del insumo en el queso. La producción de NaCl se lleva a cabo en el municipio de Cajicá, Cundinamarca, y transportada 229 km en carga de 7,5 – 16 ton hasta Puerto López, Meta, a 4,6 km de la finca.

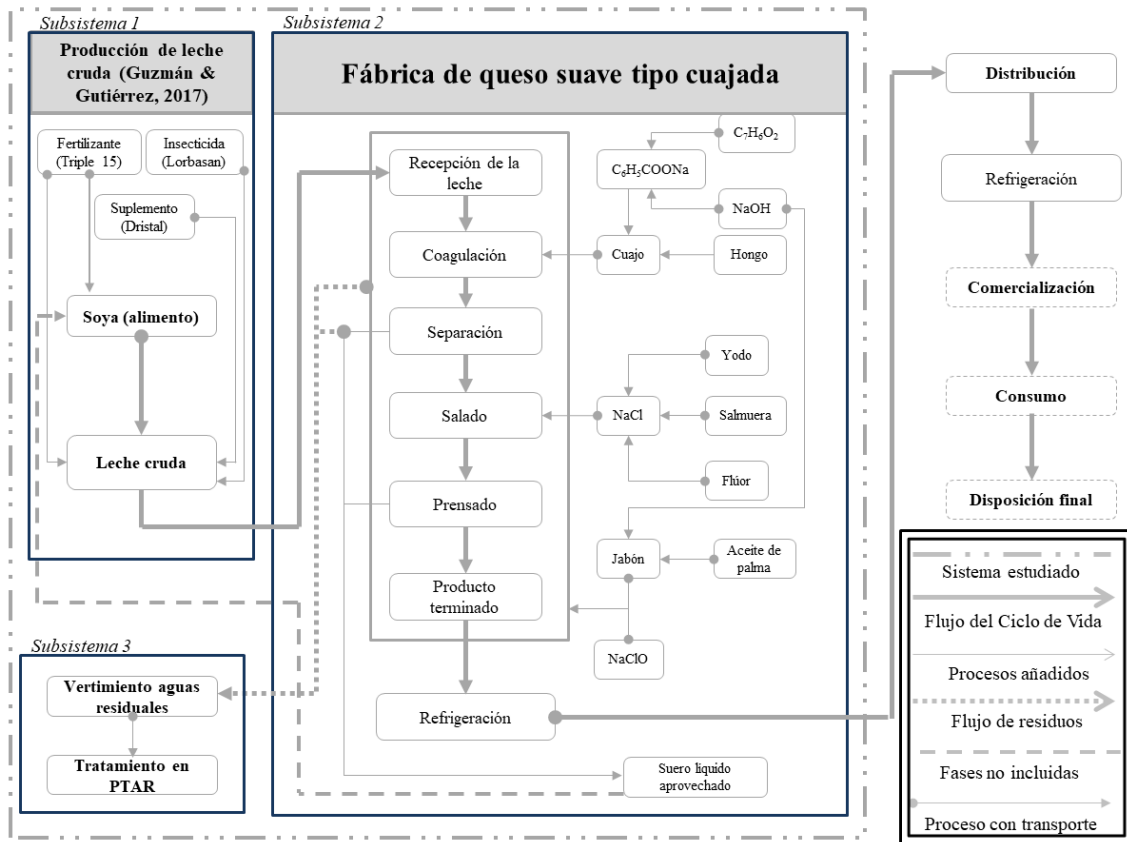
Al culminar este proceso, se traslada el producto a la fase de **Presado de la cuajada**, donde se cubre y se situada en un recipiente apto para ubicar un elemento externo (piedra) encima, durante cuatro horas, para sustraer cantidad de suero salado, y ser nuevamente aprovechado como alimento de los animales. Finalizando este periodo, la cuajada es almacenada en una nevera convencional de Clase T¹⁹ con refrigerante de tipo R134a²⁰, durante los dos días siguientes, para finalizar con el proceso de **Refrigeración de la cuajada**. Dos días después es posible el **Transporte del producto al comerciante**, ubicado a 4,7 km, y ser vendido en los dos días siguientes de llegar el queso, teniendo en cuenta los datos históricos del expendedor de la cuajada y su experiencia, siendo almacenado en una nevera convencional Clase T, con refrigerante R134a, pero de tipo Frost²¹. Los procesos post-distribución del producto, como es el de venta, consumo y disposición final, fueron excluidos debido a la falta de información detallada y reportada sobre el queso tipo cuajada, además de los consumos de energía eléctrica y térmica, como la iluminación de la tienda, así como las actividades desarrolladas en esta. Con el fin de generar un mayor entendimiento del proceso de elaboración del queso, y las fases del ciclo de vida seleccionadas, se presenta a continuación en la Figura 5.

¹⁹ Son refrigeradores utilizados para climas con temperaturas entre 16°C a 43°C

²⁰ El R134a es un refrigerante de tipo fluorocarbonados (HFC) con la característica fundamental de no dañar la capa de ozono

²¹ Es un refrigerador convencional que utiliza una placa generadora de frío en un congelador y otra en la nevera para lograr las diferentes temperaturas que cada uno requiere, lo que obliga a la acumulación de hielo manual, y estar propensos a la formación de escarcha (una forma de condensación en la que se forma hielo cristalino sobre la superficie expuesta), disminuyendo el rendimiento de la nevera.

Figura 5. Diagrama del ciclo de vida del queso tipo cuajada



Fuente: Elaborado por este estudio

Además de los insumos utilizados para la elaboración del queso suave tipo cuajada, y teniendo en cuenta los las investigaciones de Berlin (2002), van Middelaar *et al.* (2011), Muller *et al.* (2014), Santos *et al.* (2017), Dalla Riva *et al.* (2018), entre otros, es esencial la incorporación de los químicos utilizados para la limpieza de la fábrica de queso. A pesar de que estos autores mencionan el Ácido Nítrico, como desinfectante, e Hidróxido de Sodio como desengrasante, para este proceso productivo son utilizados Hipoclorito de sodio ($NaClO$) convencional y jabón sódico, para tales fines, respectivamente.

Un proceso que se presenta, y es necesario su incorporación es el tratamiento de las aguas residuales de la fábrica de queso. A saber, la finca no cuenta con una planta de tratamiento propia, por lo que sus vertimientos son de depositados al acueducto municipal, y de ahí a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que trata 90 L/s de Puerto López, Meta, ubicada a 20,8 km de la finca. Normalmente, este tipo de residuos poseen altas cargas orgánicas producto del suero de leche (González-García, Castanheira, *et al.*, 2013), en este caso que no es aprovechado, y se suma al agua los químicos de limpieza y la sal.

Ya finalizada la descripción detallada del sistema productivo del queso tipo cuajada, es necesario recalcar las asignaciones realizadas en este estudio, añadidas a las ya descritas anteriormente. Una de ellas es la no incorporación de los bienes capitales de la finca como la fábrica, ni los elementos que participan en el sistema (pala de agitación, los envases plástico para almacenar la leche y el suero, el pozo de recolección del agua subterránea, los refrigeradores, la estufa o la PTAR), ni las actividades de

los trabajadores, gracias a que la exclusión de cada uno de ellos, representa una gran influencia en las categorías de impacto de la cadena láctea, ya que contribuyen menos del 5% de los resultados (Broekema & Kramer, 2014), como en las emisiones de GEI (Flysjö, 2012); otra variable que no se contempla es el empaque del queso, debido a que es un elemento multivariable dentro del sistema.

Como método de asignación fue seleccionado el modelo de expansión del sistema, dado que la fabricación de cualquier tipo de queso es un sistema típico de múltiples salidas, donde, a pesar de que el queso es el producto principal, en la finca se aprovecha el suero de leche como alimento para los animales, y no es considerado un residuo (Aguirre-Villegas *et al.*, 2012). A causa de esto, este sistema se analiza como “Black Box”²² (caja negra), donde se le adjudicará al queso el 100% de las cargas ambientales de toda la producción (González-García, Castanheira, *et al.*, 2013). Esta perspectiva permite analizar el sistema a través de un enfoque general donde sus procesos son de naturaleza global, es decir, en este estudio no consiste en analizar cada unidad como un sistema complejo para determinar las mejores condiciones de operación, por el contrario, lo que pretende es analizar los impactos ambientales de la cadena de producción del queso tipo cuajada, en aras de identificar los puntos críticos, mediante la construcción de un ICV basado en la recopilación de información de la empresa y la literatura, y por tanto se consideran los insumos y residuos como entradas y salidas, no como sistemas complejos (Jacquemin *et al.*, 2012).

En cuanto a la calidad de los datos, utilizados para la elaboración del ICV de la cadena de producción del queso tipo cuajada, se parte principalmente por los involucrados en el proceso, ya sean proveedores, dueños de la finca (también trabajadores) y vendedores, teniendo en cuenta el formato de recolección de información mostrado en el Anexo A, y las visitas técnicas realizadas, por consiguiente, esta información está limitada al conocimiento de estos actores quienes no cuentan con un registro anual de la cuajada. De ahí que, fue necesaria la comparación de esta información con aquellos artículos científicos, en relación al ICV del queso, a manera de corroborar los datos obtenidos (Anexo B). Asimismo, fue necesario recopilar las características de cada una de las máquinas utilizadas como la motobomba, estufa, y en especial, de los refrigeradores, teniendo en cuenta el tiempo de uso de las mismas para determinar el consumo de electricidad y energía térmica de la producción del queso en la finca, siendo los cálculos expuestos en el Anexo D. Por último, para la información de fondo se utilizaron aquellas bibliotecas proporcionadas por SimaPro 8: USLCI, Ecoinvent 3, Agri-footprint, Industry data, teniendo en cuenta a Hernández (2014) y Kim *et al.* (2013).

Igualmente, para la elaboración del EICV, fue seleccionado el método Eco-indicador 99, ya que se consideraba el más apropiado para esta investigación, teniendo en cuenta que es un proceso artesanal y al que incorporaba las categorías de impacto más relevantes para este derivado lácteo, como se evidencia en el Anexo C donde se comparan las categorías utilizadas por los distintos autores en el ACV del queso. En el caso de Muller *et al.* (2014) sugiere y aplicar este método en procesos artesanales de elaboración de queso, en especial donde no se usan procesos de pasteurización en la leche, y se utiliza el cloro como elemento de limpieza. No obstante, Finnegan (2017) afirma que las categorías de impacto más comunes en los estudios de ACV son: Potencial de Calentamiento Global, Potencial (o cambio climático), de Acidificación y Potencial de Eutrofización, siendo incorporados en Eco-indicador 99. Ya para la interpretación de los resultados, fue desarrollado el método Uno a la Vez o OAT (por sus siglas en inglés) para desarrollar el análisis de sensibilidad. Este consiste en el cambio cada uno de los puntos críticos por separado, a fin de determinar la influencia de cada uno de estos en

²² Este término hace alusión en la TGS al estudio de un elemento en base únicamente de sus entradas y salidas.

el sistema debido al cambio en la cantidad, su forma de uso o el tipo de insumo utilizado, donde los valores en el ICV serán definidos arbitrariamente por el autor (Groen *et al.*, 2014).

7.2 ICV del queso tipo cuajada

Como datos de primer plano, fueron determinados los ingredientes necesarios para la producción de 1 Kg de queso suave tipo cuajada, teniendo en cuenta las visitas de campo y entrevistas a los trabajadores de la finca. Para la elaboración de este producto se requiere de 9,087 Kg de leche, 0,002 Kg de cuajo, 0,045 Kg de sal, 1,017 Kg de agua, 0,081 Kg de cloro, 0,001 Kg de detergente, 0,526 KWh de electricidad, 0,078 MJ de energía térmica.

Tabla 1. Inventario global de la producción de 1 Kg de queso tipo cuajada

Insumos	Cantidad	Unidad	Factor de conversión ²³	Unidad	Cantidad con respecto a UF	Unidad	Observaciones
Materia primas							
Leche	130	L/d	0,068	Kg de queso ⁻¹	9,087	Kg/Kg de queso	La leche no pasa por un proceso de pasteurización y es ordeñada de una forma manual
Cuajo	0,033	L/d			0,002	Kg/Kg de queso	La composición de cuajo es: Hongo conocido como <i>Mocur miehei</i> , Agua, benzoato de sodio y cloruro de sodio. Densidad de este producto=1,10 - 1,12 Kg/L
NaCl	0,658	Kg/d			0,054	Kg/Kg de queso	Se utiliza sal convencional en polvo
Limpieza							
NaClO	1,071	L/d	0,068	Kg de queso ⁻¹	0,081	Kg/Kg de queso	Es utilizado para la desinfección de todos los materiales que participan en la elaboración del queso
Detergente	0,013	Kg/d			0,001	Kg/Kg de queso	Es utilizado un jabón sódico
Agua	15	L/d			1,017	Kg/Kg de queso	El agua es obtenida mediante una motobomba en un pozo subterráneo a 60 metros de profundidad
Energía							
Estufa	1,141	Mj	0,068	Kg de queso ⁻¹	0,077	MJ / Kg de queso	Estufa de cocina con un Q=53,24 L/h; un poder calorífico del propano=85,748 KJ/L
Motobomba	0,005	KWh			0,0003	KWh /	Mediante una

²³ Este factor de conversión fue obtenido de la división de 1 Kg de queso y la producción diaria promedio de la empresa de 14,75 Kg, a fin de determinar el consumo unitario (1 Kg) de la empresa (ver Anexo C)

Insumos	Cantidad	Unidad	Factor de conversión ²³	Unidad	Cantidad con respecto a UF	Unidad	Observaciones
						Kg de queso	motobomba con una tensión nominal = 220V, una Corriente = 10ª y un factor de tolerancia = 36%
Nevera (finca)	4,272	KWh			0,290	KWh / Kg de queso	Se almacena el queso durante 2 días en una nevera clase T con una tensión nominal = 120V, una Corriente = 1,4ª y un factor de tolerancia = 6%
Nevera (vendedor)	3,456	KWh			0,235	KWh / Kg de queso	Se almacena el queso durante 2 días en una nevera clase A con una tensión nominal = 115V, una Corriente = 1,18ª y un factor de tolerancia = 6%
Gasolina	0,752	L/d			0,040	Kg/Kg de queso	Es la gasolina consumida para la obtención de los distintos insumos y la distribución del producto
Gas propano	0,013	m3/d			0,456	Kg/Kg de queso	La finca utiliza gas propano para el funcionamiento de la estufa
Km recorridos	10,518	Km/d			0,713	Km/Kg de queso	Son los Km recorridos por el vehículo para la obtención de los insumos y la distribución del producto

Fuente: Elaborado por este estudio

Ya para los datos de fondo, luego de haber recopilado toda la información primaria, fueron seleccionadas las bases de datos expuestas en la Tabla 2, al englobar los distintos procesos y sectores productivos, es especial los de alimentos. Por ejemplo, Agri-footprint, consiste de una red de inventarios de distintos procesos relacionados con la agricultura, en la que se enmarcan los sistemas de producción animal, la cosecha de cultivos y los procesos de productos animales; además del suministro de información con respecto al el transporte, la manufactura de los fertilizantes y de los materiales auxiliares en este sector (Agri-footprint 2.0, 2015ª). Otro base de datos es Ecoinvent, una librería que alberga y centra sus ICV en varios sectores productivo como el de construcción, el energético y químico, entre otros (Wedema *et al.*, 2013). La selección de estas y otras bases de datos se apoya de la revisión bibliográfica de artículos científicos sobre ACV del queso o la cadena láctea, y de las características que cada una sobre los procesos, los materiales, las transformaciones, las fuentes de energía y el transporte.

Tabla 2. Bibliotecas implementadas para elaborar el ICV del queso tipo cuajada

Biblioteca	Características	Descripción
Agri-footprint	<i>Mass allocation</i>	Para el caso de los cultivos y sus procesamientos, esta asignación se basa en la materia seca del producto, es decir, en la cantidad estándar de producto comercializada.
Ecoinvent 3	1. <i>Allocation default (unit)</i> ; 2.	1) Utiliza un modelo de atribución que se emplea para

Biblioteca	Características	Descripción
	<i>Consequential (unit)</i>	conocer los impactos ambientales o <i>hotspot</i> en un ciclo de vida. 2) Utiliza un modelo que busca conocer las consecuencias de un cambio, en comparación a una situación de referencia.
Industry data 2.0	-	Información sobre asociaciones industriales
LCA Food DK	-	Información sobre los productos alimenticios más producidos y consumidos en Dinamarca.
Methods	-	Métodos que definen las categorías de impacto
USA Input Output Database	-	Posee información respecto al sector económico más que por proceso, por lo que permite una evaluación completa del sector.
USA Input Output Database System Expansion	-	Tiene el mismo principio de la base de datos de US Input Output, con la diferencia de utilizar un valor económico de las cargas ambientales, y la cantidad de entradas requeridas y emisiones de una industria , refiriéndose al punto de generación
USLCI	-	Presenta modelos de información para cuantificar los flujos de material y energía dentro del ambiente o en el exterior del proceso unitario.

Fuente: Elaborado por este estudio

Ya habiendo seleccionadas las bibliotecas para el ACV en SimaPro, es fundamental definir la producción de energía eléctrica mixta para Colombia. Esta variable es de vital importancia debido a que, en la actualidad, los países presentan una mayor diversidad de fuentes de energía eléctrica, en las que se encuentran aquellas de tipo solar, eólica, a base de carbón o agua, entre otras, permitiendo contrarrestar, no solo el agotamiento de los recursos, también problemáticas como la degradación de los ecosistemas o el cambio climático (Singh, Pant & Olsen, 2013). Sin embargo, esta variable todavía no se encuentra disponible en SimaPro 8.2.0.0. para el caso de Colombia, lo que ocasionó que fuera obligatorio enfocar su búsqueda en los países latinoamericanos, como Brasil (BR) y Perú (PE), siendo este último, el de mayor similitud con Colombia (Tabla 3).

Tabla 3. Matriz energética PE-CO

Fuente	Perú		Colombia	
	Producción (GWh)	Porcentaje (%)	Producción (GWh)	Porcentaje (%)
Gas natural	91354	19,24	1132,7	3,95
Biogás	1978	0,42	51,2	0,18
Recurso Hídrico	230189	48,47	23009,6	80,32
Carbón	123127	25,93	772,9	2,70
Eólica	18423	3,88	1054,1	3,68
Solar	9805	2,06	241	9,17
Total de producción	474876	100	28646,8	100

Fuente: (García et al., 2016)

Con base en la Tabla 3, se observa que, del total de la producción de energía eléctrica de Colombia, más del 80% está dado por el recurso hídrico, a diferencia de Perú, donde el 80% de la electricidad se deriva del agua, carbón y gas natural, lo que lo hace un país no dependiente de un único recurso para la producción de electricidad, distinto a Colombia. Esta dependencia del agua para Colombia trae consigo distintas repercusiones en términos ambientales para el país, siendo en mayor medida irreversibles, como la pérdida de biodiversidad y la extinción de especies por la inundación de las áreas forestales, lo que genera la destrucción de hábitats; también se presenta la pérdida de tierras de cultivo y el aumento de los desplazamientos de poblaciones completas (de Lima Andrade & dos Santos, 2015).

Llegado a este punto, ya contando con la producción de electricidad mixta de Colombia, fue necesaria su integración en SimaPro 8.2.0.0, y de todos aquellos procesos que requiere de esta variable. En general, estos procesos cuentan con un suministro de energía de voltaje medio, y es necesario una

conversión del tipo de energía, ya que la información proporcionada por la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) es de un voltaje alto, por lo tanto, fue tomado el factor de conversión para Perú que es propuesto por el software, donde 1KWh de electricidad de alto voltaje es igual a 0,0074 KWh de electricidad de medio voltaje.

Igualmente, distintos procesos relacionados con la cadena de producción del queso, fueron modificados, o dicho de otra forma, adaptados a Colombia, teniendo en cuenta las variables propias del este país en el software. En vista de ello, la Tabla 4 expone los cambios efectuados a ciertos procesos y aquellos creados.

Tabla 4. Procesos modificados y creados en SimaPro 8.2.0.0

Procesos modificado	
Procesos de sima pro	Procesos modificado
Sodium chloride, powder {RoW} production Alloc Def, U	Sodium chloride, powder (salt) {CO} production Alloc Def, U
Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {RoW} sodium hypochlorite production, product in 15% solution state Alloc Def, U	Sodium hypochlorite, with water, in 5,25% solution state {CO} sodium hypochlorite production, product in 5,25% solution state Alloc Def, U
Soap {GLO} palm oil refinery operation Alloc Def, U	Soap {CO} palm oil refinery operation Alloc Def, U
Benzoic acid {RoW} toluene oxidation Alloc Def, U	Benzoic acid {CO} toluene oxidation Alloc Def, U
Wastewater from potato starch production {RoW} treatment of, capacity 1.1E10 L/year Alloc Def, U	Wastewater from whey cheese production{CO} treatment of, capacity 1.1E10 L/year Alloc Def, U
Procesos creados en sima pro	
Proceso creado	Características
Curd Cheese, from cow Raw milk, fresh, unripened {CO} Cheese production, soft, from cow Raw milk	Representación de la fábrica de queso
Raw milk, farm {CO} production Alloc Def, U	Soybean protein concentrate, from crushing (solvent, for protein concentrate), at plant/BR Mass
	Sodium chloride, powder, salt {CO} production Alloc Def, U
	Calcium nitrate {CO} production Alloc Def, U
Rennet, curd cheese {CO}	Cuajo microbiano utilizado por la finca para la coagulación de leche

Fuente: Elaborado por este estudio

A pesar de que varios autores, en relación al ACV de queso, descartan insumos como el cuajo, la sal o los productos de limpieza (Bava et al., 2018; Dalla Riva et al., 2018; González-García, Castanheira, et al., 2013; González-García, Hospido, et al., 2013; Muller et al., 2014) debido a la falta de información en SimaPro, o a que no resultan ser un insumo representativo en la fabricación de queso, en esta investigación se decide incluirlos, o en su defecto crearlos, como fue el caso del cuajo microbiano. Para este caso fue necesario la creación de un nuevo proceso, donde se incorpora la producción del Ácido Benzoico y el Hidróxido de Sodio (NaOH), teniendo en cuenta que son compuesto utilizados en la elaboración de la sal conocida como Benzoato de Sodio que, sumado con el NaCl y el hongo, forman el cuajo. Además de esto, fue integrado dentro de este proceso la distribución de este producto, y el transporte de la materia prima, el hongo, sin incorporar proceso de fermentación.

Otro proceso que fue modificado fue el del detergente, del cual solo se conocía que era de tipo sódico, y se deduce que su elaboración está dada por la reacción química entre un ácido graso de carbonos entre 10 y 18, como el aceite de palma, y una base fuerte como la soda caustica (NaOH), con la proporción de 10/3, 3 Kg de NaOH por cada 10 Kg de aceite de palma (Spitz, 2016). Compuestos como el turpinal (usado para impedir la presencia de microorganismos en el producto) y los aromatizantes, no fueron contemplados debido a la baja representatividad con la que cuentan con respecto a la UF del queso, y a la cantidad de detergente usado. Procesos como el del aceite de palma, al ser la materia prima del jabón si fue modificada para Colombia. Finalmente, fueron seleccionado y

adaptado los procesos de producción de las aguas residuales de la en la elaboración de almidón de patata, como el vertimiento de suero de la fábrica de queso debido a la similitud de este tipo de residuos en cuanto a concentraciones

7.3 EICV del queso tipo cuajada

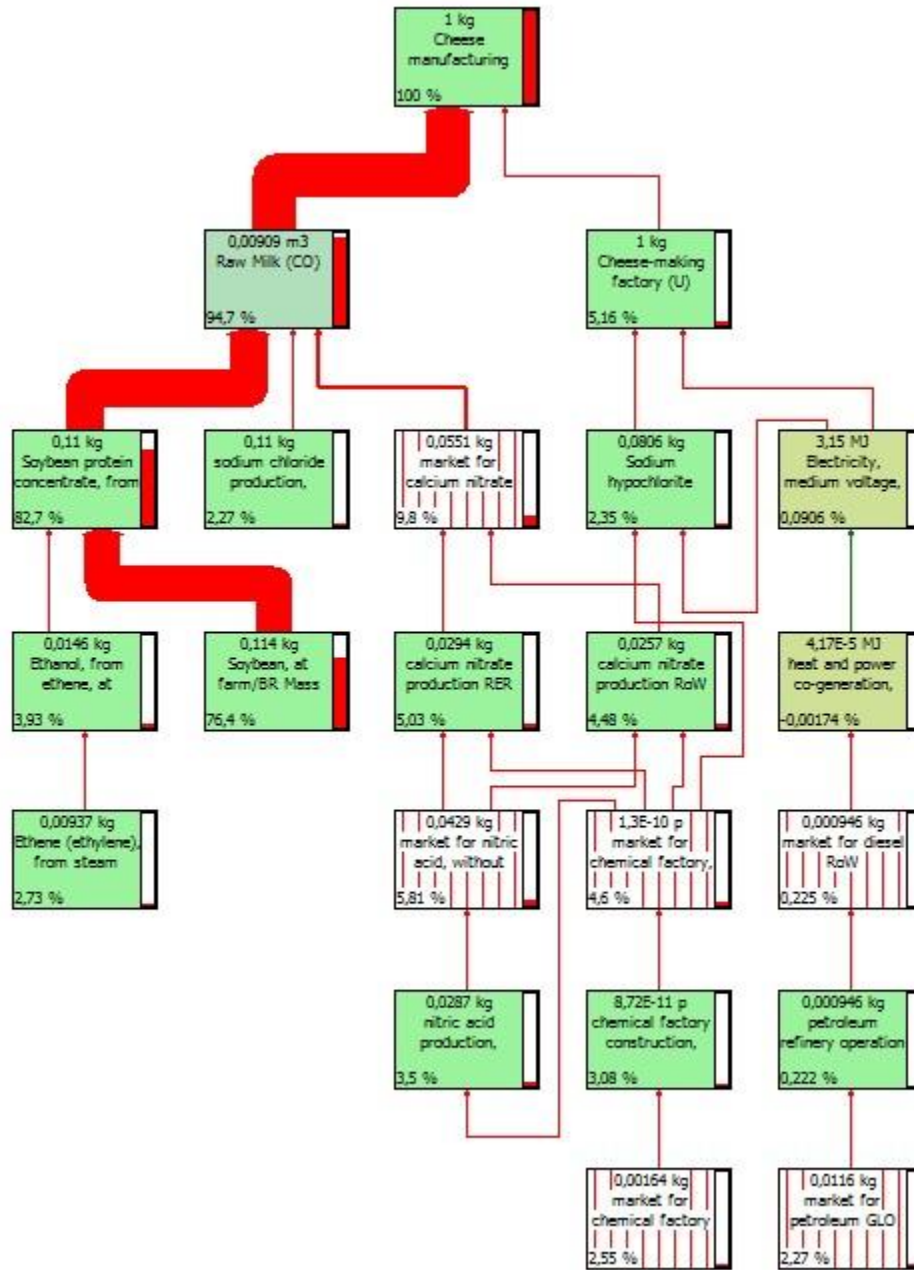
Para la Evaluación de los impactos ambientales de la producción de queso tipo cuajada, fue utilizado el método Eco-indicador 99 (H), el cual utiliza las categorías de impacto: I) cambio climático, II) disminución de la capa de ozono, III) efectos cancerígenos, IV) respiración de partículas inorgánicas, V) respiración de partículas orgánica, VI) radiación ionizante, VII) ecotoxicidad, VIII) acidificación/eutrofización, IX) uso del suelo, X) uso de minerales y XI) agotamiento de combustibles fósiles. Este método tiene la particularidad de enfocar su análisis de impacto en el daño causado por el producto o sus actividades, en vez de centrarse solo en las categorías (Muller *et al.*, 2014). Por eso, este método define tres tipos de daño ambiental: 1) **Salud humana**, en donde se incluye el número y duración de las enfermedades, y los años de vida perdidos por una muerte prematura debido a causas ambientales, integrando las primeras seis categorías mencionadas anteriormente. 2) **Calidad de ecosistemas**, en el cual se incluyen los efectos causados en la diversidad de especies, en los que se integran las siguientes tres categorías. Y por último, 3) **Recursos**, analizando el excedente energético necesario para que en el futuro se extraigan minerales y recursos fósiles de menor calidad, donde solo se considera las dos últimas categoría sobre agotamiento de minerales y combustibles fósiles (Ministry of Housig, 2000).

Entre los método utilizados para EICV del queso se encuentra DEA (Demanda de Energía Acumulativa) (Dalla Riva *et al.*, 2018), CML 2001(González-García, Hospido, *et al.*, 2013) y ReCipe Mindpoint (Santos *et al.*, 2017), los cuales tienen un enfoque “*mindpoint*” que pretende proporcionar indicadores para representar el daño ambiental como son el dióxido de carbono equivalente en la categoría de Cambio Climático, o los Clorofluorocarbonos para la categoría de Disminución de la Capa de Ozono, lo que dificulta la interpretación de los resultados (Dong & Ng, 2014). Solo Muller *et al.* (2014) adopta el enfoque “*endpoint*”, el cual toma los indicadores, como aquellos mencionados anteriormente y los transforma en categorías de afectación expresadas en AVADs, FPD.m2.yr y MJ.yr.

Por otra parte, fue utilizado el software SimaPro 8.2.0 no solo por ser utilizado en más del 50% de los artículos científicos expuestos en el estado del arte como Broekema & Kramer (2014), Dalla Riva *et al.* (2018), Kim *et al.* (2013) y Santos *et al.* (2017), también porque resulta ser uno de los de mayor participación en el mercado a nivel mundial, estando en el mercado por más de 50 años. Por otra parte, su popularidad estata dada por el sistema, el cual usa una matriz invertida que posee un algoritmo altamente eficiente que permite evaluar miles de procesos unitarios con solo un cálculo (Curran, 2012).

Teniendo en cuenta lo mencionado, los resultados serán expuestos por el software mediante dos maneras, un diagrama de red y luego en gráficas. En el caso del diagrama de red, es una representación de los procesos, las entradas y salidas más relevantes arrojadas por el software, teniendo en cuenta las cargas ambientales del sistema. Sumado a esto, se presenta una jerarquización del sistema productivo analizado en dos niveles, el primero que abarca el sistema de producción de queso suave tipo cuajada; y un segundo nivel donde se expone las tres etapas seleccionadas del sistema, el transporte, la producción de leche y queso, y el tratamiento de las aguas residuales de la finca (Hernández, 2014).

Figura 6. Diagrama de red del ciclo de vida del queso suave tipo cuajada desde la producción de la leche hasta el tratamiento de sus aguas residuales



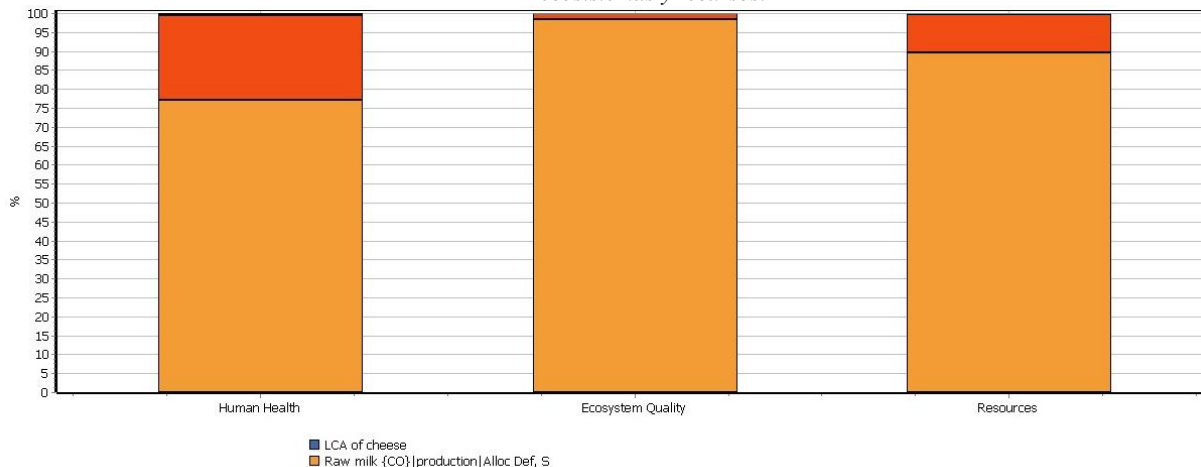
Fuente: Elaborado por este estudio

Teniendo en cuenta el diagrama mostrado en la Figura 6, valor de detalle de 2,2%, se evidencia que la leche representa más del 90% de las categorías de impacto en la producción de queso tipo cuajada, en donde el mayor aporte está dado por el alimento seleccionado por la finca, como es la soya. Seguidamente, la fábrica de queso es el segundo subsistema con mayor representatividad, abarcando un el 5,13% del daño ambiental del sistema completo, siendo en gran parte contribuido por el hipoclorito de sodio a una concentración de 5,25%; adicionalmente, el consumo de energía resulta ser un valor significativo en la cadena de producción a este nivel de detalle. Finalmente, el proceso de tratamiento

de los vertimientos de la fábrica, genera un impacto con una representatividad muy bajo para este valor de detalle.

Otra forma de representar los resultados del ciclo de vida de la cadena de producción del queso tipo cuajada es mediante el uso de gráficas que permite comparar los tipos de categorías de impacto con respecto a los subsistemas o procesos involucrados. Adicional a esto, es posible identificar la representatividad de cada una de ellas mediante la ponderación de los resultados. A continuación, se mostrará la caracterización de los tipos de categorías de impacto con respecto a los subsistemas definidos.

Gráfica 1. Caracterización del ciclo de vida del queso suave tipo cuajada con respecto a las categorías de salud humana, calidad de ecosistemas y recursos.

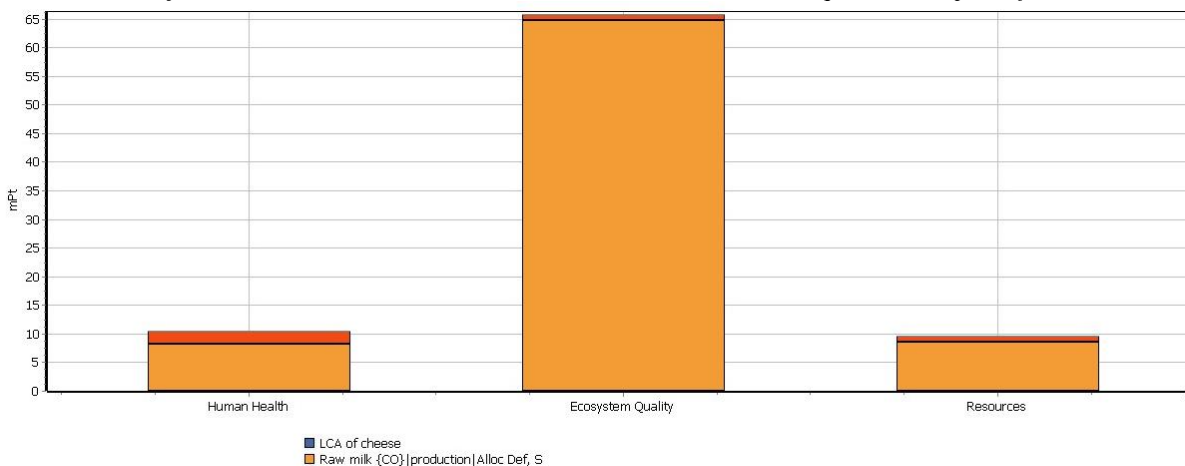


Analizando 1 kg 'LCA of cheese'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Evaluación del daño

Fuente: Elaborado por este estudio

La Gráfica 1 proporciona una mejor visualización del impacto ambiental aportado por la producción de leche, en especial en la calidad de ecosistemas y los recursos, mientras que la fábrica de queso tiene una importante participación en la salud humana. En esta figura, al igual que la Gráfica 2, presentada a continuación, no se presenta impacto ambiental representativo del tratamiento de las aguas residuales.

Gráfica 2. Ponderación de la evaluación del daño del ciclo de vida del queso suave tipo cuajada



Analizando 1 kg 'LCA of cheese'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Ponderación

Fuente: Elaborado por este estudio

Sin embargo, al ponderar los resultados obtenidos en la Gráfica 1, se observa en la Gráfica 2 un gran daño ambiental en la calidad de los ecosistemas a comparación de la salud humana y recursos. Cabe destacar nuevamente, al igual que en el diagrama expuesto en la Figura 6, la producción de la leche cruda abarca casi por completo estas tres categorías. No obstante, el impacto de la fábrica hacia la salud humana debe ser un punto de análisis al momento de llevar a cabo la sensibilidad de los resultados.

Como era de esperarse, la producción de leche aporta las mayores impactos ambientales a la producción de queso, aun así, esto no solo ocurre con este derivado lácteo, ya que autores como Flysjö (2012), afirman que la leche contribuye al 70 – 90% del total de gases efecto invernadero a productos como el yogurt, el helado, la mantequilla, entre otros, siendo en su mayoría debido de procesos biológicos como la de digestión del alimento, el estiércol y la ocupación del suelo, pero no específicamente del alimento utilizado. Asimismo, Finnegan *et al.*, (2017) considera que los procesos de fermentación y de elaboración de los fertilizantes engloban gran parte de los impactos, pero actividades las concentraciones del alimento puede ser una variable clave para la reducción de los impactos de la ganadería lechera.

El aporte de este último autor, es importante debido a que normalmente se le atribuye a las procesos de la ganadería impactos por el uso de herbicidas, insecticidas y antibióticos, y no se consideraba importante el alimento como una fuente de contaminación ambiental, lo que resulta ser un valor novedoso para este tipo de estudio (Guzmán & Gutierrez, 2016). Cabe destacar que el alimento es un factor fundamental al momento de buscar oportunidades para reducir los valores de las categorías de impacto, gracias a que es una variable que se puede controlar en la finca, a diferencia de los procesos biológicos de los animales y de la producción de los fertilizantes, por lo que debe ser una variable a tener en cuenta, en el que se deben considerar si es comprado por los ganaderos, o elaborado por ellos, además de las concentraciones de cada uno de los ingredientes que lo componen y su procesamiento, ya que todos estos generan una gran aporte a la categoría de uso de suelo (Broekema & Kramer, 2014)

En el caso de la soya, sus mayores impactos están dados en su proceso productivo, debido al consumo de recursos no renovables como el gas natural y etanol, los cuales son utilizados para reducir el contenido de oligosacáridos de la soya, y así aumentar la concentración de proteína del alimento, y por ende, el nivel energético que es brindado al animal. Sumado a esto, la plantación de este tipo de alimento requiere de la ocupación y modificación de grandes hectáreas de bosque, lo que justifica el impacto tan grande (82,7%), y más aún cuando a la ganadería se le atribuyen el uso de más del 30% del suelo mundial (Guzmán & Gutierrez, 2016).

Por otra parte, en temas de alimento, las dietas a base de soya no justifican su uso con respecto al daño ambiental y su aporte nutricional, ya que este alimento no contienen naturalmente la enzima fitasa, una proteína que cataliza el proceso de digestión en los rumiantes para la liberación de fosforo, gracias a la descomposición del ácido fítico (un ácido orgánico que se presenta en la plantas). La falta de esta enzima, no solo dificulta el proceso de digestión de los animales, también hace que sea un alimento con bajos niveles nutricionales aprovechados por los rumiantes (IFIF & FEFANA, 2015).

Como segundo subsistema de la cadena de producción de queso se presenta la fábrica de queso en el cual se esperaba un mayor aporte en el consumo de electricidad (Finnegan, 2017; Kim *et al.*, 2013), pero fue hipoclorito de sodio el de mayor relevancia. Por otra parte, otras variables que se consideraban relevantes al evaluar el ciclo de vida de la cuajada era el transporte de los insumos a la fábrica, especialmente el de la leche, por el hecho de requerir camiones de con un sistema de refrigeración para su conservación (Bava *et al.*, 2018), aunque no representan más del 10% de todo el ciclo de vida en las distintas categorías de impacto, ya que la leche llega a ocupar entre el 60% de una categoría, como el

consumo de energía eléctrica (González-García, Hospido, *et al.*, 2013) hasta el 100%, como en la acidificación (Palmieri *et al.*, 2017).

En cambio, la fábrica de queso obtuvo una representatividad de 5,16%, en su mayoría por el uso del hipoclorito de sodio, siendo superior al consumo de electricidad el cual representó únicamente el 0,09% de todo el sistema. Este resultado puede verse en investigaciones como la de Cashman *et al.* (2014), donde reconocen que el hipoclorito de sodio solo puede llegar a constituir máximo hasta el 6% del total de la carga ambiental cuando es utilizado como desinfectante, aunque cuando es evaluado detalladamente se encuentra que tiene un fuerte impacto en la salud humana, siendo uno de los aspectos más importantes al analizar un ACV mediante el método de Eco-indicador 99. Ya entrando en materia de producción del NaClO, Euro Chlor una de la empresas más importante en la producción de desinfectantes en Europa, mediante un estudio de ACV determino que la elaboración de este compuesto químico requiere de un alto consumo de energía y de recursos renovables y no renovables, superando a de otros compuesto como el hidróxido de sodio, al obtener valores de 39,6 MJ y 15,8 MJ respectivamente para la producción de 1 Kg de producto, por lo que puede ser un factor importante al momento de incorporarlo al procesos productivo del queso (Euro Chlor, 2016).

Este resultado no se presentada en ningún estudio sobre ACV revisado de este derivado lácteo, principalmente porque no es un producto que sea implementado por las fábricas de queso para la desinfección del lugar, ya que normalmente es usado ácido nítrico. La única investigación que fue encontrada en las bases de datos seleccionadas, en el que era utilizado cloro para cumplir la función de eliminar patógenos fue la elaborada por Muller *et al.* (2014), quien compara los impactos ambientales de la producción de queso en una fábrica industrial y otra artesanal, obteniendo como resultado para el segundo procesos de manufactura que en el sistema global en la fábrica los procesos de iluminación, empaçado y bombeo²⁴ de la leche como los de mayor impactos debido al uso de combustibles fósiles, y menciona que los agentes de limpieza no resultan ser significativos en el ACV de este tipo de queso. A saber, para el tipo de queso analizado no presenta ninguno de los procesos que fueron relevantes para el autor citado anteriormente, y a causa de esto, las categorías de impacto fueron atribuidas al hipoclorito de sodio.

Por otra parte, en cuanto al consumo de electricidad por parte de la finca, resultó solo 0,09% de todo el sistema. Este consumo únicamente está dado por las neveras de almacenamiento utilizadas en la finca y el punto de venta del producto, dado a que es un proceso artesanal, en donde no se existe una fase que posea un consumo de electricidad significativos como el de pasteurización de la leche, de agitación o de prensado, lo que ocasiono fuera muy bajo esta variable, aunque relevante para ese nivel de detalle seleccionado. González-García, Hospido, *et al.* (2013), afirman que la electricidad es un punto crítico durante el ciclo de vida del queso al momento de evaluar los impactos desde la recepción de la leche hasta su distribución, por lo que afirma que un ACV para este producto debe contar con un análisis individual de la fábrica, dejando de lado la producción de la leche.

Finalmente, el tratamiento del agua residual representa el 0,14% del total de daño ambiental del ciclo de vida del queso. Este porcentaje tan bajo se debe a que en la finca es aprovechado, más de 90% del total de suero obtenido en la elaboración de queso, puesto que poseer valores nutricionales muy altos que son beneficiosos para los animales de la granja, por la calidad de las proteínas de este líquido. A pesar de que este macronutriente solo constituye entre el 18% y 20% del total de suero, cuenta con proteínas como beta-lactoglobulina, alfa-lactoalbúmina, albúmina de suero sanguíneo y

²⁴ En el artículo de Muller et al. (2014), este proceso consiste en el proceso de mezclado de la leche con la levadura mediante mangueras en un tanque que recepciona estos dos productos

inmunoglobulina, las cuales tienen alta capacidad para proporcionar nitrógeno en un patrón equilibrado de aminoácidos esenciales y no esenciales, por lo que posee una eficiencia proteica de 3,5, a diferencia de proteínas como la caseína que está contenidas en la leche de 2,6 (Hernández & Vélez, 2014).

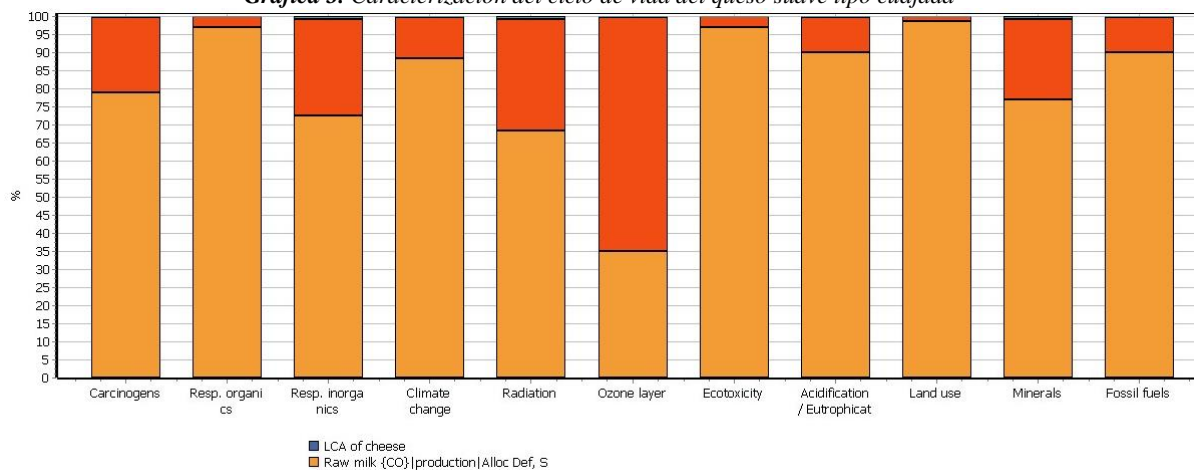
Varios autores han incorporado este sistema en la producción de queso, presentando valores similares. González-García, Castanheira, *et al.* (2013), encontraron que el tratamiento de todos los residuos de la fábrica, como el empaque y los vertimientos, representan menos del 1% de la categoría de impacto conocida como uso del suelo; mientras que González-García, Hospido, *et al.* (2013) identificaron un aporte de casi el 10% de la categoría de calentamiento global, pero los dos autores obtuvieron valores menores al 1% de los resultados globales. Más adelante, Dalla Riva *et al.*, (2018) al igual que los autores anteriores afirma y encuentra que este proceso no presenta un daño significativo cuando se cuándo se analiza el sistema global Sin embargo, para llevar a cabo un análisis más detallado se expone a continuación una gráfica del sistema productivo con respecto a las categorías de impacto.

7.4 Interpretación de ciclo de vida del queso tipo cuajada

Teniendo en cuenta la ISO 14043, esta fase del ACV busca identificar, calificar, revisar y evaluar los resultados obtenidos en el ICV y EICV, para facilitar la creación de información base para la formulación de conclusiones y recomendaciones. Por lo tanto, para esta etapa, serán identificados aquellos asuntos significativos del ciclo de vida del queso suave tipo cuajada, y de esta manera, elaborara el análisis de sensibilidad de los datos, para luego crear los escenarios alternativos de mejora en la fabricación del queso suave tipo cuajada.

Para comenzar con esta fase de interpretación del ciclo de vida, se tendrá como base las categorías de impacto proporcionadas por el método de evaluación Eco-indicador 99, divididas en Salud humana, Cambio climático y Recurso. Para ello se presentó en primera instancia el gráfico general del aporte de cada uno de los subsistemas seleccionado, y su aporte a cada una de las categorías de impacto.

Gráfica 3. Caracterización del ciclo de vida del queso suave tipo cuajada



Analizando 1 kg 'LCA of cheese'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

Fuente: Elaborado por este estudio

Nuevamente, gracias a la Gráfica 3, se corrobora que la leche aporta el mayor porcentaje de casi todas las categorías de impacto, además de que la planta de tratamiento no posee una representación evidenciable en el sistema completo. Al evaluar el sistema completo, se identifica que la leche aporta más del 50% de todas las categorías de impacto, menos en la disminución de la capa de ozono, donde el mayor aporte es de la fábrica de queso. Esta última, aporta más del 20% a efectos cancerígenos,

respiración de partículas orgánica, radiación ionizante y uso de minerales y suelo. El análisis y discusión de estos resultados se llevará a cabo a profundidad en el sub capítulo 7.4.1.

7.4.1 Identificación de puntos críticos

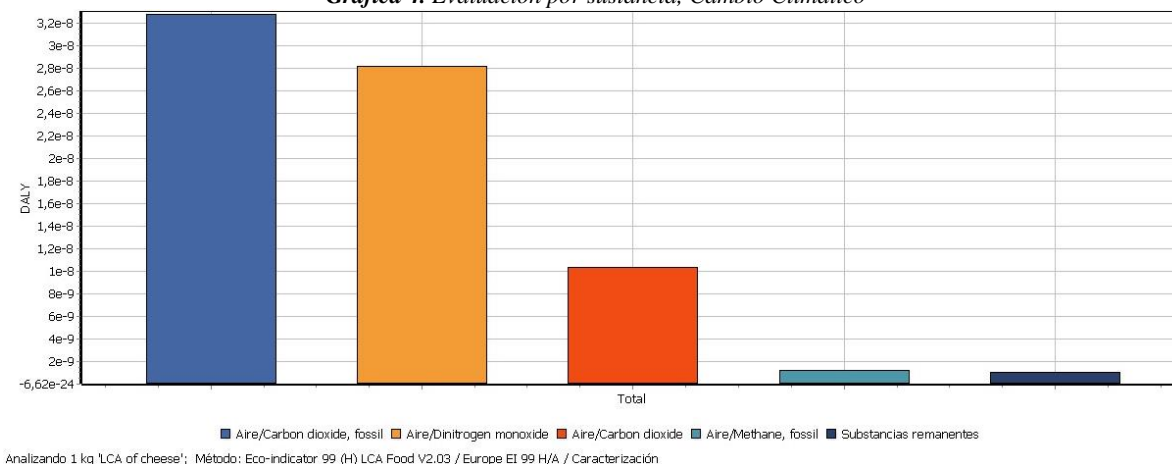
Antes de precisar los puntos críticos del ciclo de vida del queso tipo cuajada, se analizarán cada una de las categorías de impacto y aquellas sustancias relevantes. No obstante, Eco-indicador 99 evalúa estas sustancias mediante el uso de una unidad específica para cada tipo de daño, siendo una medida de estandarización de todos los valores, representada en el eje-y- de todas las gráficas proporcionadas por SimaPro que se presentarán a continuación. Otro concepto suministrado por SimaPro 8.2.2.0.0 es el de “sustancias remanentes”, las cuales hacen referencia a la suma de todas las otras sustancias no incorporadas en él, por lo tanto, se buscará que aquellas sustancias seleccionadas representan la mayor proporción de la categoría.

7.4.1.1 Salud humana

Las unidades utilizadas para este tipo de daño es el de DAILY (Disability Adjusted Life Years) o Años de Vida Ajustados por Discapacidad (AVAD), el cual expresa los años perdidos de una persona producto de una discapacidad, enfermedad o muerte prematura, es decir, 1 AVAD hace referencia a un año de vida perdido de una persona. Esta es una unidad normalmente utilizada por el Banco Mundial y la Organización Mundial para la Salud (Ministry of Housig, 2000).

I. Cambio climático

Gráfica 4. Evaluación por sustancia, Cambio Climático



Fuente: Elaborado por este estudio

Las principales sustancias que aportan a esta categoría son el dióxido de carbono (58,7%), el óxido de nitrógeno (38,3%) y metano (1,7%), siendo la producción de leche el subsistema con una mayor incidencia en la emisión de estos gases, siendo resultados similares a los obtenidos en las investigaciones de Berlin (2002), Doublet et al. (2013) y Kim et al. (2013). En el caso del dióxido de carbono este es producido por el consumo de fuentes fósiles (44,6%), que se presenta principalmente por la distribución de los insumos o productos durante todo el ciclo de vida (Guzmán & Gutierrez, 2016). Por otra parte, el aporte de óxido de nitrógeno estuvo dado principalmente por el uso de fertilizantes, es especial del fertilizante Triple 15, siendo un resultado particular debido a que autores como Kim et al. (2013) sugiere que el manejo del estiércol de las vacas resulta ser una la fuente más representativa de este gas. Por último, el las emisiones de metano, aunque solo representó en 1,7% de

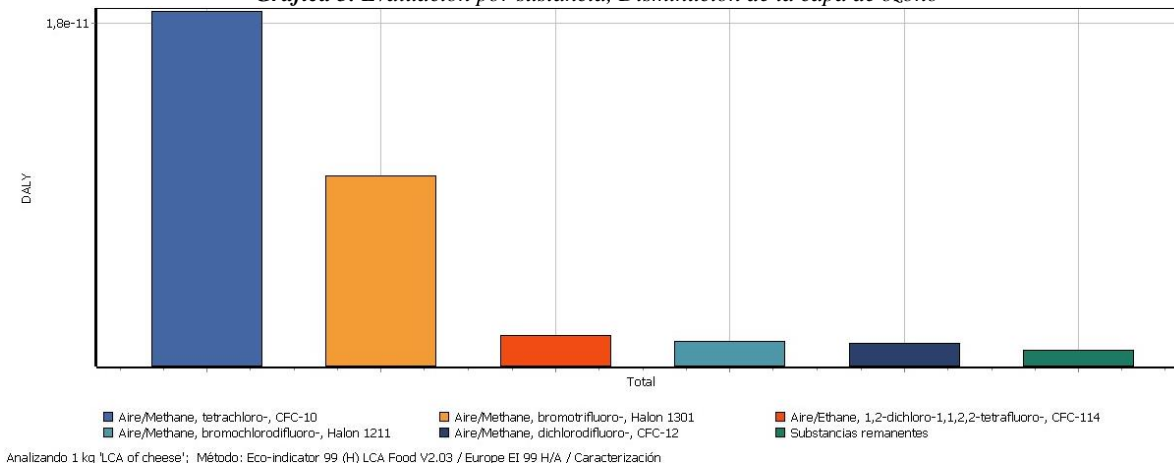
total del impacto para esta categoría, es un gas originado a causa del rompimiento de la celulosa por acción de las bacterias en el tracto digestivo de los animales de la granja (Berlin, 2002).

En general, el cambio climático es considerado como un impacto potencialmente dañino para la salud humana, debido al aumento de temperatura en ciertas zonas, ocasionando olas de calor, las cuales aumentan en un 85% la probabilidad de muerte de cualquier individuo. Sumado a esto, la contaminación del aire puede ocasionar daño en el tejido pulmonar por la presencia de ozono en concentraciones mayores a las habituales, o se presenta una alteración en el sistema de defensa de cuerpo humano hacia sustancias externas solo por la respiración de material particulado (Patz *et al.*, 2000).

Uno de los gases que en mayor medida es reconocido como causante del cambio climático es el dióxido de carbono generado por procesos de combustión. No obstante, es un gas que puede ocasionar una serie de efectos, dependiendo de las concentraciones a las que se están expuestas. Estas implicaciones pueden llegar a ser una sustancia anestésica, generando la depresión del sistema nervioso central, impidiendo la conducción nerviosa en el cuerpo generando una falta de control de las funciones motoras; hasta efectos tóxicos como ataques cardiacos, o repercusiones letales como acidosis, una concentración anormal de ácidos en los tejidos en la sangre (Rice, 2004).

II. Disminución de la capa de ozono

Gráfica 5. Evaluación por sustancia, Disminución de la capa de ozono



Fuente: Elaborado por este estudio

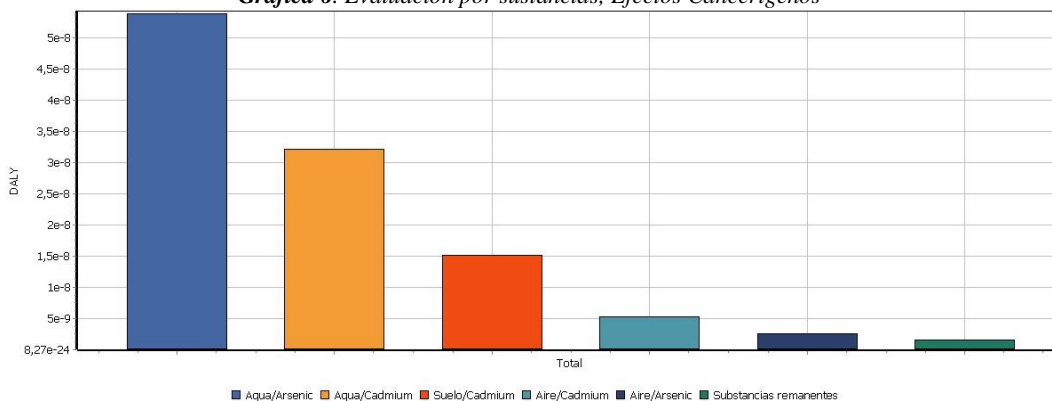
Entre las sustancias que presentan un potencial de disminución de la capa de ozono se presentan el tetracloruro de metano, el bromotrifluoruro de metano, el 1,2 dicloruro-1,1,2,2, el tetrafluoro de etano y el diclorodifluoro metano. De los compuestos orgánicos mencionados anteriormente, el tetracloruro de metano representa más del 50% del total de las emisiones, siendo aportado en un 98% por la fábrica de queso, especialmente por el uso de NaClO como agente desinfectante, ya que es una sustancia fácilmente evaporable, utilizado como ingrediente para la elaboración en elementos de limpieza de hogares. Autores como Dalla Riva *et al.* (2018), también reconocen a la fábrica de queso como el subsistema con mayores aporte a la capa de ozono, atribuido al consumo de energía y combustibles para el funcionamiento de la maquinaria o el transporte de la leche, siendo variables que no se presentan en este proceso.

El tetracloruro de metano es un compuesto de origen antropogénico y reconocida como una sustancia que agota la capa de ozono, lo que la hizo acreedora de entrar en el Protocolo de Montreal sobre la

disminución de los compuestos clorofluoro carbonados (CFE). Inicialmente fue utilizado como un solvente para la elaboración de extintores, fertilizantes y refrigerante, pero al ser un gas que llega a la estratosfera permaneciendo entre 26 a 35 años, destruyendo la capa de ozono al estar en contacto con la radioactividad (Graziosi *et al.*, 2016). A saber, según la ATSDR (2005), el tetracloruro de metano o tetracloruro de carbono, al ser inhalado entra al cuerpo humano atacando especialmente al hígado y al riñón, impidiendo su funcionamiento habitual.

III. Efectos cancerígenos

Gráfica 6. Evaluación por sustancias, Efectos Cancerígenos



Analizando 1 kg 'LCA of cheese'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

Fuente: Elaborado por este estudio

Entre las sustancias cancerígenas de mayor presencia en el ciclo de vida del queso tipo cuajada se encuentra la emisión de arsénico (48,7%) y cadmio (29%), como los principales elementos, en su mayoría presentes en el agua. En menor proporción el cadmio puede presentarse en el suelo (13,7%) y aire (4,8%), a diferencia del arsénico que solo se presenta en la atmosfera. En contraste con la categoría anterior, la producción de leche es el subsistema con una incidencia de casi el 79% de los resultados de las categorías de impacto, producto del uso de plaguicidas y fertilizantes para la obtención del alimento.

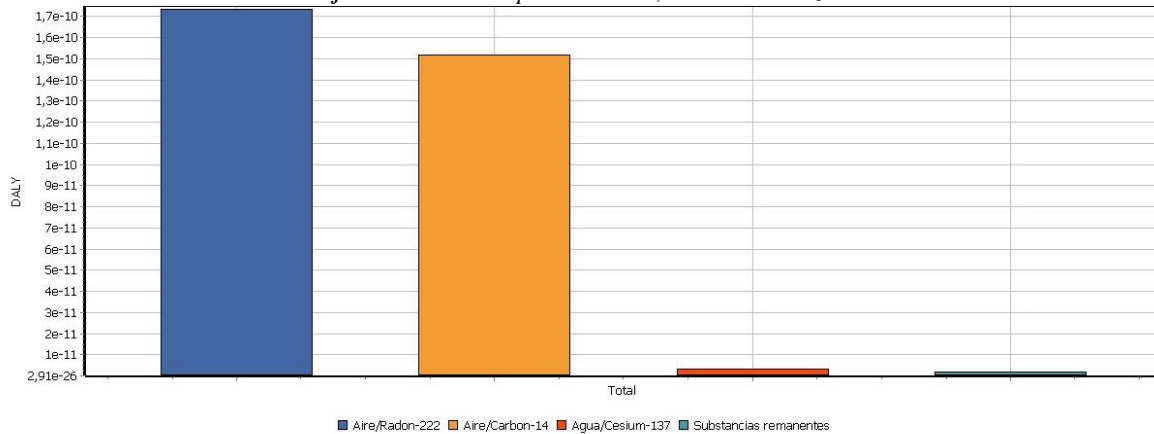
Doublet *et al.* (2013) no reconoce ni al arsénico ni al cadmio como los principales elementos causantes de cáncer, este autor afirma que para esta categoría de impacto las emisiones de cromo son las de mayores repercusiones. En vista de esto, se identifica que las emisiones de sustancias cancerígenas depende del contenido de metal en el fertilizante, ya que para el autor previamente citado tenía como insumo un fertilizante a base óxido ferroso III con la presencia de cromo en su composición; a diferencia del fertilizante utilizado para la elaboración de soya el cual posee altas concentraciones de arsénico y cadmio (Rodríguez Ortiz *et al.*, 2014). A pesar de esto, Kim *et al.* (2013) atribuye estas sustancias a los desechos de minería de carbón y eliminación de cenizas en la cadena de suministro de electricidad. Esto permite deducir la importancia de adaptar la matriz energética de cada país a los respectivos proceso, para este caso en específico Kim *et al.* (2013), realiza esta investigación en EE.UU, un país donde la matriz energética es totalmente diferente a la de Colombia, donde el uso de carbón para generar energía es menor al 13% (ver Tabla 3).

En cuanto a las implicaciones a la salud, el arsénico a con concentraciones de 100 µg/L en el agua puede llegar a formar cáncer pulmonar por la ingesta de este recurso contaminado (Celik *et al.*, 2008); y adicional a esto organizaciones como la IARC y la EPA, clasifican el arsénico como una sustancia cancerígena en su forma inorgánica (Hughes, 2002). Por otra parte, el cadmio en el agua presenta una mayor complejidad ya que esta disuelto en partículas de forma orgánica o inorgánica, y a

concentraciones de 5 µg/L, por lo que podría llegar a ser muy tóxico para la salud humana; mientras que en el suelo, el cadmio se adhiere a los alimentos, que luego son ingeridos por los seres humanos, lo que facilita la llegada de este elemento a órganos como el hígado, pulmones, sistema cardiovascular o al sistema musculoesquelético (Roberts, 2014), y en el caso en el que se llegue a presentar un consumo de 10 µg al día aumentan las posibilidades de contraer cáncer de pulmón o de próstata (Yaacoubi *et al.*, 2014).

IV. Radiación ionizante

Gráfica 7. Evaluación por sustancias, Radiación Ionizante



Analizando 1 kg 'LCA of cheese'; Método: Eco-Indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

Fuente: Elaborado por este estudio

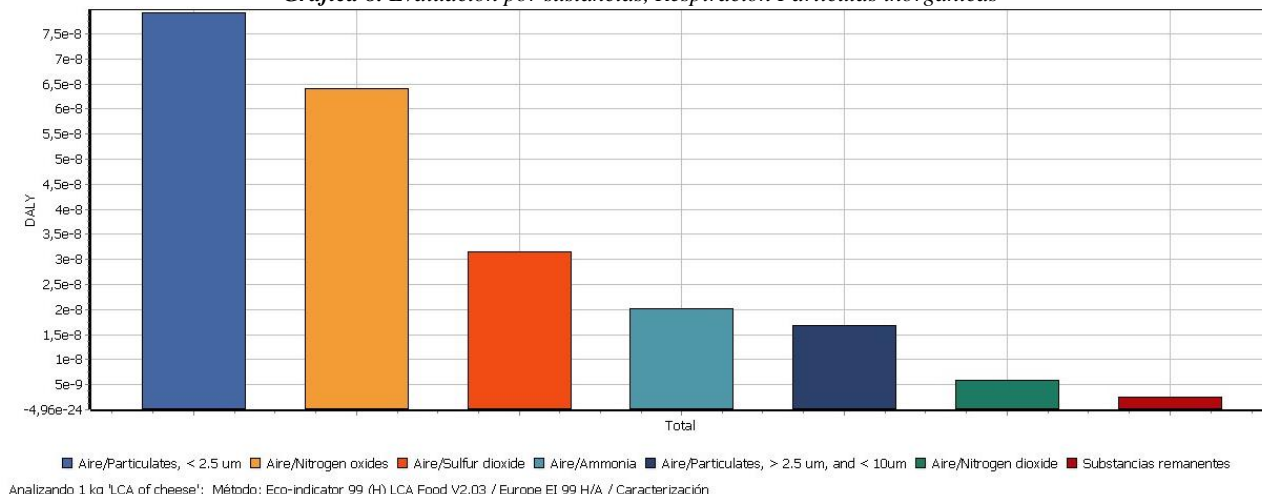
El 98,4% de las emisiones están dadas por Radón - 222 y Carbón - 14, donde se destaca nuevamente la producción de leche, representando más del 50% de la producción de estos dos gases radioactivos (Gráfica 7), fundamentalmente por el uso del fertilizante Triple 15, seguido por el suplemento alimenticio Distrisal y por último la elaboración de la soya. A saber, el radón es un gas radioactivo que se reconoce como la segunda causa de cáncer de pulmón, seguido del tabaco, el cual es generado cuando son emanadas del suelo al aire partículas de este elemento, generando que aumente la probabilidad de ser inhalado por el ser humano o animales, al llegar a las vías respiratorias de estos y perjudicando su ADN (OMS, 2016). Estos suelos cuando son fertilizados, en especial con fosfatos, presentan una mayor probabilidad de liberar radón debido a que una de las materias primas para obtener los fosfatos son las sustancias radionucleicas (elementos con un nucleído inestable que emite radiaciones ionizante), siendo una de las más habituales, el radón (Hegedüs *et al.*, 2017). De igual forma, el carbono - 14 es uno de los radioisótopos utilizados para la producción de fertilizantes al igual que el fósforo 32 y nitrógeno 13, los cuales también son aplicados al suelo, y por ende al aire, y al inhalarlo genera un daño celular, al igual que el radón (Chauhan & Pal, 2014).

A pesar que las mayores emisiones de esta categoría están dadas por la producción de leche, Muller *et al.* (2014) le atribuye el 30% de participación de la fábrica de queso en esta categoría por el uso de refrigerantes en los procesos de almacenamiento del queso. Siendo el único autor que incorpora dentro de su evaluación esta categoría, ya que autores como Broekema & Kramer (2014) decidieron excluirla al no proporcionar valor a los resultados con respecto a su objetivo, al ser descartado por la comisión que ordena la ejecución de su investigación; y a la falta de información con respecto a los tipos de plaguicidas y fertilizantes utilizados, además de su forma de aplicación. En resumen, es una categoría que pocas veces es utilizada al momento de evaluar los impactos ambientales de la elaboración de queso, siendo de vital importancia al ser uno de los compuestos en la fabricación de insumos como

fertilizantes o herbicidas, aun así sigue siendo una categoría que es descartada por tener una relevancia muy limitada en la producción de los fertilizantes (Hasler *et al.*, 2015).

V. Respiración de partículas inorgánicas

Gráfica 8. Evaluación por sustancias, Respiración Partículas inorgánicas



Fuente: Elaborado por este estudio

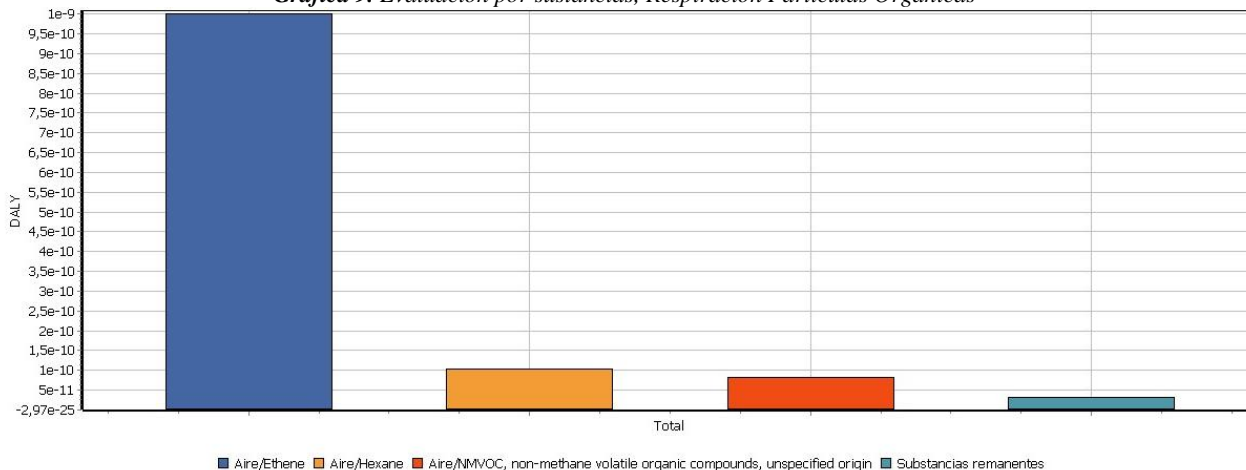
Las principales emisiones causadas por la cadena de producción del queso suave tipo cuajada es el material particulado (MP) menor a 2,5 μm , luego de óxido de nitrógeno, seguido dióxido de azufre, amonio, MP 2,5 - 10 μm y, por último, el dióxido de nitrógeno, representando 36%, 29,1%, 14,3%, 9,1%, 7,6% y 2,7% de esta categoría de impacto, respectivamente (Gráfica 8). De aquí, la producción de los fertilizantes presenta las mayores emisiones de este tipo de contaminantes atmosféricos, luego debido al alimento utilizado por la finca, y en seguida el uso de hipoclorito de sodio y jabón sódico por la fábrica de queso. Cabe destacar que la granja abarca el 100% de las emisiones de amonio producto de la ganadería, y más específicamente, al manejo de las heces fecales, la orina y el estiércol (abono de materias orgánicas), además de la fermentación entérica del animal (procesos digestivos de los animales para la descomposición de los carbohidratos). Asimismo, estas actividades repercuten en la emisión del dióxido de nitrógeno (95%) y óxido de nitrógeno (86%) (Gonzalez-García, Hospido *et al.*, 2013).

Contrariamente, al hablar de MP 2.5 se hace referencia a partículas que pueden estar suspendidas por largos periodos de tiempo en la atmosfera, generando una mayor probabilidad de ser inhalados, y de ahí, pasar directamente a través del tracto respiratorio de los seres hasta los alveolos, diseminándose hacia otros órganos fuera de los pulmones, causando enfermedades, directamente relacionadas con problemas cardiovasculares (Zhou *et al.*, 2018). Este tipo de emisiones está dado por procesos industriales en la producción de los fertilizantes, el hipoclorito de sodio, el jabón sódico y el suplemento a base de sal que se suministra en la finca, aunque autores como, Chen *et al.* (2017) sugiere que este tipo de emisiones también puede estar dado el por el proceso de arado del suelo, en este caso de las plantaciones de soya y aceite de palma. Por otro lado, en el caso de los óxidos de nitrógeno y azufre están dados por el uso de fertilizantes para la producción del alimento de los animales y la siembra de palma de aceite. Mohd *et al.* (2015), afirma que en las plantaciones de palma de aceite puede ser un factor significativo para la emisión de óxido de nitrógeno, al igual que González-García, Hospido *et al.* (2013) quien lo plantea pero para la producción de alimento, en ambos casos está dado gracias al uso de estos fertilizantes a base de nitrógeno, que al entrar en contacto con el suelo, por los

ciclos biogeoquímicos de este elemento, se presentan las mayores emisiones de estos gases en los procesos de nitrificación y desnitrificación (Schrier-Uijl *et al.*, 2013).

VI. Respiración de partículas orgánica

Gráfica 9. Evaluación por sustancias, Respiración Partículas Orgánicas



Analizando 1 kg 'LCA of cheese'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

Fuente: Elaborado por este estudio

Las partículas orgánicas más emitidas por la cadena de producción de queso tipo cuajada son en un 82% de etano, aunque también se presenta de Hexano (8,6%) y de compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (COVDM) (6,7%) (Gráfica 9). No obstante, la participación de los subsistemas de la fábrica de queso y el tratamiento de las aguas residuales representan solo el 3% del total de esta categoría de impacto, siendo el subsistema de la producción de la leche abarca el 97% del total del sistema para esta categoría, y el 99,7 % de la generación de etano, 89,7% de hexano y 82,3 de COVDM.

Indagando en el diagrama de red para esta categoría se presenta en la producción de soya, más específicamente en la fabricación de etanol, ya que este alcohol es utilizado como un solvente de extracción para obtener el concentrado de proteína de este alimento (Agri-footprint 2.0, 2015b). A saber los solventes de tipo alcohol, mediante un método conocido como “extracción solido – liquido” o ESL, buscan la separación de un compuesto de interés, en este caso, la proteína, ya sea para su cuantificación (Correa *et al.*, 2017) o extracción (Sánchez *et al.*, 2015). Capellini *et al.* (2017), sugiere que el uso de etanol genera menor impactos ambientales, a diferencia de otros solventes como el hexano. De todas formas para la obtención de etanol se tiene como materia prima el etano un GEI que cuenta con un punto de ebullición muy bajo, por lo que es un gas en casi todas las condiciones del ambiente, lo que facilita su acumulación en la cadena alimentaria, llegando a ser moderadamente tóxico en organismos acuáticos (HSDB, 2018).

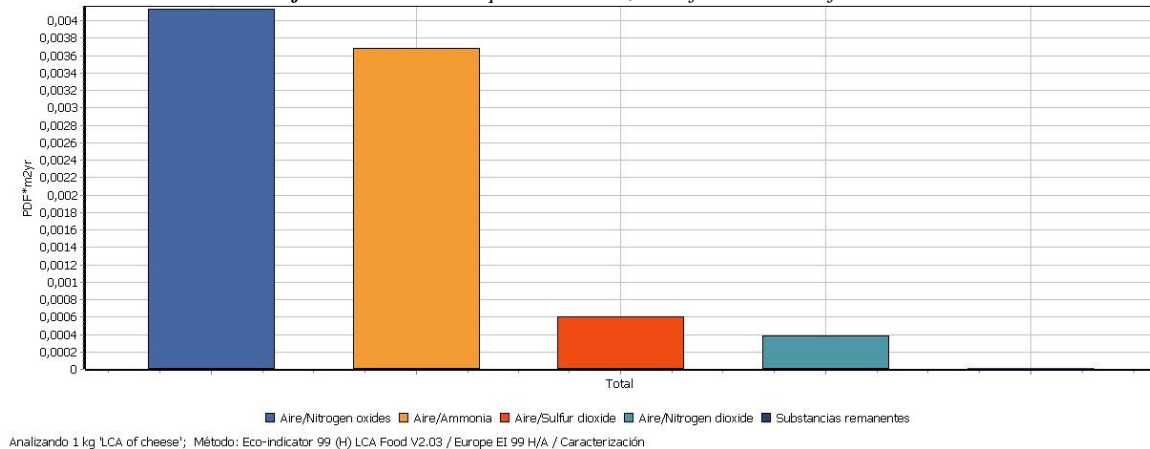
7.4.1.2 Calidad de ecosistema

Las unidades utilizadas para este tipo de daño son PDF.m2.yr (Potentially Disappeared Fraction of species over a certain area over a certain time) o Fracción de especies potencialmente desaparecidas en un área determinada durante un tiempo determinada. Esta unidad consiste o puede ser interpretada como la fracción de especies que tienen una alta probabilidad de no presentarse en una región debido a condiciones desfavorables causadas por la acidificación, eutrofización, ecotoxicidad y uso del suelo.

VII. Acidificación/Eutrofización

Eco-indicador 99, a diferencia de otros métodos de EIA como el CED o ReCiPe, toman las categorías de acidificación y eutrofización en una sola debido a que su objetivo es determinar el porcentaje de plantas que es probable que desaparezcan (Ministry of Housig, 2000). Para esta categoría de impacto, la generación de óxidos de nitrógeno en la totalidad del sistema alcanzó el 46,9%, siendo gran medida por las actividades ganaderas (86,4%); el amonio con un 41,8% fue la segunda sustancia emitida en mayor proporción, siendo nuevamente gracias a la ganadería (95,2%), representado en el uso de (Gráfica 11). Por otra parte, entrando en materia de procesos, las actividades de producción de la soya son las más representativas al hablar de acidificación/eutrofización con un 44,3%, mientras que el uso y producción del fertilizante es de 41,4%. Con respecto a la fábrica de queso, esta tuvo una incidencia superior del 10% para esta categoría en la concepción de óxidos de nitrógeno (13,2%) y dióxido de azufre (23,4%), debido al uso principalmente del hipoclorito de sodio. Cabe recalcar que la emisión de estas sustancias se da al aire.

Gráfica 10. Evaluación por sustancias, Acidificación/Eutrofización



Fuente: Elaborado por este estudio

En cuanto a la generación de los distintos compuesto, Finnegan *et al.* (2017) afirma que la emisiones de óxidos de nitrógeno en la ganadería se presentan por los procesos de combustión en los vehículos que participan en este subsistema, ya sea en el transporte y distribución de los insumos o de productos a la finca o dentro de ella, y en este caso se identifica en las plantaciones de soya. Mientras que en la emisión de amonio, Doublet *et al.* (2013) menciona que el uso y producción de los fertilizantes nitrogenados como el Triple 15 puede generar la presencia de este gas, además de gases con contenido de nitrógeno. Finalmente, en la producción de dióxido de nitrógeno, fue un proceso que en su totalidad fue causado por la ganadería, al ser un gas que se volatiliza por la pérdida de nitrógeno en el estiércol (Hristov *et al.*, 2013)

En las categoría de impacto de acidificación y eutrofización Doublet *et al.* (2013) obtiene como principales sustancias contribuyentes a estos indicadores el amonio por la cría de los animales y la aplicación del estiércol en el suelo; además de los óxidos de nitrógeno, no solo por el uso de combustibles fósiles, también por el empleo del estiércol como abono; aunque determina el factor más importante para la emisión de estos dos gases por la utilización de fertilizantes nitrogenados al suelo. En el caso del amonio, es una sustancia que se encuentra naturalmente en el aire y suelo en concentraciones de 1 – 5 ppb, y en el agua a menos de 6 ppb (ATSDR, 2004), y al presentarse un aumento de estas, en el caso del aire podría generar un daño en la plantas, en el agua, creando un ambiente toxico para el desarrollo de vida de los animales y las plantas (SEPA, s.f.). Encima, los

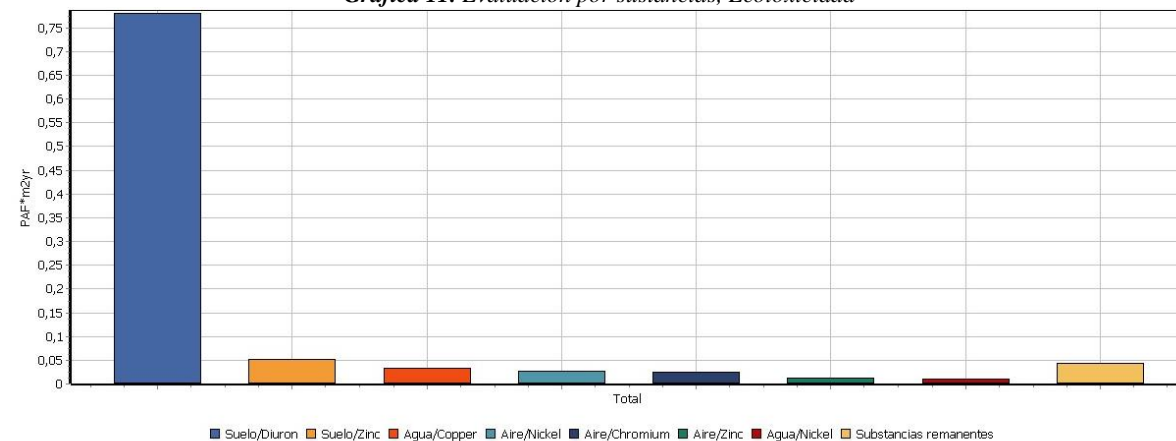
óxidos de nitrógeno pueden generar daños como la lluvia ácida, y por ende, el deterior de los cuerpos de agua, ya que cuando entra en contacto con este recurso altera el balance químico de nutrientes que son usados por plantas y animales (EPA, 1998), o en el peor de los casos este gas puede reaccionar con el ozono y formar una variedad de productos tóxicos en la atmosfera como el ácido nítrico (Galán & Fernández, 2006).

Los fertilizantes tiene una gran influencia en esta categoría de impacto puesto que en su proceso de elaboración se obtiene como residuos de este proceso industrial de ácido nítrico y nitrato de amonio (Guzmán & Gutierrez, 2016). A pesar de esto la soya obtuvo el valor más alto para esta categoría por el uso de fertilizantes, el manejo del estiércol y la combustión de los vehículos. Ya en la fábrica de queso, la producción de hipoclorito de sodio genera la mayor incidencia para este subsistema debido a que durante su fabricación presenta emisiones de cloro, detergente, soda caustica, y uno de los compuesto que genera acidificación, el ácido nítrico (Muller *et al.*, 2014).

VIII. Ecotoxicidad

El 80% del total de la categoría de impacto de ecotoxicidad proviene de la emisión de Diuron al suelo, siendo el 99,9% aportado por el subsistema de la ganadería (Gráfica 12). El Dieron o 1,1-dimethyl, 3-(3,4-dichlorophenyl) urea es un compuesto químico presente en los herbicida o insecticida de amplio espectro utilizados en los cultivos oleaginosos, los cuales tienen la particularidad de que sus semillas o frutos son apreciados por sus aceites comestibles o industriales, como el de la soya, lo que justifica su alta presencia de este compuesto en el subsistema de la ganadería (Barrett & Jaward, 2012).

Gráfica 11. Evaluación por sustancias, Ecotoxicidad



Analizando 1 kg LCA of cheese; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

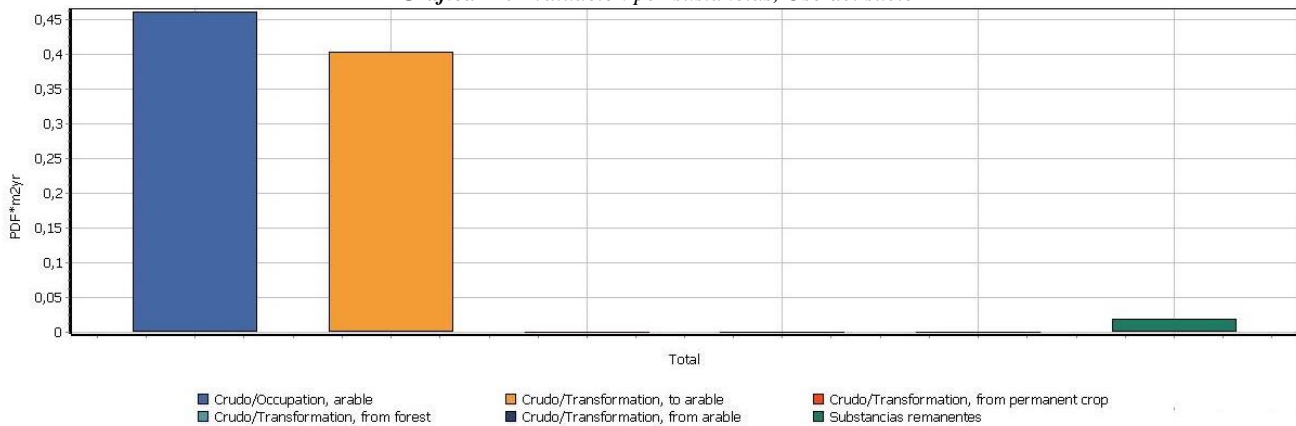
Fuente: Elaborado por este estudio

Estos resultados fueron similares a los de Doublet *et al.*, (2013) quien atribuye un aumento de esta categoría de impacto por la implementación de herbicidas, donde la emisiones están dadas por su ingrediente activo, es decir, aquel químico que se encarga de controlar las plagas como es el Diuron, aunque para este autor los compuestos con mayor concentración para esta categoría fueron metales pesados como el zinc y el cromo. Por otra parte, Broekema & Kramer (2014) afirma que en la ganadería los pesticidas utilizados para la protección de los cultivos o los ganados poseen una gran ecotoxicidad, mientras que Kim *et al.* (2013) a los insecticidas aplicados para el control de las moscas y piojos en el ganado lechero, es un factor que contribuye altamente a esta categoría de impacto.

IX. Uso del suelo

Esta categoría refleja los daños de los ecosistemas producto de la ocupación y transformación de la tierra. En la Gráfica 13 se encuentra que esta categoría está dada por el arado de suelo, siendo un proceso que se lleva a cabo en la elaboración del alimento animal. Como era de esperarse el subsistema de la producción de leche resulta ser el de mayor incidencia en esta categoría de impacto, al obtener un valor de 98,6%, donde la elaboración de la soya tiene un gran dominio sobre esta. Este proceso de manufactura del alimento para el ganado es reconocido por el cambio de uso del suelo, aportando las variables de ocupación y transformación de este recurso, incluso, autores como Sheane *et al.* (2011) reconoce esta actividad en la cadena de producción láctea como una de las mayores en disminuir la biodiversidad de un territorio, representando el 75% de la categoría de uso del suelo, siendo un resultado también obtenido por Broekema & Kramer (2014) y Bava *et al.* (2018). Por el contrario, van Middelaar *et al.* (2011) afirma que esta categoría se encuentra influenciada mayormente por las actividades ganaderas, las cuales causaban una ocupación y transformación del territorio, siendo algo no considerado por esta investigación debido a que la zona de estudio seleccionada para la producción de la leche es pertinente para la ejecución de actividades ganaderas (Guzmán & Gutierrez, 2016), además es una variable que es mejor descartarla cuando no se cuenta con información y datos de valor, como las emisiones de gases o el tipo de suelo (González-García, Hospido, *et al.*, 2013).

Gráfica 12. Evaluación por sustancias, Uso del suelo



Analizando 1 kg 'LCA of cheese'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

Fuente: Elaborado por este estudio

Teniendo en cuenta el diagrama de red de la categoría de impacto de uso del suelo, el subsistema dos, conocido como la fábrica de queso presenta un pequeño aporte proveniente del uso de jabón sódico como agente desengrasante en los insumos de limpieza. Como se mencionó en la categoría de impacto de la Respiración de Partículas Inorgánicas, este tipo de jabón posee como materia prima aceite refinado, o mejor dicho, aceite de palma, que según Stichnothe & Schuchardt (2011) un producto que genera grandes emisión de esta categoría de impacto difícilmente evitables, así cuente con un buen manejo y control.

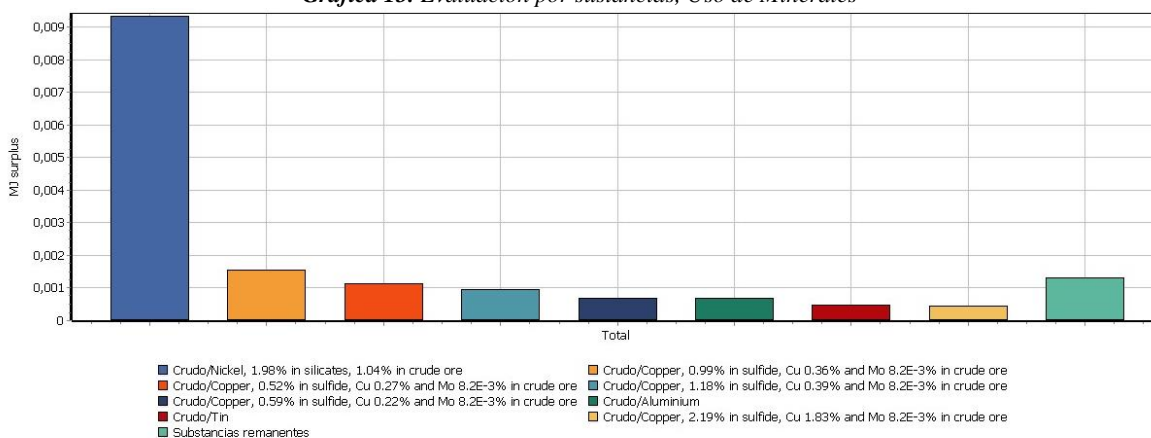
7.4.1.3 Recursos

Las unidades utilizadas las dos últimas categorías de impacto del método Eco-indicador 99 son MJ/yr, es cual hace referencia a los mega-Joules excedentes de energía por años per cápita, es decir, aquella energía que haría falta en un futuro para la obtención de estos mismos recursos minerales y de combustibles (Goedkoop & Spriensma, 2001).

X. Uso de minerales

Más del 50% de las emisiones para esta categoría de impacto está dado por el Níquel, luego, el 26,1% se encuentra el cobre, pero de diferentes concentraciones, a 0,99% (9,4%), a 0,53% (6,9%), a 1,18% (5,57%) y por último, el cobre que menos incidencia posee, aquel de 0,59% (4,1%); en cada una de estas emisiones el primer subsistema aporta de entre 76% (níquel 1,98%) hasta 78% (cobre 0,99%). La emisiones de níquel al ambiente están dadas principalmente por la combustión de carbón, petróleo y otros combustibles fósiles, que teniendo en cuenta el diagrama de red de esta categoría proviene de las producción del Distral, un suplemento a base de minerales y compuesto por cloruro de sodio (Guzmán & Gutierrez, 2016). Este compuesto al ser liberado al ambiente es absorbido por los sedimentos o partículas del suelo, siendo captadas por las plantas y a través de los alimentos llega al ser humano (Olivares et al., 2014).

Gráfica 13. Evaluación por sustancias, Uso de Minerales



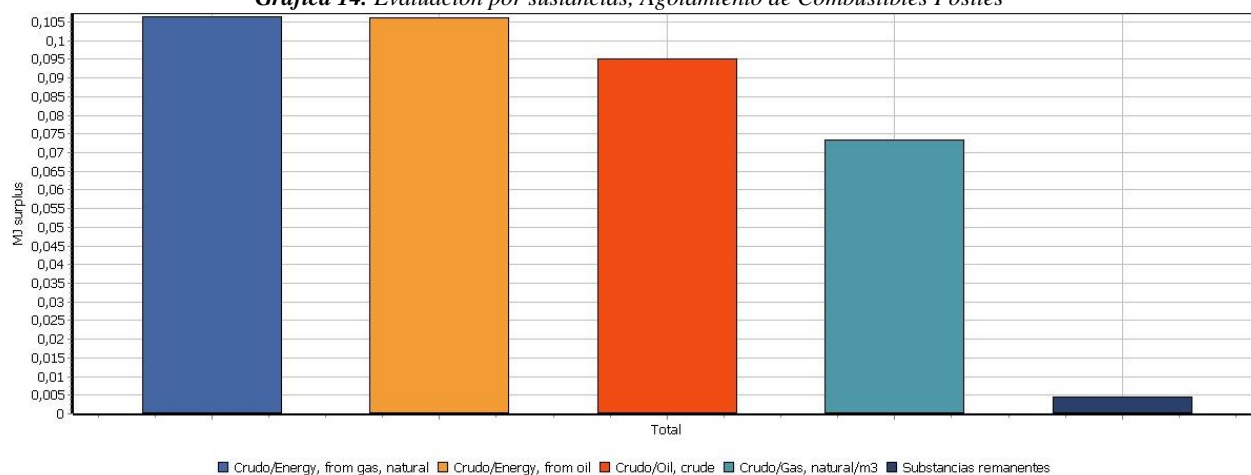
Analizando 1 kg 'LCA of cheese'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

Fuente: Elaborado por este estudio

No obstante, si se hubiera incluido la infraestructura y su construcción en esta investigación las emisiones de este compuesto estarían dadas por estos debido a que para su obtención se requiere de la extracción de ferróníquel por minería a cielo abierto, la cual por procesos de fundición se obtiene granos de esta sustancia, con la particularidad de contar con bajos contenidos de carbono lo que le permite ser la materia prima de la fabricación de metales como el acero inoxidable (Forero *et al.*, 2009). Por lo tanto, las unidades proporcionadas para la extracción del ferróníquel se presenta en el consumo energético, más no en los impactos ambientales que genera, ya que su estudio se enfoca en los flujos de energía y de corrientes de metales resultantes de la producción de níquel clase I (Ecoinvent v 3.1, 2013).

XI. Agotamiento de combustibles fósiles

Gráfica 14. Evaluación por sustancias, Agotamiento de Combustibles Fósiles



Analizando 1 kg 'LCA of cheese'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

Fuente: Elaborado por este estudio

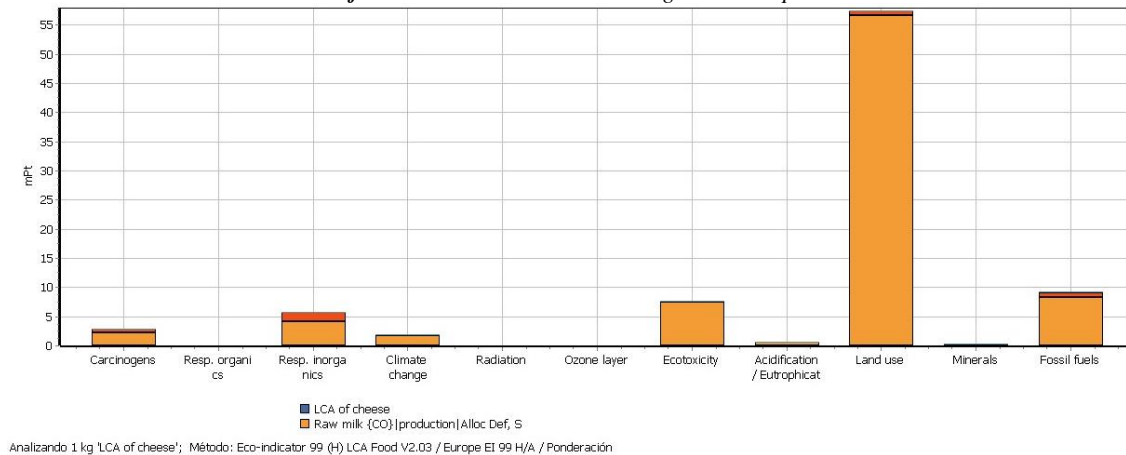
Finalmente, para esta categoría, se presenta un agotamiento de los recursos, en mayor proporción, del gas natural (46,6%) y petróleo (52,2%) (Gráfica 15), donde se destaca el proceso de elaboración de etileno, en el cual se utiliza un proceso de craqueo con vapor de hidrocarburos, como el etano. Este proceso consiste en el aumento de la temperatura del hidrocarburo hasta aproximadamente 825°C, donde es usado gas natural y petróleo, para generar procesos de separación de la sustancia (Calvo & Villanueva, 2015), por lo tanto, como se mencionó en la categoría de impacto de Respiración de las Partículas Orgánicas, este proceso se presenta en la elaboración de concentrado animal. El proceso de elaboración del fertilizante Triple 15, en el que se requiere el uso de gas natural para su obtención, y luego en el proceso de manufactura de ácido nítrico, uno de las materias primas del fertilizante. Por último, en cuanto al consumo de petróleo se encuentra en los procesos de transporte y distribución de los insumos y del producto (Ecoinvent v 3.1, 2013).

En resumen, el mayor aporte a las distintas categorías de impacto está dada por la producción del alimento y la leche, en donde este subsistema completo aporta más del 60% la categoría de radiación, más del 70% en la respiración de partículas inorgánicas, el uso de minerales y en efectos cancerígenos; más del 80% en cambio climático; y más del 90% las categorías de impacto del agotamiento de los recursos fósiles, acidificación/eutrofización, respiración de partículas orgánicas, ecotoxicidad, y uso del suelo. En el subsistema de la fábrica de queso solo presenta valores superiores al primer subsistema en la categoría de disminución de la capa de ozono; a diferencia del tercer subsistema, donde solo abarcaba el 1% de las categorías de respiración de partículas inorgánicas, radiación ionizante y el uso de minerales.

Ahora bien, al utilizar SimaPro como software para elaborar el ACV, es permitida la normalización y luego ponderación de los resultados obtenidos en la EIA, a pesar de no ser una operación obligatoria según la ISO 14044:2006. Aun así, esta fase que permite visualizar la mayor incidencia del ciclo de

vida de la cadena de producción del queso tipo cuajada en cada una de las categorías de impacto, como se muestra en la Gráfica 17.

Gráfica 15. Ponderación de las categorías de impacto



Fuente: Elaborado por este estudio

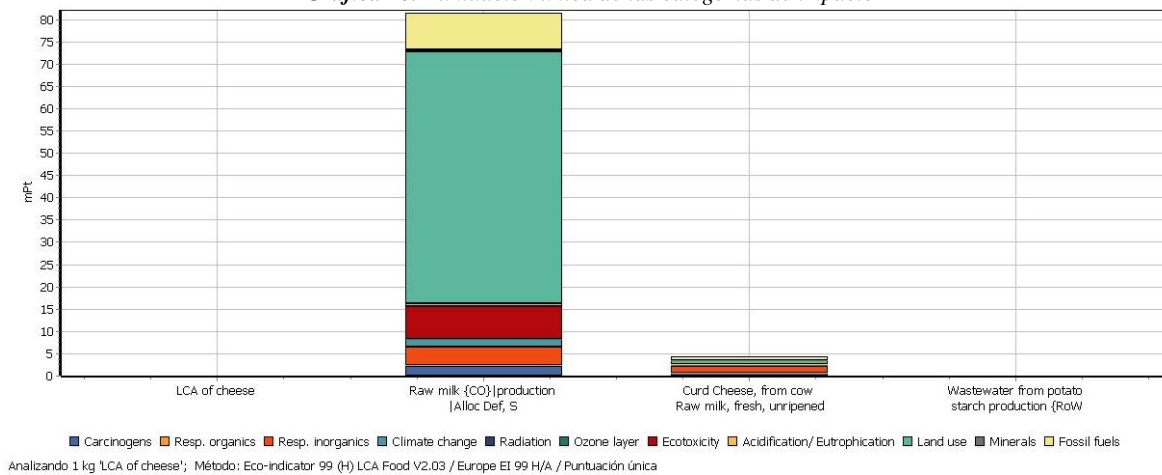
Para la normalización y ponderación de las unidades DAILY, PDF.m2.yr, y MJ/yr a mPt, se utilizan los factores de conversión expuestos en la Tabla 5. Gracias a este procedimiento, se identifica que la mayor incidencia de la cadena de producción del queso tipo cuajada es la ocupación y transformación del suelo, debido a procesos de ganadería y en la elaboración del alimento de los animales. Aunque categoría como la respiración de partículas inorgánicas, la ecotoxicidad y el agotamiento de los recursos fósiles, no representan el mismo impacto que la categoría de uso del suelo, son significativas al superar los 5 mPt.

Tabla 5. Factores de conversión de las categorías de impacto

Tipo de categoría	Factor de conversión	Unidad
Salud Humana	15,5	mPt/DAILY
Calidad de Ecosistemas	5130000	mPt/PDF.m2.yr
Recurso	8410000	mPt/MJ/yr

Fuente: Hischier et al. (2010)

Gráfica 16. Puntuación única de las categorías de impacto



Fuente: Elaborado por este estudio

Es claro, tanto en la Gráfica 15 como en la Gráfica 16, la producción de leche aporta los mayores valores en las distintas categorías de impacto, en especial en el uso de suelo debido al alimento

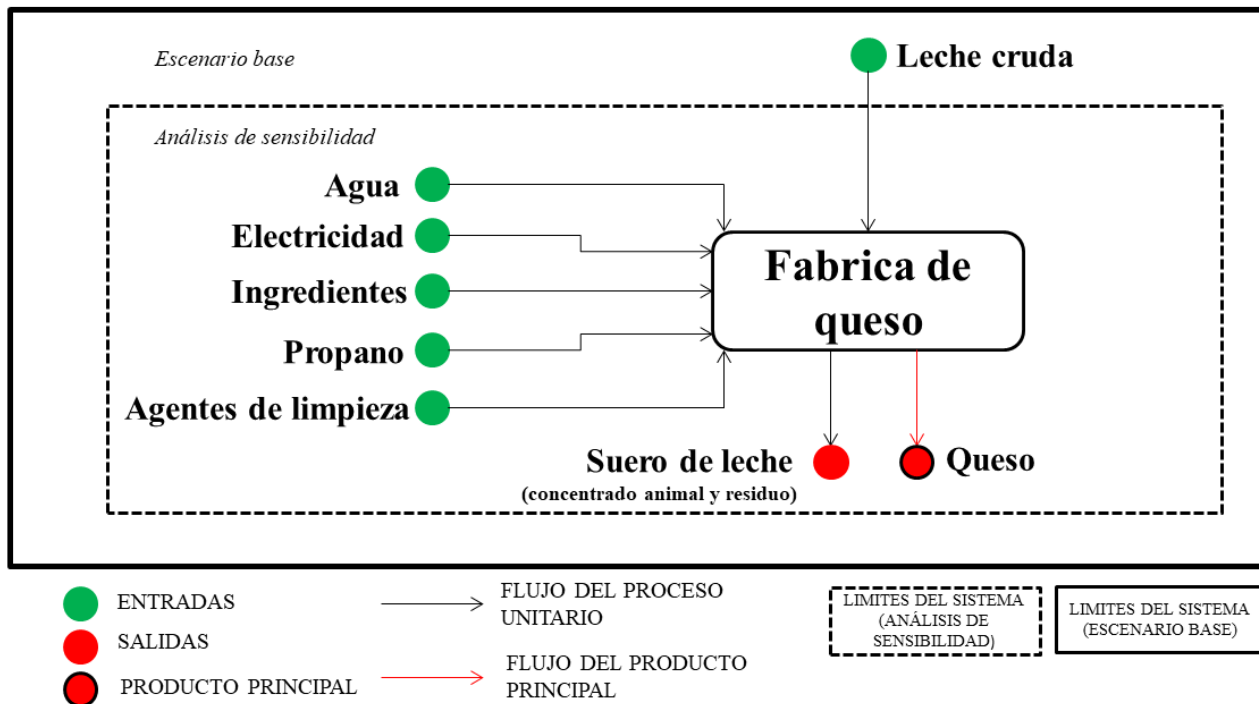
proporcionado a los animales y a los distintos procesos que se desarrollan durante el ordeño de los animales. No obstante, Berlin (2002) y González-García, Castanheira, *et al.* (2013) proponer analizar la fábrica de queso de una manera aislada, sin tener en cuenta la producción de leche, debido a que se presenta una mayor facilidad de proponer alternativas con una mayor viabilidad.

Pese a esto, aunque los autores sugieren este análisis de sensibilidad debido a que no poseen control sobre estos procesos de elaboración de leche, para esta investigación si se posee un control sobre ella ya que en la misma finca se encuentra la fábrica de queso. Aun así, las oportunidades de mejora y su viabilidad estarán dirigidas a la manufactura del queso, principalmente por el bajo conocimiento que se tiene sobre este subsistema en la granja, con respecto a las actividades, los insumos y el manejo de la producción de la leche en la finca seleccionada, y por tal motivo fue tomada la información suministrada por Guzmán Vargas & Gutierrez (2016).

7.4.2 Análisis de sensibilidad de los datos

Este subcapítulo de la interpretación de los resultados consiste en la estimación de los efectos sobre el resultado del estudio, con respecto a las modificaciones hechas, en este caso, en el proceso productivo del queso suave tipo cuajada (NTC-ISO 14044:2007), con el ánimo de indagar con una mayor profundidad la elaboración de este tipo de queso fueron evaluados los impactos ambientales de dos subsistemas, la fábrica de queso y el tratamiento de las aguas residuales. Para representar de una mejor manera este análisis de sensibilidad, se presenta la Figura 7.

Figura 7. Análisis de sensibilidad

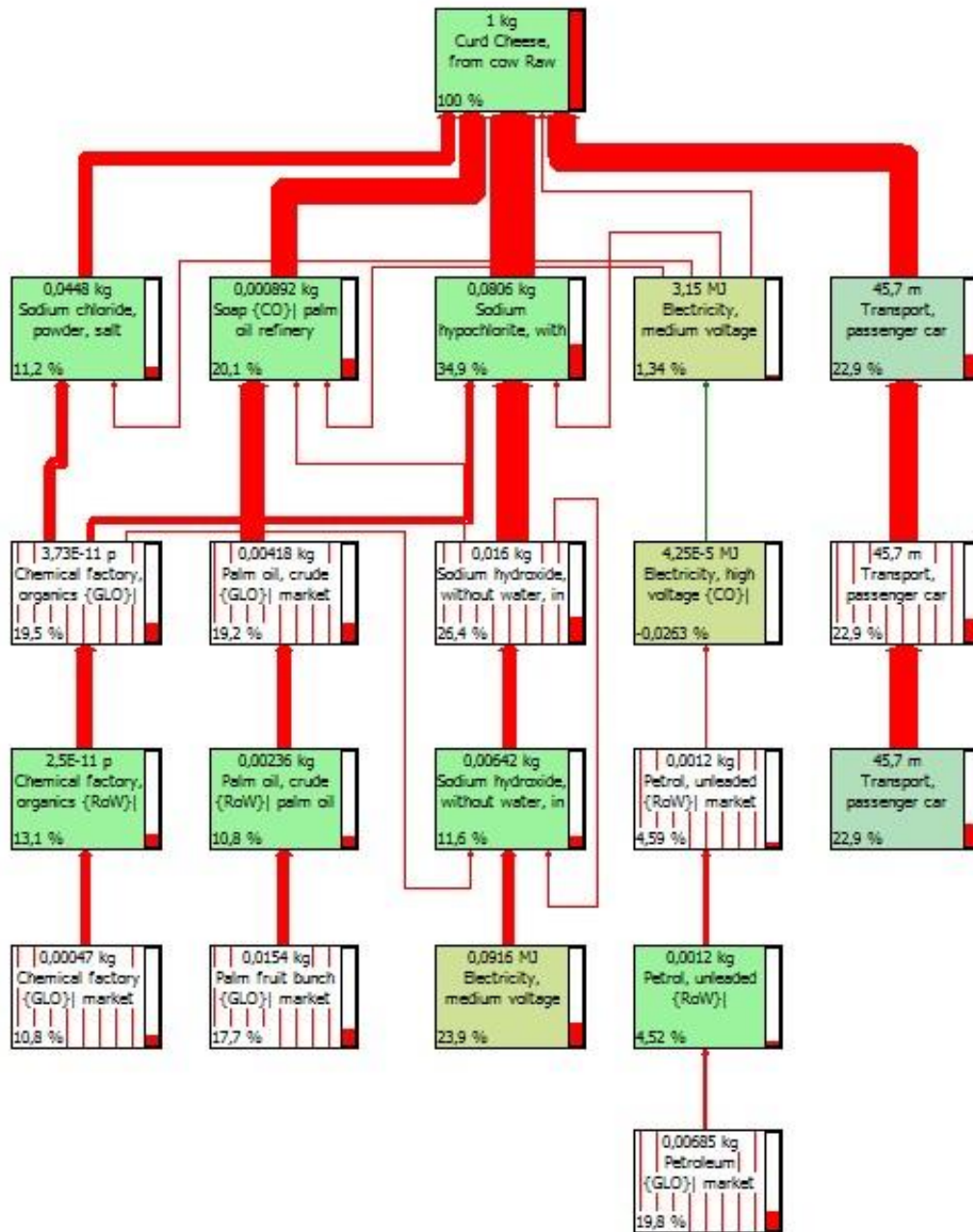


Fuente: Tomado y adaptado de Santos *et al.*, (2017)

Cabe recalcar nuevamente que los vertimientos de la fábrica de queso se componen de los agentes de limpieza, agua y aquel suero de leche no aprovechado por los dueños de la finca como concentrado de los animales. De igual forma, este suero aprovechado no es incorporado en el primer subsistema, principalmente a la poca información presente en la finca, además de que Guzmán Vargas & Gutierrez (2016). De esta manera, se obtiene que los vertimientos ocasionados por la producción de queso tipo

cuajada en la finca objeto de estudio es menor a un litro por Kg de queso, como se muestra a continuación en la Figura 8.

Figura 8. Diagrama de redes de la fábrica de queso



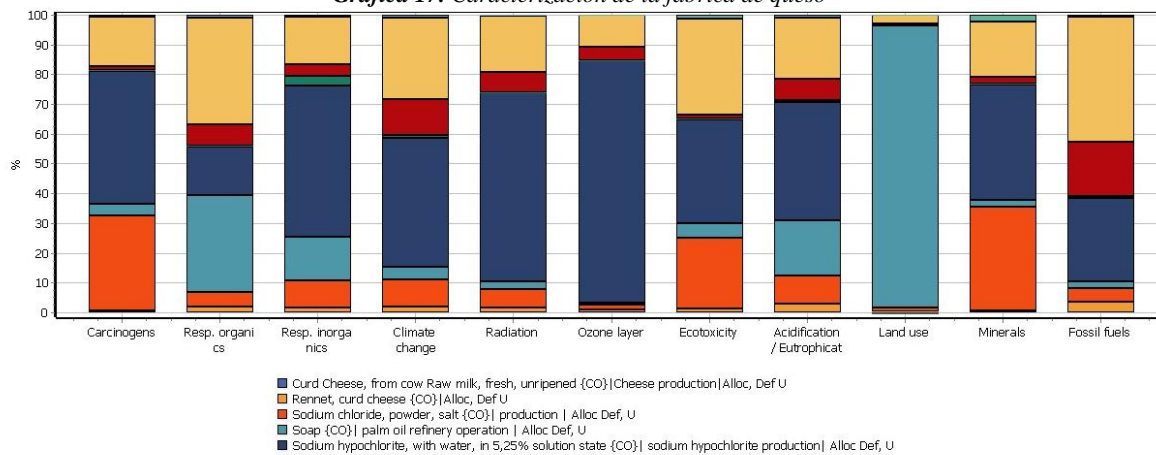
Fuente: Elaborado por este estudio

Como proceso más representativo para estos dos subsistemas se presenta la producción de hipoclorito de sodio como agente desinfectante (34,9%), y la distribución del producto al vendedor (22,9%). Insumos como el cuajo, que se pretendían iban a tener un impacto notable en estos dos subsistemas debido a que su materia prima, el hongo, era extraída desde EE. UU. y luego transportada por vía

marítima hasta Colombia. A pesar de esto, el cuajo no cuenta con un valor significativo para los procesos de elaboración de queso, al igual que la planta de tratamiento de las aguas residuales. Por consiguiente, excluyendo la producción de leche, la fábrica de queso es el subsistema que más contribuye a las categorías de impacto, en la cadena de producción del queso tipo cuajada, obtenido también en la cadena de producción del queso Hushallsost (Berlin, 2002), Mozzarella y Cheddar (Kim *et al.*, 2013), San Simón da Costa (González-García, Hospido, *et al.*, 2013), Gouda (Broekema & Kramer, 2014), Granada Panado (Bava *et al.*, 2018) y Asiago (Dalla Riva *et al.*, 2018).

Bava *et al.* (2018), Dalla Riva *et al.* (2018), González-García, Castanheira, *et al.* (2013), González-García, Hospido, *et al.* (2013) y Muller *et al.* (2014) obtuvieron el mismo resultado en cuanto la baja importancia del proceso de elaboración del cuajo en las categorías de impacto de la manufactura del queso, al representar una cantidad muy baja (ver Anexo B). Por el contrario, en cuando a la incidencia del tratamiento de las aguas residuales Dalla Riva *et al.* (2018) afirma que es el mayor contribuidor a la categoría de impacto de acidificación/eutrofización; en el caso de González-García, Hospido, *et al.* (2013), este subsistema es un punto crítico al momento de excluir la producción de leche en la cadena de producción de queso, en especial en la categoría mencionada por el autor anterior, por el hecho de ser una descarga con una alta concentración de fosforo (33%), nitratos (19%), amonio (15%) y demanda química de oxígeno (DBO) (7%) lo que la hace un vertimiento con altas cargas orgánicas. En contraste, autores como Palmieri *et al.* (2017) obtuvieron resultados parecidos a esta investigación ya que consideran la carga de este proceso es insignificante, aunque se presenta en las categorías de ecotoxicidad y acidificación/eutrofización. En la Gráfica 12 se observa con más detenimiento que efectivamente estos dos procesos, la elaboración del cuajo y el tratamiento de las aguas residuales, no cuentan con una representación en las categorías de impacto.

Gráfica 17. Caracterización de la fábrica de queso



Analizando 1 kg 'Curd Cheese, from cow Raw milk, fresh, unripened {CO} | Cheese production | Alloc, Def U'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

Fuente: Elaborado por este estudio

Como se mencionó anteriormente, la producción del hipoclorito de sodio, y la adquisición de los insumos y distribución del queso abarcan más del 50% del total de las cargas ambientales en la manufactura del queso tipo cuajada. En el caso del NaClO aportó el 44,7% de efectos cancerígenos, el 51% en la emisión de partículas inorgánicas, 43,5% al potencial de calentamiento global, 63,4% de la radiación ionizante, 34,8% a la ecotoxicidad, 39,4% de la acidificación y eutrofización y 38,8% del uso de minerales. Este insumo era utilizado por la finca como desinfectante para todos los materiales usados en la fabricación del queso, a diferencia de autores como por ejemplo Bava *et al.* (2018), Berlin

(2002), Kim *et al.* (2013) y van Middelaar *et al.* 2011) quienes mencionan el uso del ácido nítrico para este fin.

No obstante, Muller *et al.* (2014) analiza un proceso productivo de un tipo queso donde se utiliza cloro como desinfectantes, sin encontrar un valor relevante para las categorías de impacto a pesar de consumir un cantidad similar (ver Anexo B). Por otro lado, González-García, Hospido, *et al.* (2013) quien también incorpora el cloro como agente de limpieza en la fabricación de queso, obtiene que los valores de este compuesto son muy bajos a comparación de otros insumo como el de electricidad, y no es posible cuantificar los impacto que genera.

La relevancia de este compuesto químico en las categorías de impacto del queso tipo cuajada se deben a que en la fábrica objeto de estudio no cuentan con maquinaria que requiera un consumo de energía significativo. A saber, entre los distintos derivados lácteos presentes, el queso es el de mayor consumo de energía (descartando aquellos producto congelados, como el helado), ya que puede llegar a representar el 20% del consumo de energía eléctrica de una empresa que produzca distintos productos lácteos (Vergé *et al.*, 2013). De hecho, además de la electricidad gastada por el almacenamiento del producto o por iluminación, para el queso es necesario un proceso agitación para lograr separar la cuajada y el suero (Aguirre-Villegas *et al.*, 2012), siendo un nuevo aporte de electricidad. El poco uso de electricidad para la elaboración del queso tipo cuajada se ve reflejado en la Figura 11 donde solo representa el 1,32% de estos dos subsistemas, siendo proporcionadas por una motobomba, y dos neveras.

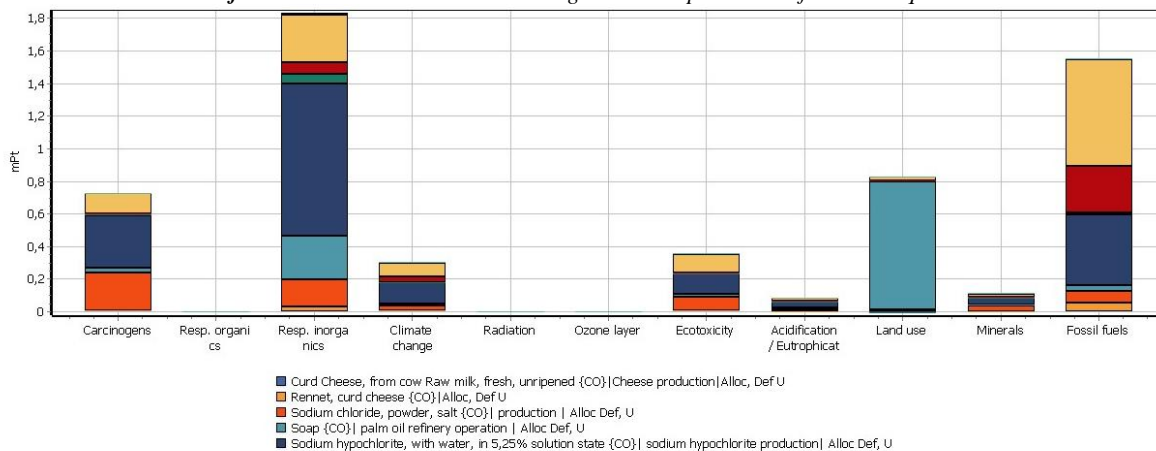
Por otra parte, distribución del producto efectuado en un vehículo particular que recorre aproximadamente 30,5 km a la semana, únicamente para el transporte del queso al vendedor. Esta etapa de la fábrica genera un aporte de 35,8% de la categoría de emisión de partículas orgánicas, 32,2% en ecotoxicidad y el 42% en el agotamiento de combustibles fósiles. Estos valores presentan una similitud con Broekema & Kramer (2014) ya que afirma que las dos categorías en la que más incide la distribución del queso a los vendedores es a la de agotamiento de combustibles fósiles y ecotoxicidad, afirmando que la fase de distribución del producto representa un aporte del 42% de la categoría de agotamiento de combustibles fósiles; además, al igual que Kim *et al.* (2013) a esta fase se le atribuye como mínimo el 10% de la categoría de impacto del cambio climático, siendo para el queso tipo cuajada un 27,2%.

Un valor que es necesario tener en cuenta, teniendo en cuenta la Grafica 17 es la categoría de uso de suelo, ya que es su totalidad está dada por el uso de un jabón a base de aceite de palma. Este insumo aporta el 95% de esta categoría de impacto, además del aporte del 32,8% de la respiración de partículas orgánicas y el 18,8% de la acidificación y eutrofización. Al igual que con hipoclorito de sodio, ninguno de los artículos revisados incorpora o menciona el uso de jabón sódico como agente desengrasante, ya que la mayoría utilizaba hidróxido de sodio (Aguirre-Villegas *et al.*, 2012; Berlin, 2002; González-García, Castanheira, *et al.*, 2013; González-García, Hospido, *et al.*, 2013; Palmieri *et al.*, 2017; van Middelaar *et al.*, 2011).

Insumos como el consumo de energía térmica por el uso de gas propano, atribuye un 12% a la categoría de cambio climático y 18,3% al agotamiento de recursos fósiles. Este tipo de energía tiene una fuerte importancia cuando se presentan la etapa de pasteurización y para ello normalmente se utiliza gas natural (Dalla Riva *et al.*, 2018) o madera (Muller *et al.*, 2014). También se requiere este tipo de energía para acelerar el proceso de coagulación entre la leche y el cuajo (Berlin, 2002). Por otra parte, la sal representa un 32% en efectos cancerígenos, 24% en ecotoxicidad y 34,8% en el uso de minerales.

Bava *et al.* (2018) también le atribuye al cloruro de sodio categorías de impacto como el uso de minerales y ecotoxicidad, aunque considera, al igual que Muller *et al.* (2014), que no resulta ser significativa para los impactos ambientales de la elaboración del queso.

Gráfica 18. Ponderación de las categorías de impacto de la fábrica de queso.

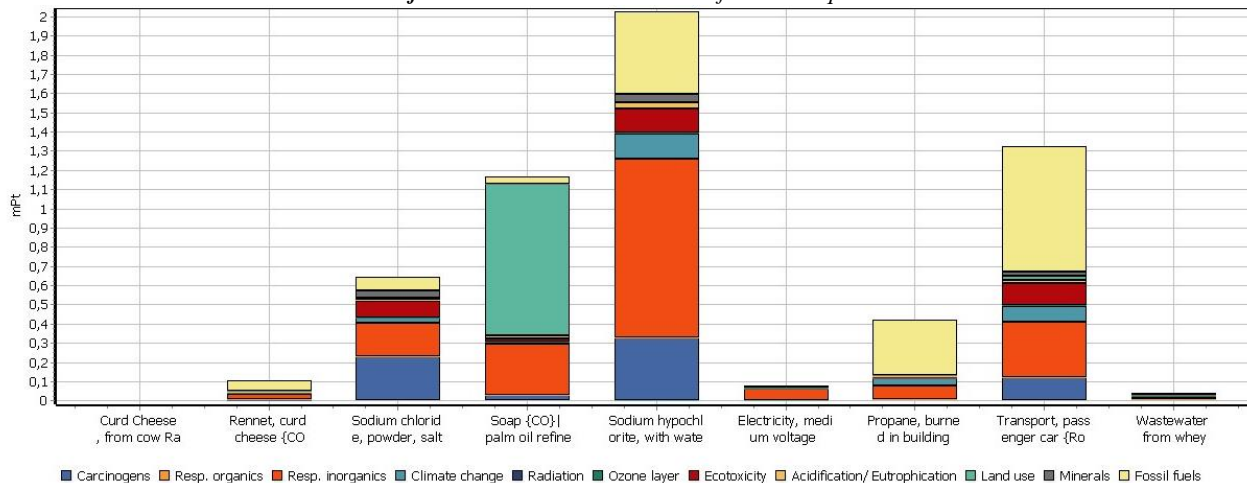


Analizando 1 kg 'Curd Cheese, from cow Raw milk, fresh, unripened {CO}|Cheese production|Alloc, Def U'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Ponderación:

Fuente: Elaborado por este estudio

Gracias a la Gráfica 18, se puede identificar que las categorías de impacto más relevantes en el subsistema dos y tres, son los efectos cancerígenos, la respiración de partículas inorgánicas, el uso del suelo y de combustibles fósiles, ya que presentan valores de 0,728 mPt, 1,83 mPt, 0,81 mPt y 1,55 mPt respectivamente. Complementando con la Grafica 18, se identifican que los puntos críticos se encuentran en el uso de los agentes de limpieza, como el hipoclorito de sodio y jabón sódico, y a este se le suman la distribución del producto a los vendedores.

Gráfica 19. Puntuación única en la fábrica de queso



Analizando 1 kg 'Curd Cheese, from cow Raw milk, fresh, unripened {CO}|Cheese production|Alloc, Def U'; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/A / Puntuación Única

Fuente: Elaborado por este estudio

De esta manera, se identifica que la mayor cantidad de emisiones de sustancias cancerígenas como el arsénico, está dado por los insumos NaCl, NaClO y el combustible utilizado para la distribución del producto. En el caso de la categoría de respiración de partículas inorgánicas se presenta las emisiones de MP2.5 originado principalmente por los tres insumos mencionados anteriormente.

Un cultivo como el de palma de aceite, a pesar de proporcionar millones de empleos alrededor del mundo, en el caso de países como Indonesia (uno de los mayores productores de aceite de palma), y más de 1,3 millones de hogares beneficiados, provoca un sin número de problemáticas relacionadas con el aumento de los incendios forestales, la pérdida de la biomasa, la emisión de entre 45 – 60 gigatoneladas de dióxido de carbono por territorios ocupados y transformados para el cultivo de la palma, entre otros (Schrier-Uijl *et al.*, 2013).

7.5 Simulación de escenarios posibles para la reducción de impacto

Para este subcapítulo, se buscará reducir los impactos ambientales, principalmente en un cambio de los insumos, utilizando el método de sensibilidad conocido como OAT. Teniendo en cuenta el subcapítulo anterior, se identificaron como puntos crítico en los que es posible intervenir se encuentra el alimento de los animales (la soya), los químicos utilizados para la limpieza (jabón sódico y NaClO) y la distribución de queso tipo cuajada al vendedor. Normalmente, aquellos puntos críticos identificados en la cadena de producción de queso, se encuentra el tipo de alimento usado para el ganado (Doublet *et al.*, 2013), la implementación y fabricación de fertilizantes (Guzmán & Gutierrez, 2016), el manejo del estiércol y de la electricidad (Sheane *et al.*, 2011), para el caso de la granja; ya para la producción de queso se identifican como puntos críticos el consumo de energía (González-García, Castanheira, *et al.*, 2013), el uso de derivados del petróleo como el diésel o la gasolina (Dalla Riva *et al.*, 2018) o el transporte de la leche desde la finca hasta la fábrica (Bava *et al.*, 2018). No obstante, transporte de la leche a la fábrica, no puede ser un “hotspot” debido a que la fábrica de queso se encuentra en la misma finca donde se ordeña a las vacas; tampoco se podría considerar el consumo de energía, por el hecho de ser un proceso artesanal, tal como lo expresa Muller *et al.* (2014).

No obstante, a pesar de que los dueños tienen la capacidad de controlar el alimento proporcionado a los animales, no es una variable sencilla de seleccionar si se busca reducir los impactos ambientales, gracias a que cada tipo de concentrado tiene una mayor incidencia en ciertas categorías, siendo este el principal resultado obtenido por Palmieri *et al.* (2017). En la investigación planteada por los autores anteriormente citados, fueron seleccionadas tres dietas para el ganado lechero destinado para la elaboración de queso, una a base de heno (dieta A), otra de ensilaje (dieta B), y una última la cual consistía en una incorporación del suero obtenido de la fabricación de queso mozzarella como sub-producto, en el ensilaje (dieta C).

Como hipótesis Palmieri *et al.* (2017) postulaban que la dieta C iba a reducir los impactos de la cadena láctea, al disminuir el vertimiento de suero a la PTAR. Pero al final los autores concluyeron que, si bien la dieta C disminuye en categorías de impacto como acidificación/eutrofización, disminución de la capa de ozono y disminución de combustibles fósiles, no se puede considerar estadísticamente que sea una dieta con menos impactos ambientales menores a la dieta A o B. Esto se debe a que el impacto de la producción de leche cruda resulta ser muy alto en toda la cadena de producción de cualquier derivado lácteo, no solo el queso, independientemente de la dieta de los animales; asimismo, es necesario considerar la influencia del tipo de dieta sobre el rendimiento de la leche, siendo una variable excluida por los autores.

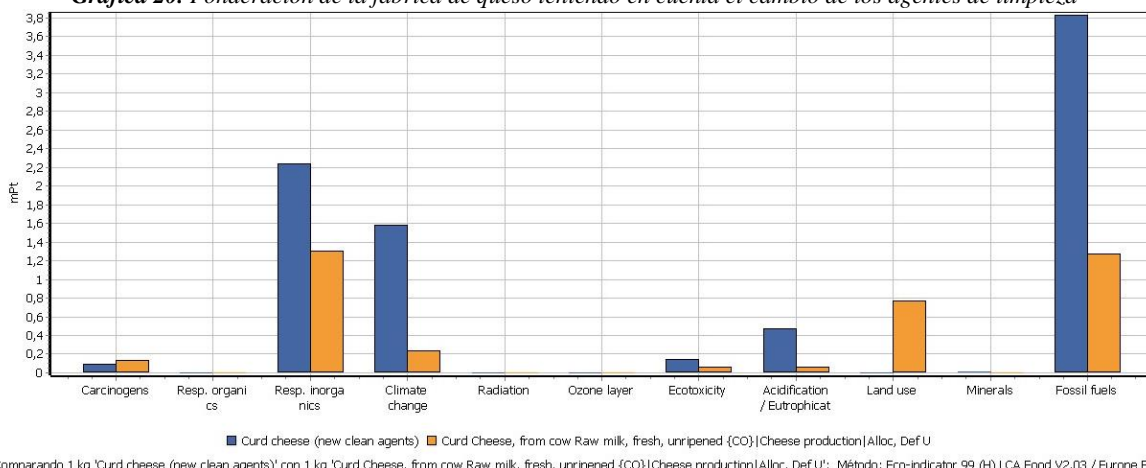
Siendo así, se considera el enfoque planteado por Berlin (2002) y González-García, Castanheira, *et al.* (2013), donde proponen concentrar los esfuerzos en reducir los impactos ambientales en la formulación de escenarios alternativos enfocados a la fábrica de queso, ya que en esta se presentan cambio más significativos que si son elaborados en la producción de la leche cruda, siendo ejecutado por Santos *et al.* (2017) y Bava *et al.* (2018) a la hora de proponer alternativas en un proceso de una pequeña industria láctea, y en el queso Grana Padano, respectivamente.

7.5.1 Cambio de agentes de limpieza

Tanto el uso de NaClO y jabón sódico presentaron altos impactos en especial en efectos cancerígenos y uso del suelo, respectivamente, en donde el desinfectante presentaba emisiones de arsénico, mientras que el desengrasante generaba ocupación y transformación del suelo. De esta manera, se busca la construcción de este escenarios utilizando como nuevos agentes de limpieza el ácido nítrico a una concentración de 62% e hidróxido de sodio a una concentración de 49%, siendo estos los agentes de limpieza de mayor uso en la elaboración de cualquier tipo de queso (Aguirre-Villegas et al., 2012).

A saber, el ácido nítrico tiene como objetivo disolver todas las suciedades de origen mineral como el contenido de leche en los materiales, mientras que el hidróxido de sodio busca disolver las proteínas y las grasas en agua. De esta manera al utilizar estos dos compuestos se posee detergentes de origen alcalino (hidróxido de sodio) y ácido (ácido nítrico), brindando una mejora en la limpieza y desinfección a la hora de elaborar el queso (Berlin, 2002). Para ello, se modifican los agentes de limpieza, hipoclorito de sodio por ácido nítrico, e hidróxido de sodio por el jabón sódico, tomando las mismas proporciones.

Gráfica 20. Ponderación de la fábrica de queso teniendo en cuenta el cambio de los agentes de limpieza



Fuente: Elaborado por este estudio

Como se observa en la Gráfica 20, el cambio de detergentes provoco un aumento de las categorías de impacto de la respiración de partículas inorgánicas, cambio climático, ecotoxicidad, acidificación/eutrofización y agotamiento de los recursos fósiles; aunque disminuyo en los efectos cancerígenos y uso del suelo. No obstante, este incremento en las categorías de impacto esta dado principalmente por el uso de ácido nítrico, debido a que es un compuesto donde principalmente sus emisiones están compuestos de partículas inorgánicas como óxido nítrico y dióxido de nitrógeno, provocando un aumento en las categorías de respiración de partículas inorgánicas, ecotoxicidad y acidificación /eutrofización. Por otra parte, la categoría de impacto de agotamiento de combustibles fósiles está dado por el excesivo uso de combustibles para la producción de este ácido, en los que se encuentra el gas natural, el propano, butano, entre otros, todo con el objetivo catalizar la oxidación del amonio, para la formación de óxido de nitrógeno y finalmente el proceso de absorción (EPA, 1998; Heller, 2012). Este aumento se evidencia mejor en la Tabla 6.

Tabla 6. Categorías de impacto en el escenario de cambio de agentes de limpieza

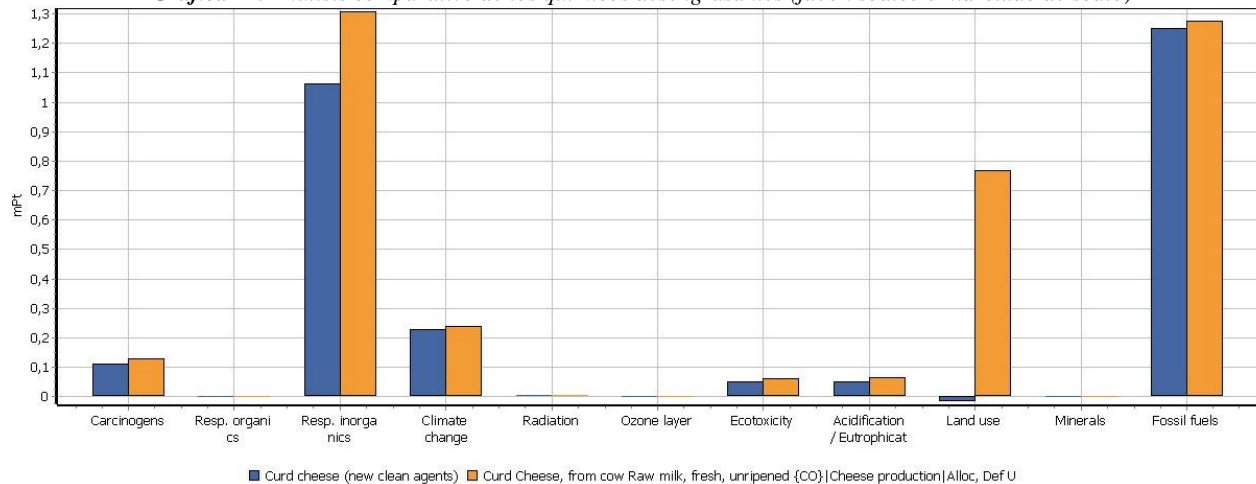
Categoría de impacto	Queso tipo cuajada (Ácido nítrico e hidróxido de sodio) (mPt)	Queso tipo cuajada (hipoclorito de sodio y jabón sódico) (mPt)	Aumento de las categorías de impacto (mPt)
Efectos cancerígenos	0,0903	0,1286	-0,0383

Categoría de impacto	Queso tipo cuajada (Ácido nítrico e hidróxido de sodio) (mPt)	Queso tipo cuajada (hipoclorito de sodio y jabón sódico) (mPt)	Aumento de las categorías de impacto (mPt)
Respiración de partículas orgánicas	0,0011	0,0010	0,0001
Respiración de partículas inorgánicas	2,2425	1,3073	0,9352
Potencial de cambio climático	1,5775	0,2392	1,3383
Radiación ionizante	0,0018	0,0026	-0,0008
Disminución de la capa de ozono	0,0003	0,0006	-0,0003
Ecotoxicidad	0,1466	0,0602	0,0864
Acidificación/ Eutrofización	0,4709	0,0648	0,4061
Uso del suelo	-0,0003	0,7672	-0,7675
Uso de minerales	0,0072	0,0015	0,0057
Agotamiento de combustibles fósiles	3,8307	1,2752	2,5555

Fuente: Elaborado por este estudio

Antes que nada es necesario mencionar que en la columna cuatro de la Tabla 20 aquellos valores negativos hacen referencia a una disminución de la categoría de impacto producto del cambio de los agentes de limpieza. Como se mencionó anteriormente, el cambio de los químicos de limpieza, y en especial por el ácido nítrico, se presenta un aumento en mayor medida de la categoría de respiración de partículas inorgánicas de 0,9 mPt, incrementando las emisiones de los óxidos de nitrógeno y amonio; y en el agotamiento de combustibles fósiles de 2,6 mPt, por el consumo de petróleo y gas natural. Al identificar un aumento en las categorías de impacto debido al ácido nítrico, se decide simular el escenario en donde se utilicen como agentes de limpieza el hipoclorito de sodio para la desinfección e hidróxido de sodio para la remoción de grasa (ver Gráfica 21 y Tabla 7).

Gráfica 21. Análisis comparativo de los químicos desengrasantes (jabón sódico e hidróxido de sodio)



Comparando 1 kg 'Curd cheese (new clean agents)' con 1 kg 'Curd Cheese, from cow Raw milk, fresh, unripened' {CO}Cheese production|Alloc, Def U; Método: Eco-indicator 99 (H) LCA Food V2.03 / Europe EI 99 H/

Fuente: Elaborado por este estudio

Tabla 7. Categorías de impacto en el escenario de cambio de agente desengrasante

Categoría de impacto	Queso tipo cuajada (hidróxido de sodio) (mPt)	Queso tipo cuajada (jabón sódico) (mPt)	Aumento de las categorías de impacto (mPt)
Efectos cancerígenos	0,1090	0,1286	-0,01959
Respiración de partículas orgánicas	0,0006	0,0010	-0,00047
Respiración de partículas inorgánicas	1,0614	1,3073	-0,24588
Potencial de cambio climático	0,2290	0,2392	-0,01021

Categoría de impacto	Queso tipo cuajada (hidróxido de sodio) (mPt)	Queso tipo cuajada (jabón sódico) (mPt)	Aumento de las categorías de impacto (mPt)
Radiación ionizante	0,0025	0,0026	-0,00005
Disminución de la capa de ozono	0,0006	0,0006	0,00002
Ecotoxicidad	0,0508	0,0602	-0,00944
Acidificación/ Eutrofización	0,0496	0,0648	-0,01520
Uso del suelo	-0,0171	0,7672	-0,78427
Uso de minerales	0,0011	0,0015	-0,00034
Agotamiento de combustibles fósiles	1,2504	1,2752	-0,02479

Fuente: Elaborado por este estudio

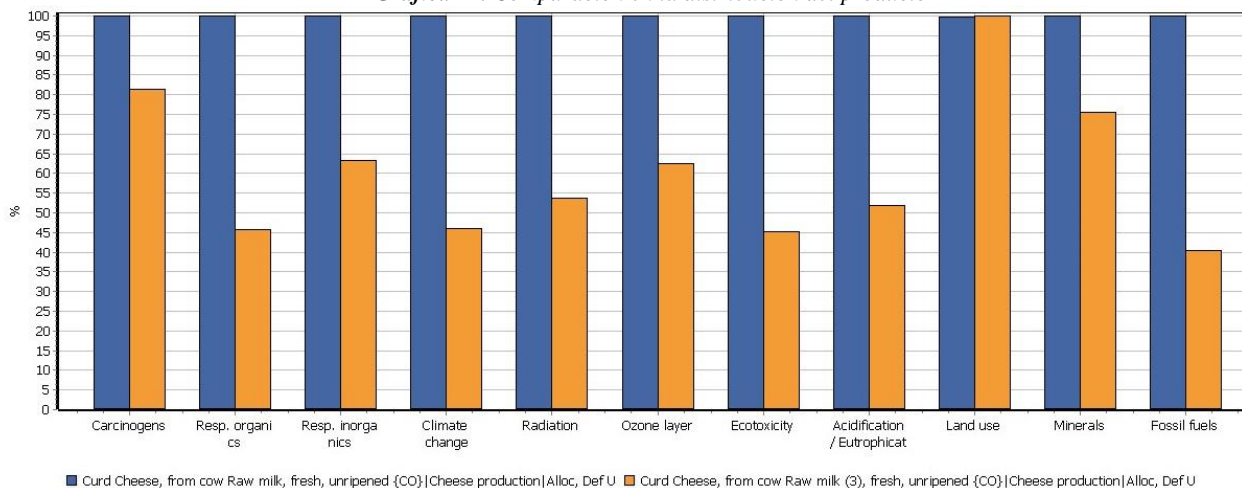
De entrada, al ver tanto la gráfica 21, como la Tabla 7, se evidencia una disminución, no solo en las categorías de impacto más relevante como la respiración de partículas inorgánicas, el uso de suelo y el agotamiento de combustibles fósiles, también en las demás categorías se presentó una disminución solo con el cambio de este insumo. Santos et al. (2017) también propone el cambio de agentes de limpieza obteniendo cambio de solo el 2% en el total de las categorías de impacto, siendo el uso de ácido nítrico y soda caustica como aquella que represento los menor impacto, aunque no hubo una diferencia significativa. Aun así este autor no utilizo cloro como agente desinfectante, por el contrario utilizo ácido nítrico, esto se debe a que el autor afirma que los impactos ambientales generados por esta variable depende en mayor medida por la técnica de limpieza utilizada, mientras que el tipo de sustancia no tiene mayor relevancia, por lo que recomienda el uso de procedimientos de limpieza que utilicen una herramienta de monitoreo como el sistema CIP (*Cleaning-in-place* o lipieza en el lugar). Esta es una técnica estipulada por el PNUMA para lograr el menor consumo de sustancias a momento de realizar un proceso de limpieza en la industria de lácteos (Consulting Engineers and Plannes AS, n.d.). Este método de limpieza consiste en el uso de una sustancia alcalina como la soda caustica para la remoción de la grasa presente en la maquinaria; asimismo, el uso de una sustancia ácida como el ácido nítrico, el cual permite remover las proteínas incrustadas y la sal presente en la superficie de los recipientes, además se ser un agente desinfectante, logrando que sea posible reutilizar esta solución una vez más (Thomas & Sathian, 2014).

7.5.2 Maximizar la producción de queso

Teniendo en cuenta que uno de los puntos críticos identificados en la cadena de producción del queso suave tipo cuajada es la distribución del producto terminado al punto de venta, Sheane et al. (2011) propone un aumento de la cantidad de producto utilizado, con el fin de que se transporte una mayor cantidad de producto terminado para el mismo recorrido. Para ello, se formula una asociación entre las fincas ganaderas ubicadas en esta zona del municipio de Puerto López, Meta, la cual tuvo como primera etapa una entrevista con el dueño de la finca de ganadera objeto de estudio, el cual propuso esta asociación con las dos fincas más cercanas a esta, ya que tenían una buena relación.

Posterior a esto, fue pertinente, mediante llamada telefónica contactar con los dueños de las otras dos fincas, buscar recopilar la misma información con la cual fue formulado el ICV de la finca objeto de estudio. Cabe destacar que variables como el consumo de energía eléctrica y térmica, de agua, gasolina o de cuajo no fue posible conseguirla gracias a que los dueños no cuentan con un registro de este tipo de información, mientras que insumos como la sal, el hipoclorito de sodio y el detergente, lo dueños proporcionaban información empírica y aproximado del consumo mensual, siendo valores casi similares a los de la finca seleccionadas por lo tanto fueron utilizados para la tras dos fincas. No obstante, la producción de leche si varia, ya que producen 140 y 110 litros al día cada una de las fincas.

Gráfica 22. Comparación en la distribución del producto



Comparando 1 kg 'Curd Cheese, from cow Raw milk, fresh, unripened' con 1 kg 'Curd Cheese, from cow Raw milk (3), fresh, unripened'; Mét

Fuente: Elaborado por este estudio

Para llevar a cabo esta etapa se asume que se requiere la misma cantidad de insumo para la producción de 1 Kg de queso, así se utilicen 130 L al día o 380 L. Lo que se busca determinar en este escenario es la disminución en la categoría de agotamiento de los combustibles fósiles, dependiendo un transporte de 14,75 Kg o 43,11 Kg de queso en un recorrido de 9,2 km. Al analizar la Gráfica 22 se identifica que un aumento en la cantidad de producto transportado disminuye desde el 20% en categoría de efectos cancerígenos, hasta 60 % en el agotamiento de los combustibles fósiles.

Teniendo en cuenta el reporte elaborado IDF & FAO (2010) se identifica que solo el transporte de la fábrica hasta los punto de venta puede generar 10% de las emisiones de GEI. Ya entrando en detalle, este mismo reporte afirma un recorrido de 100 Km para el transporte de queso puede llegar a generar 20 g de dióxido de carbono por kilogramo de queso, siendo un factor que en la medida que se recorran mayores distancias mayores serán las emisiones. Aun así, Schmitt *et al.* (2017) menciona que la distancia no posee una correlación con las emisiones, ya que estas se atribuyen en mayor medida por el modo de transporte y la eficiencia en el sistema de distribución, definido por la capacidad de carga del vehículo, es decir, la capacidad de este para transportar el total de su volumen y lograr el mejor funcionamiento. Es por esto que Djekic *et al.* (2018) afirma que las pequeñas productoras de cualquier derivado lácteo poseen un fuerte impacto en esta fase del ciclo de vida debido a que los vehículos utilizados para tal fin no poseen una alta eficiencia ya que con en su mayoría no son destinados para el transporte de carga, lo que ocasiona una combustión incompleta durante su uso, cabe aclarar que esto sucede cuando se sobrepasa su límite permisible de peso, pero a pesar de esto sigue siendo un punto crítico al momento de analizar empresas pequeñas o artesanales.

7.6 Propuesta de Gestión Ambiental

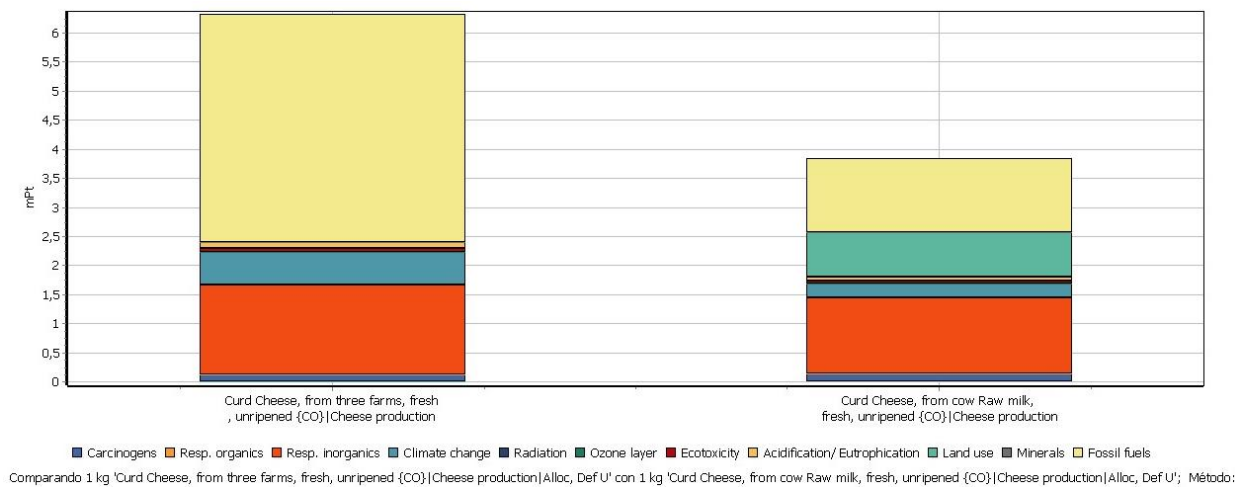
Con respecto a los resultados obtenidos en la simulación de los distintos escenarios para lograr una disminución de los impactos ambientales del queso suave tipo cuajada en la finca, y teniendo en cuenta, las necesidades de la finca y su interés por mejorar su procesos productivo, se propone la elaboración de un plan para la gestión ambiental empresarial adecuada de la confección de este derivado lácteo, con base en aquellas actividades inmersas en el subsistema de la fábrica de queso.

De aquí, se identifican tres puntos críticos en el cual este propuesto busca incidir, el uso de jabón sódico para la remoción de la grasa en los procesos de limpieza, el consumo de combustibles fósiles debido al transporte del producto terminado a su punto de venta, y la repercusiones a la salud por el uso

de leche cruda (sin pasteurizar) como materia prima en la elaboración de queso tipo cuajada. Por tal motivo, esta propuesta se centrará en la el desarrollo de buenas prácticas de manufactura con respecto a la elaboración de este derivado lácteo, teniendo en cuenta las variables ambientales, de la salud humana y económicas del cambio de los escenarios propuestos.

Para ello se definirá un escenario alternativo, en donde se genere un cambio de las variables críticas de este proceso productivo, a fin de encontrar las mejores alternativas para la finca. El primer escenario planteado es el cambio los insumos de limpieza, más específicamente el del jabón sódico por hidróxido de sodio, al ser un compuesto que reduce las categorías de impacto, especialmente del uso del suelo. Seguidamente, la compra de leche a otras fincas puede ser una opción para reducir el consumo de combustibles en la etapa de distribución del producto terminado, ya que como sugiere Sheane et al. (2011), para la reducción de esta etapa crítica se requiere de aumentar la cantidad de queso transportado al punto de venta. De esta manera, se busca aumentar la cantidad de queso producida por la finca, a fin de reducir las emisiones de los insumos a las distintas categorías de impacto y aumentar los ingresos de la misma. Como último, punto se presenta la inclusión de la fase de pasteurización en la fabricación de queso tipo cuajada en la finca, a manera de respuesta a Resolución 2310 de 1986 del Ministerio de Salud, referente al a procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los Derivados Lácteos.

Gráfica 23. Puntuación única del escenario actual de la finca y el propuesto.



Fuente: Elaborado por este estudio

Excluyendo el proceso de pasteurización, el cual aporta el 3 mPt del agotamiento de combustibles fósiles, 0,372 mPt al cambio climático y 0,569 mPt de la respiración de partículas orgánicas, se presenta una reducción del 40% del total de todos los mPt obtenidos, especial en categorías en la respiración de partículas orgánicas (56,7%) e inorgánicas (25,8%), cambio climático (20,2%), acidificación/ecotoxicidad (32,8%), uso del suelo (97,9%) y agotamiento de combustibles fósiles (27,7%). González-García, Castanheira, et al., (2013), quien también lleva a cabo la simulación de distintos escenarios en la elaboración de queso maduro portugués, afirma que la reducción de más del 10% de las categorías de impacto resultan ser cambios representativos para la toma de decisiones en la manufactura de cualquier tipo de queso.

La categoría de impacto más influenciada con este nuevo escenario es el uso del suelo, gracias al cambio del agente desengrasante, pasando de jabón sódico a hidróxido de sodio. Como se ha

manifestado anteriormente en esta investigación, el jabón implementado en la finca esta compuesto principalmente de aceite de palma, un producto que requiere de la ocupación y transformación de una gran cantidad de suelo para lograr su producción. De cualquier modo, aunque este tipo de cultivo cuente con un buen manejo en temas de sustentabilidad, llegando a reducir grandes cantidades de GEI (Schrier-Uijl *et al.*, 2013), todavía resulta ser un proceso agrícola que sigue generando grande impactos ambientales en cuanto al apoderamiento del uso del suelo (Stichnothe & Schuchardt, 2011).

Ya al momento de incluir el proceso de pasteurización se presentan un aumento en las categorías de impacto de respiración de partículas inorgánicas, cambio climático y agotamiento de los combustibles fósiles, puesto que fue utilizado gas propano para la generación de energía térmica, siendo un gas que puede presentar las mismas características ambientales del gas natural (Atlantic Consulting, 2009), siendo este último recomendado por Dalla Riva *et al.* (2018) y Bava *et al.* (2018), como un combustible con menores impactos ambientales que el petróleo.

Sin embargo, aunque el proceso de pasteurización es un aporte significativo de consumo de energía térmica (González-García, Hospido, *et al.*, 2013; Palmieri *et al.*, 2017), es una tecnología necesaria en temas de salud humana (Pal, Bekele, & Feleke, 2012). A saber, la leche cruda es reconocida como una fuente de transmisión de una gran variedad de microorganismo, los cuales pueden llegar a la leche desde la sangre de las vacas (sistema de digestión del alimento o infección por mastitis), por entrar en contacto con materia fecal o contacto con la piel humana infectada (Lucey, 2015). Entre los microorganismos que se pueden encontrar se presenta la *E.coli* o *E. aerogenes*, indicadores de materia fecal; *B. subtilis* o *C. butyricum*, bacterias esporaludadas que aceleran el proceso de degradación de la leche; *S. aureus* o *L. monocytogenes* (Nalepa & Markiewicz, 2017), generando enfermedades como la hepatitis A, gastroenteritis, tuberculosis, cólera, entre otras enfermedades perjudiciales para la salud humana. En Colombia, patógenos como *Brucella ssp*, *Brucella abortus*, *L. monocytogenes*, *Mycobacterium bovis*, *Salmonella spp*, *E.coli* y *Staphylococcus aureus* son los de mayor presencia en la leche cruda producida en este país (Acosta *et al.*, 2011).

Adicional a esto, teniendo en cuenta la Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) de la producción de los derivados lácteos, es necesario el cumplimiento de ciertas directrices, para garantizar la higiene y la manipulación sanitaria de la fabricación de cualquier alimento, para este caso en específico es necesario garantizarle la inocuidad de la leche, al ser la materia prima del queso (Juárez *et al.*, 2011). El no cumplimiento de estas puede repercutir en un proceso sancionatorio de instituciones como el INVIMA, repercutiendo en una cierre temporal o permanente de la finca, o de sanción de económicas, teniendo en cuenta la Decreto 780 de 2016 del Ministerio de Salud Pública, el cual obliga a todos los productores, importadores, trasportadores, etc., de los derivados lácteos al cumplimiento total de esta norma. Ya que es algo muy probable que ocurra debido a que, no solo en la leche, también en el queso pueden encontrarse 1000 unidades formadoras de colonia/mL en una kilogramo de este producto, siendo los factores de limpieza o desinfección del lugar, y al manejo de la leche (Carrascosa *et al.*, 2016).

7.6.1 Viabilidad técnica

Esta etapa consiste en detallar todos aquellos requisitos, que la finca debe llevar a cabo para lograr el escenario tendencial propuesto anteriormente. Para tal fin, serán tenidas en cuenta el manual de BPM de la cadena láctea, al ser una de las acciones más eficientes al momento de considerar aspectos relacionados en la producción de queso (Carvalho *et al.*, 2018); además de los riesgos biológicos, químicos y físicos en la seguridad del alimento con base en HACCP (Korakhashvili & Jeiranashvili,

2016). Cabe destacar que la ejecución de esta etapa permitirá formular de una manera más sencilla la viabilidad financiera de la empresa para optar por el nuevo escenario planteado.

Primeramente, es considerado la inclusión del proceso de pasteurización de la leche, siendo la actividad que va a poseer una mayor cantidad de requerimientos para que la finca en términos legales, higiénicos y de procedimiento. En temas legales la empresa debe registrarse a la Cámara de Comercio del municipio de Puerto López, Meta y ante la Súper Intendencia de Sociedad con el nombre respectivo de la finca y el tipo de estructura empresarial que va a ser constituida (unipersonal, sociedad anónima, persona natural comerciante, etc.), verificando que la razón social (nombre de la empresa) no se encuentre registrado, su clasificación por actividad económica y la obtención del Registro Único Tributario (RUT) ante la DIAN.

Tabla 8. Constitución de la finca como empresa, documentación

Documentos	Características
Registro de la Empresa	Debe ser entregado en la Cámara de Comercio del municipio en Puerto López, Meta
Matricula de Registro Mercantil	Es obligatorio para ejercer cualquier actividad comercial, ya que gracias a este documento, se acredita públicamente a la empresa o personal un comerciante
RUT	Mediante este documento se identifica, ubica y clasifica a las personas y entidades con obligaciones administrativa, siendo un mecanismo de control en materia tributaria, aduanera y cambiaria.
Registro Sanitario expedido por el INVIMA	Autorización para la comercialización de productos directamente al consumidor.
Acta de vigilancia y control de salud pública para expendidos de alimentos y bebidas, de la secretaria Distrital de salud	Facilita las actividades de vigilancia, inspección y control para la Secretaria de Salud
Carné de Manipulación de alimentos	Certifica la formación educativa en temas sanitarios, en cuanto alimentos
Apertura del establecimiento de la Secretaria de Planeación	Certifica el cumplimiento de las normas referentes alusión del suelo, el horario, la ubicación, sanidad, etc.
Aspectos organizacionales	Misión y visión de la empresa, valores corporativos, política de la empresa, ambiente de trabajo, estructura organizacional, funciones corporativas, aspectos relacionados con la higiene y seguridad de los trabajadores (Aseguradora de Riesgos Profesionales).

Fuente: Elaborado por este estudio

Habiendo constituido la organización o empresa, ahora si es posible una del proceso productivo en relación al cambio a los puntos críticos identificados a nivel ambiental e higiénico (en especial con el proceso de pasteurización). Para ello será utilizado el manual de BPM de derivados lácteos propuesto por la FAO (Juárez et al., 2011), al formular las 7 operaciones estándar para la elaboración de este derivado lácteo:

- Instalaciones: mejores condiciones de trabajo y para la fabricación del producto.
- Procedimientos de limpieza y desinfección: protección frente a la contaminación del producto.
- Niveles de acción de defecto: Error humano.
- Higiene del personal de trabajo: Control de enfermedades y aseo personal.
- Equipamiento y utensilios: Instalación, mantenimiento y diseño de los equipos.
- Control de patógenos: presencia de animales (insectos).
- Control de producción y procesos: Control de operaciones.

Teniendo en cuenta estos aspectos, un requisito fundamental para la elaboración de queso tipo cuajada debe ser la limpieza previa antes de iniciar el proceso productivo. Para ello se debe realizar actividades como el de barrer y trapear el lugar, extraer todos los artículos externos al proceso productivo (anillos, relojes) y lavar los equipos y utensilios de trabajo. Es así donde entra el primer punto crítico, la incorporación de hidróxido de sodio (NaOH) como agente de limpieza, en vez del jabón sódico. Este producto puede ser conseguido por la finca en el mismo punto de distribución del cuajo, con un precio aproximado de \$26000 el Kg, siendo casi cinco veces mayor que el producto utilizado actualmente por la finca. Para llevar a cabo esto, es recomendado el uso de una solución de NaOH y NaClO (van Middelaar et al., 2011).

Otra variable importante, antes de entrar a elaborar el queso es el realizar el análisis sensorial para determinar las condiciones de la leche, mediante la detección de malos olores, la identificación de un color distinto al habitual o si es el caso, mediante la ingesta del producto, entrando así al segundo punto crítico. Para la recepción de la leche proviniendo de las otras fincas sea revisado el proceso de ordeño, con el objeto de prevenir cualquier daño a la materia prima. A su vez, para una buena conservación y transporte de la leche es necesario la adquisición de jarrones metálicos para lograr el transporte adecuado de la leche, ya que si se elabora en jarrones de plástico se presenta una mayor probabilidad de contraer patógenos, siendo este material más propenso a esto que el metal.

Seguidamente, la incorporación de un proceso de pasteurización, no necesariamente debe realizarse en una pasteurizadora, ya que el fundamento de este principio de descontaminación patógena consiste en calentar la leche a una temperatura de 75°C y luego disminuirla a 38°C. Entre las distintas formas en la que puede llevarse a cabo este procedimiento se encuentra: En la estufa de cocina, la cual requiere de estar perdida durante 45 min para lograr que el objeto se caliente y de ahí la leche; también se puede llevar a cabo por una máquina pasteurizadora que elabora este procedimiento en 15 segundos. Aun así, el proceso de enfriamiento debe darse de manera natural, es decir, por cuestiones del entorno y no debe inducirse a eso.

Para la generación de esta energía térmica se identificaron tres combustibles, gasolina, gas natural y gas propano. Debido a la facilidad de la finca para la adquisición de cada una de las fuentes de energía, es seleccionado el gas propano, el cual cuenta con un poder calorífico de 44 MJ por Kg de gas, y por ende para una pasteurizadora convencional de 220 V y 10 A, que requiere de 1100 KWh, lo que equivale a 3960 MJ, se demanda un consumo de 90 Kg del combustible. Adicionalmente, este proceso de calentamiento genera una pérdida de calcio en la materia prima, y por ende de caseína, lo que impide la coagulación de la misma, y es por eso que se debe incorporar alguna fuente de calcio, como cloruro de sodio, pero en muy bajas cantidades, aproximadamente entre 10 a 12 gramos por cada 100 litros de leche (Tabares & Fera, 2009). Este producto puede ser adquirido en el mismo punto de distribución del cuajo, pero presenta un costo de aproximadamente de \$60000 pro Kg de producto.

Sin embargo, Carrascosa *et al.* (2016) identifica, mediante el uso de HACCP, que los factores de riesgo asociados a la producción de queso se encuentra en el lugar de su elaboración, más específicamente, en la fase de desuerado del queso, ya que es una fase muy vulnerable y depende de la limpieza de esta zona desarrollada, para evitar una contaminación aeróbica del producto, lo que aumentaría la presencia de patógenos como *E.coli*. Para evitar esto, la finca requiere de la adquisición de una tina quesera donde se acumule por completo la cuajada y se mejore la obtención del suero, no solo para prevenirse contaminación, también para evitar su vertimiento al alcantarillado, por lo que a su vez sería necesario un recipiente que permita la recepción del suero.

7.6.2 Viabilidad Financiera

Actualmente, la tendencia del consumo de queso en Colombia viene en aumento, en especial de aquellos quesos suaves y no procesados, como el campesino, doble crema y cuajada, al generar ventas superiores a 853000 toneladas de producto terminado para el 2016, representando un crecimiento del 34,6% en ventas para esta variedad de quesos, y se estima que para 2021, la venta de este tipo de quesos aumente a 97800 toneladas. Por otra parte, el precio de este tipo de queso a incrementado de 41,1% desde el 2011 hasta el 2016, y se espera que crezca para 2021, 19,1% (Euromonitor International, 2016).

Esto sumado al interés de los dueños de inclusiones en el mercado de la producción y venta de este producto, gracias a que lo consideran un sector con una gran oportunidad económica. Para ello, y teniendo como marco de referencia la viabilidad técnica del nuevo escenario plantado, se efectúa la viabilidad financiera de su ejecución, incorporando factores de ingresos, egresos, puntos críticos y oportunidades para la empresa.

Este análisis financiero tiene como objetivo estimar el valor económico que representaría para la finca efectuar las tres propuestas mencionadas anteriormente, la pasteurización de la leche mediante el uso de gas propano, la compra de leche en dos fincas ganaderas cercanas y el cambio del detergente desengrasante. Para ello, fue utilizado el estudio de mercadeo elaborado por Euromonitor International (2016) referente a la fluctuación de precios de este tipo de queso, clasificando en la categoría de “suave”.

En vista de esto, se plantearán dos escenarios, el primero reflejara las ganancias de la empresa anual por la adopción de esta propuesta, identificando las nuevas variables inmersas en esta como la adquisición de maquinaria, costos de capacitación, posibles beneficios tributarios por su implementación, entre otras variables que fueron plantadas en el subcapítulo anterior (viabilidad técnica). El otro escenario mostrara nuevamente las ganancias anuales de la empresa por continuar con su proceso de manufactura, contemplando las implicaciones que conlleva la permanencia de su ejecución. Asimismo, serán utilizados los indicadores financieros, con respecto a las medidas implicadas por la fijación de la propuesta, en los que se presenta el Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación (PR).

1. Escenario actual de la finca

En esta fase, se identifican los gastos e ingresos con la que cuenta a la fecha la finca para la producción de queso tipo cuajada, cabe recalcar que no se incorporaran los riesgos debido a la producción de leche, considerando factores como animales enfermos, temporada de año, disminución de la producción de esta materia prima. En la viabilidad financiera se asumirá que se producirán 130 litros de leche y la

venta de 14,75 Kg de entre tres a cuatro veces a la semana, debido a que la finca no cuenta con un registro histórico de su producción.

Tabla 9. Costos unitarios de producción (CUP) del queso tipo cuajada

Insumo	Precio	Cantidad	Costo (\$)
Leche ²⁵	715 \$/L	8,84 L	6321
Cuajo	25000 \$/L	0,002 L	50
Sal	1100 \$/Kg	0,045 Kg	50
Hipoclorito de sodio	4345 \$/L	0,08 L	348
Detergente	5222 \$/Kg	0,001 Kg	5
Gas propano	259 \$/metro cubico	0,091 metros cúbicos	24
Electricidad	215 \$/KWh	0,526 KWh	113
Gasolina	2345 \$/L	0,034 L	79
Sueldo empleado	1370 \$/h	0,136 h	186
Consto de producir 1 Kg de queso tipo cuajada			7175

Fuente: Elaborado por este estudio

De esta manera, se estima que a la finca le cuesta 7175 \$ producir 1 Kg de queso tipo cuajada, y gracias a que la producción anual de este producto es de 2677,13 Kg, generando ingresos 19208371 \$/año de gasto en insumos y sueldo de empleado. Adicional a esto, se asume gracias al Decreto 780 de 2016 del Ministerio de Salud, donde se alberga la Resolución 2319 de 1986, por el cual se reglamenta referente a procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los Derivados Lácteos, se implantaría una sanción a la empresa por comercializar un derivado lácteo si un tratamiento previo de la leche y por las condiciones higiénicas de la fábrica, además de que estas aumentan debido a la reincidencia de la actividad sancionada. Por otra parte, para presentar la evolución de los costos en periodo de 2019 a 2024, es utilizado el Índices de Precios al Consumidor (IPC)²⁶, calculado por el DANE para un periodo de 12 meses, desde abril de 2017 hasta marzo de 2018, con un valor de 3,14% (DANE, 2018).

Tabla 10. Egresos de la finca para el periodo de 2018 - 2023

Variable	Costo del escenario actual (\$/año)				
	2019	2020	2021	2022	2023
Gastos de la finca para la producción de queso	19.208.371	19.811.514	20.433.595	21.075.210	21.736.972
Sanciones por la no pasteurización de la leche	6.466.000	6.669.032	6.878.440	7.094.423	7.317.188
Sanciones por la condiciones higiénicas de la fábrica	2.245.000	2.315.493	2.388.199	2.463.189	2.540.533
Total	27.919.371	28.796.039	29.700.235	30.632.822	31.594.693

Fuente: Elaborado por este estudio

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se elabora el total de los ingresos de la finca desde el 2018 hasta 2023, teniendo en cuenta la variación del precio de venta del queso suave tipo cuajada de este producto para los periodos de 2016 a 2021 propuesto por Euromonitor International el cual es de 3,4%, por lo que se asume que anualmente el precio de la cuajada aumenta este valor con respecto al año anterior. No fueron incluidos los ingresos de la finca proveniente de las otras actividades económicas, como la venta de animales como pavos, gallinas y cabras, debido a la falta de información por parte de los

²⁵ A pesar de que en la fábrica se produzca el ordeño de las vacas, esta requiere de insumos en los que se encuentran el alimento del animal, los medicamentos, el sueldo de los trabajadores entre otros.

²⁶ Esta tasa mide la evolución del costo promedio de los bienes y servicios representativos del consumo final de los hogares, expresado entre dos periodos de tiempo representando la inflación observada en dicho lapso (Banco de la República de Colombia, 2018)

dueños de la finca y a que no se está analizando el flujo de caja de toda la finca solo de la fábrica de queso.

Tabla 11. Ingresos de la finca para el periodo de 2018 - 2023

Año	2019	2020	2021	2022	2023
Precio (\$/Kg de queso)	7.600	7.880	8.170	8.470	8.782
Ingreso (\$ millones/año)	20,346	21,095	21,871	22,676	23,511

Fuente: Elaborado por este estudio

Tabla 12. Ingresos de la empresa para el periodo 2018 - 2023 del entorno actual

	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos (\$ millones/año)	20,346	21,095	21,871	22,676	23,511
Egresos (\$ millones/año)	27,919	28,796	29,700	30,633	31,595
Ganancias (\$ millones/año)	-7,573	-7,701	-7,829	-7,957	-8,084

Fuente: Elaborado por este estudio

Como se observa en la Tabla 10 la empresa va a presentar pérdidas en todos los años superiores a siete millones de pesos utilizando un IPC de 3,14% y una tasa de crecimiento del precio de la cuajada de 3,4%, por lo que se presenta un comportamiento lineal. Cabe aclarar que no fueron contemplados variables como la pérdida de leche o del producto debido a la contaminación de patógenos, o el aumento de los precios de cada uno de los insumos requeridos para la elaboración del queso tipo cuajada. Estas pérdidas están dadas principalmente por la suposición de la sanción a la finca por las condiciones higiénicas en la elaboración del queso. Por otra parte, otros no fueron incorporados otros ingresos de la finca como la venta de animales (gallinas pavos, cabras), y se asume que solo se presenta este ingreso. A saber, al integrar otro coste a la finca, como es el caso de las sanciones, generaría pérdidas anuales superiores a siete millones, y en vista de que la venta de este derivado lácteo permite el sostenimiento de la finca, en la compra de insumos, mantenimiento de los animales, de la casa, etc., al incorporar el tema legal, empezaría a no ser sostenible a nivel económico.

2. Escenario alternativo

Para el planteamiento de este escenario serán consideradas las mismas asignaciones descritas anteriormente, en relación la tasa del precio del queso, el IPC y las áreas involucradas. Por otra parte, en cuanto a las actividades de inversión se encuentra la compra de la máquina pasteurizadora, las capacitaciones a las que se deben someter los trabajadores para la elaboración del queso, la compra de la leche, el cambio del detergente a utilizar y el uso de nuevos ingredientes que se incorporan al proceso productivo como es el cloruro cálcico.

Tabla 13. CUP de queso tipo cuajada en el nuevo escenario

Insumo	Costo unitario	Cantidad por UF	Costo (\$)
Leche	715 \$/L	8,8889 L	6349
Cuajo	25000 \$/L	0,0023 L	58
Sal	1100 \$/Kg	0,0461 Kg	51
Cloruro de Calcio	60000 \$/Kg	0,000978 Kg	59
Hipoclorito de sodio	4345 \$/L	0,0009 L	4
Detergente (NaOH)	26000 \$/Kg	0,0835 Kg	436
Gas propano	259 \$/metro cubico	8,728 metro cúbico	2261
Electricidad	215 \$/KWh	0,526 KWh	113
Gasolina	2345 \$/L	0,04070 L	95
Sueldo empleado	1370 \$/h	0,070 h	95

Insumo	Costo unitario	Cantidad por UF	Costo (\$)
Consto de producir 1 Kg de queso tipo cuajada			9864

Fuente: Elaborado por este estudio

El escenario actual muestra que ahora el costo unitario de producción sube a \$9864, prestando un aumento de más del 20% de escenario actual, por consiguiente, es necesario aumentar el precio de venta del producto, y de esta manera generar una margen de utilidad. Sabiendo esto, se toma el margen de utilidad presentado en el escenario inicial, el cual corresponde al 5,6%, por lo que el precio del queso tipo cuajada sería de \$10416 para lograrlo. No obstante, debido al alcance de la investigación, no se determinará las implicaciones que este incremento del precio genera para la finca, ya que para ya que requeriría un análisis de mercadeo del producto.

Tabla 14. Egresos de la finca para el periodo de 2018 - 2023

Variable	Costo de inversión (\$)	Características
Registro ante cámara de comercio	251.500	Documento necesarios para registrar la finca en la cámara de comercio.
Maquina pasteurizadora	7.634.116	Con una capacidad de almacenamiento de 400 Litros
Mantenimiento de la pasteurizadora	1.000.000	Limpieza y revisión de las instalaciones y de las maquinarias
Cantinas	3.750.000	Recipientes de acero inoxidable con tapa ajustable con una capacidad de almacenamiento de 40 litros (15 unidades)
Tina quesera	1.490.000	Tina de acero inoxidable de 400 litros de capacidad
Liras (horizontal y vertical)	150.000	Acero inoxidable
Mesa de escurrido	1.490.00	Mezcla de acero inoxidable con borde y descargue con un volumen de 1,02 metros cúbicos
Capacitaciones	2.000.000	Adquirir competencias y habilidades en la elaboración de este producto lácteo. Incluye los utensilios de limpieza y manejo del producto
Total de la inversión	16.275.616	

Fuente: Elaborado por este estudio

Para el cumplimiento de la alternativa planteada en esta investigación, la finca debe de invertir más de 16 millones de pesos, a fin de cumplir lo establecido en el análisis de viabilidad técnico. Es decir, esta suma de dinero es lo que le costará a los dueños para reducir los mayores impactos ambientales, de la elaboración del queso tipo cuajada, y de cumplir con los requerimientos legales, en cuanto a inocuidad de los alimentos, dentro de la fábrica. Cabe aclarar que insumos como el hidróxido de sodio, cloruro de calcio y el consumo de energía fueron valores considerados en el CUP de este escenario (Tabla 11), en relación a su consumo con respecto a la unidad funcional.

La capacitación es un proceso que es incorporado en los temas de inversión debido a que gracias a este, los dueños pueden familiarizarse con el desarrollo de BPM, en relación al tipo de vestuario, los controles periódicos que deben ser evaluados, formas de manejo de los insumos y de elaboración del producto. Por otra parte, las capacitaciones también incluyen todos los permisos que requieren los dueños para la elaboración de productos para consumo humano, a manera de certificar las habilidades adquiridas en la manufactura del queso.

Tabla 15. Ingreso anuales de la elaboración del queso tipo cuajada

	2019	2020	2021	2022	2023
Costo del queso (\$/Kg de queso)	10.416	10.770	11.136	11.515	11.906
Ingresos (\$ millones/año)	81,731	84,510	87,383	90,354	93,427

Fuente: Elaborado por este estudio

Al igual que con el primer escenario, fue utilizada una tasa en el aumento del precio del queso suave tipo cuajada de 3,4%. Por otra parte, para definir el precio que permita generar una utilidad a los dueños, fue trasladado el valor obtenido para el escenario actual de la empresa que fue de 5,6%, lo que me da un precio de \$10.416 el kilogramo de queso tipo cuajada bajo las condiciones expuestas en este segundo escenario. Al final, para 2024 el precio del kilogramo de queso aumentará a un 15% para este periodo.

Tabla 16. Flujo de efectivo neto del escenario 2

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos (\$ millones/año)	-	81,731	84,510	87,383	90,354	93,427
CUP (\$/Kg de queso)	-	9.864	10.174	10.493	10.823	11.163
Egresos (\$ millones/año)	-	77,403	79,833	82,340	84,925	87,592
Ganancias (\$ millones/año)	-	4,328	4,677	5,043	5,429	5,834
Inversión (\$ millones/año)	-16,276	-11,947	-7,270	-2,227	3,202	9,037

Fuente: Elaborado por este estudio

Antes que nada, se toma como año 0 el 2018, siendo el año donde se va a realizar la inversión y donde las actividades que son requeridas para entrar en funcionamiento de la planta. Es así como se asume que, para 2019, año 1, se inician los procesos de manufactura del queso tipo cuajada. Por otra parte, se consideró la obtención de 380 litros de leche al día para una producción de 43, 25 Kg de queso para calcular la producción anual bajo este escenario y crear una aproximación.

Teniendo en cuenta la Tabla 13 y la Tabla 14, se pudo identificar que bajo estos parámetros la finca se presenta un aumento en el CUP del queso tipo cuajada, debido al aumento en el consumo de gas propano para el procesos de elaboración, que as vez repercutió en la compra de un nuevo insumo; además, este incremento también está dado por el cambio a un insumo de un precio cinco veces mayor, como es el caso del jabón sódico el cual es cambiado por hidróxido de sodio. Sin embargo, la adquisición de una mayor cantidad de materia prima permite una mayor producción anual para la finca, siendo una de la variables que origino un aumento en el precio de venta de la cuajada. De igual forma, al evitar procesos sancionatorios se presenta un flujo de efectivo neto, generando que para el año 2022 sea recuperado en su totalidad la inversión, y de ahí en adelante, para los siguientes años generar ganancias.

Tabla 17. Indicadores económicos del escenario 2

VPN	11,49
TIR	21%
Tiempo de retorno de la inversión	3,4 años

Fuente: Elaborado por este estudio

Para la obtención de los indicadores expuestos en la Tabla 15 fue utilizado el software Excel, con el fin de calificar la herramienta de gestión ambiental utilizada para la reducción de los impactos ambientales

de la fábrica. En principio se obtiene que la inversión realizada por la finca tenga un periodo de retorno de 3,4 años bajo las condiciones descritas anteriormente, es decir, luego de haber pasado este tiempo solo se generaran ganancias para empresas. Sumado a esto, el VPN, el cual representa la diferencia entre el valor presente de los ingresos actuales y futuros, y el valor presente de los costes actuales y futuros durante un periodo. Por lo tanto, este indicador puede representar un valor negativo, en donde se presenta un valor mayor de los costes que de los ingresos; cero, cuando se presentan los mismos costes e ingresos; y positivo, cuando hay mayores ingresos que costes, siendo este último el ideal. Para este proyecto se presenta un valor positivo (11,49) para el periodo de 2019 hasta 2023, indicando que el proyecto es viable de ejecutar para la empresa, y que al final va a presentar una mayor cantidad de ingresos que de costes (Krugman *et al.*, 2006). Finalmente, la TIR refleja la tasa de interés que generaría que el VPN fuera igual a cero, y para ello se necesitaría una de 21%, siendo la tasa de oportunidad igual a 3,14%, este valor proporcionado por el indicador indica que el retorno del proyecto es suficiente para compensar el coste de la inversión, generando un rendimiento adicional (Miranda, 2005).

Un factor a tener en cuenta al momento de obtener estos valores en cada uno de los indicadores, y confirman la viabilidad del proyecto, depende en gran medida al aumento de la producción de queso tipo cuajada, es decir, dejando de lado el tema de la inversión o los temas sancionatorios, entre menor sean la producción de queso mayores serán los costos de producción. Durham *et al.* (2015) encuentra una relación que indica que entre menor sea la manufactura de queso anual en empresas artesanales de este derivado lácteo mayores serán los costos de producción, afirmando que para este tipo de empresas aumentar la producción anual para disminuir costes. Asimismo, apoya el uso de este tipo de indicadores para evaluar su flujo de efectivo de estas empresas, ya que estas no cuentan con bases de datos robustas sobre su información económica.

Por otra parte, otro factor clave en la viabilidad de este tipo de proyecto es la definición del precio de venta, ya que las empresas artesanales deben maximizar esta variable, mediante el uso del menor precio posible que genere una utilidad. Meunier-goddik (2012), propone que la eficiencia de una empresa artesanal de queso está dada en obtener el precio mínimo de venta que genere la mayor viabilidad a la empresa, al momento de desarrollar una inversión. Con esto el autor indica y propone que es necesario identificar aquel valor de utilidad mínimo para lograr una viabilidad de cualquier inversión, con el fin de tener un margen para la selección del precio de su producto (Gráfica 22). Gracias a esta Gráfica, se estima que la tasa de utilidad del precio de venta debe ser superior de ser superior del 3% para generar un VPN casi igual a cero y que el proyecto sea rentable para ese periodo.

Gráfica 24. VPN con respecto a la utilidad de la empresa en el precio del queso tipo cuajada



Fuente: Elaborado por este estudio

8 Conclusiones

Para el desarrollo del ICV fue delimitado como objetivo del ACV el evaluar los impactos ambientales de la cadena de producción de queso suave tipo cuajada, y así, definir aquellos puntos críticos, especialmente enfocados a la fábrica de queso. Para ello fueron seleccionados tres subsistemas, la producción de leche, de queso y el tratamiento de sus vertimientos. Por ende, el alcance de este ciclo de vida se presenta desde la producción del concentrado animal hasta la distribución del queso tipo cuajada al punto de venta. Para tal fin, fue seleccionada una perspectiva de “Black Box”, donde los insumos y residuos se toman como entradas y salidas y no como un sistema completo, utilizando un modelo de expansión del sistema, debido a que la fabricación de queso posee múltiples salidas, el derivado lácteo y el suero de leche. Por otra parte, fueron excluidas variables como la elaboración de los bienes capitales y las actividades de los trabajadores, al representar menos del 5% de los resultados del ACV para el queso.

Como datos de primer plano para la finca, en relación con el queso tipo cuajada, es evidente que la leche es el principal ingrediente al momento de elaborar este producto; además se recalca que la finca utiliza agentes de limpieza distintos a los reportados habitualmente en la literatura ácido nítrico y NaOH. Por otra parte, se identifica que la finca no cuenta con altos consumos de energía, en comparación con los artículos científicos revisados, al no utilizar métodos de pasteurización, bombeo o agitación en el proceso, ya que se elabora de manera artesanal. Por último, la finca utiliza dos combustibles fósiles, gasolina para la compra de insumos y distribución del producto, y gas propano para la producción de energía térmica utilizada para evaporar el agua y lograr la desinfección de los costales.

Por otra parte, al evaluar los impactos ambientales, mediante el método Eco-indicador 99, de la cadena de producción del queso suave tipo cuajada, se identificó que la producción de leche representa más del 90% de las categorías de impacto, siendo el alimento animal aquel que proporcionó el más del 80% del total de las emisiones. Aunque autores como Doublet et al. (2013) y Finnegan et al., (2017) le

atribuyen estos impactos a procesos biológicos o producción, además del uso de fertilizantes o herbicidas en las fincas ganaderas, esta investigación obtuvo que el concentrado animal proporcionado es el culpable del 82% de los impactos totales en el ciclo de vida del queso tipo cuajada. Más aún este resultado tiene gran importancia debido a que el aporte nutricional no justifica el impacto ambiental que genera, principalmente por la deficiencia de la enzima fitasa, la cual facilita la digestión de la comida en los rumiantes.

Otra implicación en el uso de este tipo de alimento está dado por la emisión es de partículas inorgánicas, en especial, PM 2.5 por el arado de suelo para la siembra de soya; asimismo para la extracción de la proteína vegetal, mediante el uso de etanol, se requiere de grandes emisiones de etano aportando a la categoría de respiración de partículas orgánicas. Ya para el segundo tipo de categorías, el alimento es la principal fuente de óxidos de nitrógeno y amonio, siendo gases que generan acidificación y eutrofización; a su vez, también los daños al suelo por temas de ocupación y transformación en los procesos de arado; y en el agotamiento de combustibles fósiles debido a la extracción de la proteína de la soya

Por otra parte, a los fertilizantes, debido a su uso y producción, se les atribuye las categorías de impacto de efectos cancerígenos al contar con la presencia de arsénico y cadmio en su composición; adicionalmente la liberación de sustancias radiactivas ionizantes como el radón 22 y carbono 14. También en la emisión de partículas inorgánicas como PM 2.5 por su producción y de óxidos de nitrógeno y azufre por su uso. En cuanto a los herbicidas aportan los mayores daños a los ecosistemas por ecotoxicidad debido al contenido de diuron y la del suplemento (dristal) representa las mayores emisiones de níquel en términos de energía por el uso de combustibles fósiles

En cuanto al segundo subsistema, la fábrica de queso, variables como el consumo de energía o transporte de insumos a la finca (especialmente la leche), no representaron valores significativos para la categoría de agotamiento de recursos fósiles, como era de esperarse al momento de evaluar el ACV para este subsistema. A causa de esto, el utilizar cloro como agente desinfectante refleja los mayores aportes en las distintas categorías de impacto al evaluar por separado el subsistema de fabricación del queso. Ya en cuanto al tratamiento de las aguas residuales, representaron menos del 1% del total del daño ambiental en la cadena de producción de queso tipo cuajada. Esto se debe principalmente a que la finca aprovecha más del 90% del suero de leche como alimento para los animales de la finca, gracias a su alto valor nutricional, al poseer una eficiencia proteica de 3,5, siendo superior al de proteínas de la leche como la caseína de 2,6, por lo tanto se presenta una mayor capacidad para proporcionar nitrógeno en un patrón equilibrado de aminoácidos esenciales y no esenciales.

Como puntos críticos en el ciclo de vida del queso tipo cuajado, se identifica a la leche como la mayor representatividad en esta cadena de producción, siendo en su mayoría aportando por la elaboración del concentrado animal. Seguido de este subsistema, se presenta la fábrica debido al tipo de detergentes utilizados y a la distribución del producto. Finalmente, con menos de 1% de representatividad, el tratamiento de las aguas residual no fue considerado un impacto significativo en las categorías mediante el método Eco-indicador 99. Como puntos de intervención, fueron seleccionadas dos actividades, el cambio únicamente del jabón sódico por hidróxido de sodio, dado que el ácido nítrico genera altos impactos en relación al consumo de combustibles fósiles; y por otra parte, el aumento en la producción de queso por parte de la fábrica. Al elaborar el análisis de sensibilidad de los resultados mediante el método OAT, se identifica una disminución en todas las categorías de impacto al momento de cambiar el jabón sódico por hidróxido de sodio; y por otra parte, la distribución del producto

disminuyo más del 20% en casi todas las categorías de impacto por un aumento de la producción de leche.

Esto permitió postular dos propuestas encaminadas a la resolución de las problemáticas ambientales, y una en términos legales y sanitarios. Para ello fue elaborado un análisis de viabilidad técnica y financiera, con el fin de corroborar o no las soluciones planteadas para mejorar el proceso productivo del queso tipo cuajada. Esta propuesta consistía en llevar a cabo el proceso de pasteurización y diseño de la fábrica de queso que permitiera el desarrollo óptimo del derivado lácteo, y sumado a esto se iba a cambiar el tipo de detergente desengrasante por hidróxido de sodio y la asociación entre las tres fincas para el aumento de la producción de leche.

En la viabilidad técnica, mediante el uso del manual sobre BPM de la cadena láctea propuesto por la FAO y los riesgos identificados por la metodología de HACCP del autor Carrascosa *et al.* (2016). Se considera como primer punto registrar a la finca como empresa en la cámara de comercio de Puerto López, a fin de cumplir con los requerimientos legales en la producción de alimentos para venta y consumo humano. Luego de esto, se define, gracias a las metodologías mencionadas anteriormente, la limpieza e inocuidad del alimento, en el que es necesaria la preparación del entorno de trabajo mediante la limpieza y desinfección de la fábrica previa a iniciar el proceso de manufactura del queso. Posteriormente, otro factor de riesgo es la calidad de la leche, por lo que es necesario realizar un análisis sensorial para verificar las mejoras de calidad de esta materia prima. Finalmente, se encuentra que el lugar de separación de la cuajada y el suero es necesario efectuarlo en un lugar específico donde se pueda contrarlar el tema higiénico en la elaboración del queso.

De escenario actual de la finca se identifica una tasa de utilidad del 5,6% por la venta del queso, que sumado con las posibles sanciones incumplidas en temas sanitarios, para el año 2023, si continúan con el este sistema y asumiendo que son penalizados, para ese año obtendrán una pérdida de más 40 millones de pesos. Para el escenario ideal, se llega a cabo una inversión de aproximadamente 15 millones de peso, y con una utilidad del 5,6% se identifica que el tiempo de retorno es de 3,4 años, lo que indica que en el periodo de tiempo del 2019 – 2023 las finca a realizar este tipo de inversión obtendría un VPN superior a cero, lo que indica una propuesta viable para las condiciones planteadas en esta propuesta.

9 Recomendaciones

La principal recomendación para disminuir el margen de error al momento de elaborar el ACV del queso tipo cuajada en la finca, es realizar un registro del consumo de cada uno de los ingredientes utilizados en la elaboración de este producto. Esta recomendación consiste en estandarizar la cantidad de cada uno de los insumos que se requieren para la elaboración del queso, y establecer un valor único, facilitando, no solo el diseño de este tipo de investigaciones, también ayudaría a la finca a distribuir sus recursos. Por otra parte, este registro también puede ser utilizado para la producción de leche, en términos de consumo de agua, medicamentos, cálculo exacto de la producción de leche de cada animal, etc. Esto permitiría fijar un patrón de consumo en la finca, así como de encontrar una tendencia en los animales, logrando identificar deficiencias, debilidades o posibles daños que pueden estar ocurriendo.

En cuanto al análisis de sensibilidad, fue utilizado uno de los métodos más básicos y simples al momento de elaborar un ACV. No obstante, es necesario elaborar esta etapa utilizando un método que genera una mayor consistencia de los resultados, donde no sea evaluado solamente los parámetros de entrada. Este sería el caso del método de Efectos Elementarios (MEE), el cual es reconocido como una extensión del método OAT, ya que

incorpora las variables de entrada y a esto se le suman los cálculos de los resultados. De esta manera, para identificar un método que relacione la disminución de los impactos con el factor modificado, el MEE proporciona un indicador de esta interacción o de los efectos no lineales, y este cambio es conocido como el efecto elemental (Groen *et al.*, 2014).

Sumado a esto, investigaciones realizadas por Aguirre-Villegas *et al.* (2012), Bava *et al.* (2018), Broekema & Kramer (2014), Dalla Riva *et al.* (2017), Palmieri *et al.* (2017) y Santos *et al.* (2017) incluyen las variables de composición de la leche y del queso para evaluar la sensibilidad de los resultados, debido a que esta puede determinar la cantidad de materiales a usar. De igual forma puede ser un factor determinante para la dieta humana ya que un producto con bajos impactos ambientales pero con una baja calidad de vitaminas y minerales no puede ser considerado en su totalidad como sustentable (Saarinen *et al.*, 2017).

Además, para elaborar el ACV de toda la cadena de producción de la cuajada, se debe incorporar un proceso de empacada, ya que varios autores lo establecen como un factor crítico en la categoría de Agotamiento de Combustibles Fósiles; también es necesario la integración de la fase de compra, consumo y disposición final del producto, y de esta manera, completar con el ciclo de vida de este derivado lácteo y tomar el enfoque *Candle – Grave* o de la Cuna a la Tumba. Otro tipo de investigación recomendado es el análisis financiero para este producto debido a los cambios efectuados en el precio y su composición. Este estudio consideraría las implicaciones que conllevaría un cambio en el precio de venta de la cuajada, ya que el análisis de viabilidad técnica y financiera solo era contemplado bajo ciertas condiciones; y asimismo, las implicaciones en el sabor del producto por un proceso de pasteurización.

Ya para la ejecución de un ACV es necesario crear una base de datos en Colombia con el objetivo de reunir una gran cantidad de información relacionado con el consumo de combustibles fósiles, las emisiones al aire y agua de los diferentes productos. En el sector de los lácteos sería de vital importancia debido a que es una de las mayores actividades que requieren de la ocupación y transformación del suelo, por lo que una iniciativa del ciclo de vida de la cadena láctea permitiría una mayor facilidad para la toma de decisiones en el ámbito institucional por organizaciones como FEDEGAN, o en el ambiente empresarial de cada uno de los ganaderos.

En el caso del queso, es un producto que está siendo dominado por las grandes industrias quienes se están tomando el mercado, por lo que sería interesante evaluar los impactos ambientales generados por estas grandes empresas con respecto a la esta finca ganadera, luego de haber llevado a cabo la tecnificación y el cumplimiento de los requerimientos legales y sanitarios. Esto podría ser una ventaja debido a que uno de los mayores impactos en la cadena de producción del queso es el transporte de la leche en la fábrica (Finnegan, 2017), pero si se inician procesos de capacitación para la elaboración de queso en las distintas fincas, este impacto podría reducirse. Por lo que sería interesante continuar con esta investigación luego de la tecnificación de los procesos en esta finca, en aras de comparar estos dos procesos.

Por otra parte, uno de los mayores impactos ambientales en la producción de queso está dado por el transporte de la leche a la fábrica. Los procesos artesanales en su mayoría no poseen esta fase debido a que en la misma finca se obtiene la leche para la producción de queso tipo cuajada. El enfocar los estudios a mejorar el sistema productivo de este tipo de procesos de fabricación permitiría no solo reducir los impactos ambientales en la producción de este derivado lácteo, también evitar las pérdidas económicas de los ganaderos debido a la fluctuación de precios de la leche, siendo el queso un

producto que en los últimos años ha venido en aumento su consumo y precio, siendo el queso considerado como un valor añadido a la producción de la leche. De esta manera, y debido a el control de este sistema productivo por parte de las grandes industrias como Alpina o Colanta, sería interesante la estandarización y capacitación de aquellos productores artesanales de queso para lograr un producto con los menores impactos ambientales y con una mejor calidad hacia el consumidor.

Recomendación Elaborar una comparación de los impactos ambientales de otro tipo de quesos colombianos como el queso paila, doble crema o campesino, en especial de estos últimos dos ya que Colombia tiene la tendencia de consumir quesos suaves, es decir, sin un proceso a de maduración. Esta comparación resultaría útil, ya que la elaboración de cada tipo de queso posee etapas o pasos diferentes, por ejemplo, en el queso campesino, a diferencia de la cuajada presenta un proceso de molido, donde se reduce el diámetro de las partículas de queso lo que genera una disminución en la retención de suero por parte del queso. En cambio, en la elaboración del queso doble crema, requiere de un nuevo proceso de calentamiento, en donde luego del desuerado, el queso entra en un proceso térmico donde se busca una división de la proteína a del queso a fin de darle esa contextura.

Bibliografía

- Acosta, N., Calderón, A., Cortes, M., Correa, D., Durando, A., Gamboa, Y., ... Vásquez, J. (2011). *IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS BIOLÓGICOS ASOCIADOS AL CONSUMO DE LECHE CRUDA BOVINA EN COLOMBIA*. Bogotá D.C. Retrieved from <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/Er-peligros-biologicos-en-leche.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2004). *Ammonia*. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp126-c1-b.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2005). *Carbon tetrachloride*. Atlanta. Retrieved from http://whqlibdoc.who.int/ehc/WHO_EHC_208.pdf
- Agri-footprint 2.0. (2015a). *Part 1: Methodology and basic principles*.
- Agri-footprint 2.0. (2015b). *Part 2 : Description of data* (Vol. 0).
- Aguirre-Villegas, H., Milani, F., Kraatz, S., & Reinemann, D. (2012). Life cycle impact assessment and allocation methods development for cheese and whey processing. *Trans ASABE*, 55(15).
- Alter, S. (2013). Work System Theory: Overview of Core Concepts , Extensions , and Challenges for the Future. *Journal of the Association for Information Systems*, 14(2), 72–121. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.10.022>
- Aranda, A., Zabalza, I., Martínez, A., Valero, A., & Scarpellini, S. (n.d.). *El Analisis del Ciclo de Vida como Herramienta de Gestión Empresarial*. (F. Confemetal, Ed.). Madrid: Gráficas Marcas S.A.
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. *Procedia Computer Science*, 44(C), 669–678. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>
- Atlantic Consulting. (2009). *LPG's Carbon Footprint Relative to Other Fuels*. Gattikon. Retrieved from [http://www.aegpl.eu/media/21020/atlantic consulting scientific review carbon footprint, ed. 2009.pdf](http://www.aegpl.eu/media/21020/atlantic_consulting_scientific_review_carbon_footprint_ed_2009.pdf)
- Baldini, C., Gardoni, D., & Guarino, M. (2017). A critical review of the recent evolution of Life Cycle Assessment applied to milk production. *Journal of Cleaner Production*, 140, 421–435. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.078>
- Barrett, K., & Jaward, F. M. (2012). A review of endosulfan, dichlorvos, diazinon, and diuron - Pesticides used in Jamaica. *International Journal of Environmental Health Research*, 22(6), 481–499. <https://doi.org/10.1080/09603123.2012.667794>
- Barthel, M., James, K., Guinness, J., & Baker, C. (2014). *Hotspots Analysis: mapping of existing methodologies, tools and guidance and initial recommendations for the development of global guidance*. Retrieved from <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2014/12/UNEP-Hotspots-Mapping-Project-Final-Report-Phase-1.pdf>
- Battini, F., Agostini, A., Tabaglio, V., & Amuducci, S. (2016). Environmental impacts of different dairy farming system in the Po Valley. *Journal of Cleaner Production*, 112, 91–102.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.025>

- Bava, L., Bacenetti, J., Gislou, G., Pellegrino, L., D'Incecco, P., Sandrucci, A., ... Zucali, M. (2018). Impact assessment of traditional food manufacturing: The case of Grana Padano cheese. *Science of the Total Environment*, 626, 1200–1209. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.143>
- Benis, K., & Ferrão, P. (2017). Potential mitigation of the environmental impacts of food systems through urban and peri-urban agriculture (UPA) – a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 140, 784–795. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.176>
- Berlin, J. (2002). Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. *International Dairy Journal*, 12(11), 939–953. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00112-7](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00112-7)
- Bertalanffy, L. Von. (1976). *Teoría General de Sistemas* (Primera ed). México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Bidstrup, M. (2015). Life cycle thinking in impact assessment—Current practice and LCA gains. *Environmental Impact Assessment Review*, (54), 72–79.
- Brancoli, P., Rousta, K., & Bolton, K. (2017). Life cycle assessment of supermarket food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 118, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.024>
- Bravo, V. (2017). *Plan de Desarrollo Puerto López para Todos (2016 - 2020)*. Puerto López. Retrieved from [http://www.puertolopez-meta.gov.co/Transparencia/ControlyRendiciondeCuentas/Informe de Gestión Puerto López para todos periodo 2016.pdf](http://www.puertolopez-meta.gov.co/Transparencia/ControlyRendiciondeCuentas/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%20Puerto%20L%C3%B3pez%20para%20todos%20periodo%202016.pdf)
- Bringezu, S. (2003). Industrial Ecology and Material Flow Analysis: Basic concepts, policy relevance and some case studies. In J. Bourg, Dominique; Erkman, Suren; Chirac (Ed.), *Perspectives on Industrial Ecology*. Greenleaf.
- Broekema, R., & Kramer, G. (2014). *LCA of Dutch semi-skimmed milk and semi-mature cheese*. Netherlands.
- Caddy, I. N., & Helou, M. M. (2007). Supply chains and their management: Application of general systems theory. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 14, 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2006.12.001>
- Çakmakçi, S., & Boroğlu, E. (2004). Some quality characteristics of commercial liquid rennet samples. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28(3), 501–505.
- Calvo, F., & Villanueva, Á. (2015). *Ingeniería básica de una planta de producción de etileno a partir de etanol de maíz*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Capellini, M. C., Giacomini, V., Cuevas, M. S., & Rodrigues, C. E. C. (2017). Rice bran oil extraction using alcoholic solvents: Physicochemical characterization of oil and protein fraction functionality. *Industrial Crops & Products*, 14, 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.017>
- Carranza Sánchez, Y. A., & Villa Panesso, A. F. (2012). Estudio sobre la influencia de la potencia

calorífica del quemador y el tipo de recipiente en la eficiencia de cocción a nivel residencial. *Scientia Et Technica Scientia et Technica Año XVII*, 17(51), 43–50.

- Carrascosa, C., Millán, R., Saavedra, P., Jaber, J. R., Raposo, A., & Sanjuán, E. (2016). Identification of the risk factors associated with cheese production to implement the hazard analysis and critical control points (HACCP) system on cheese farms. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2606–2616. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10301>
- Carvalho, M. M., Oliveira, E. E., Matioli, A. L., Ferreira, C. L. L., Machado da Silva, N., & De Dea Lindner, J. (2018). Stored products mites in cheese ripening: Health aspects, technological and regulatory challenges in Brazil. *Journal of Stored Products Research*, 76, 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.01.010>
- Cashman, S., Gaglione, A., Mosley, A., & Al, E. (2014). *Environmental and Cost Life Cycle Assessment of Disinfection Options for Municipal Wastewater Treatment*. Environmental Protection Agency.
- Castrillón, D. (2014, April). Informe: Cuencas lecheras, motores de la producción nacional. *Contexto Ganadero*. Retrieved from <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-cuencas-lecheras-motores-de-la-produccion-nacional>
- Celik, I., Gallicchio, L., Boyd, K., Lam, T. K., Matanoski, G., Tao, X., ... Alberg, A. J. (2008). Arsenic in drinking water and lung cancer: A systematic review. *Environmental Research*, 108(1), 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.04.001>
- Céspedes-Lorente, J., de Burgos-Jiménez, J., & Alvarez-Gil, M. J. (2003). Stakeholders environmental influence. An empirical analysis in the Spanish hotel industry. *Scandinavian Journal of Management*, 19, 333–358.
- Chauhan, P., & Pal, R. (2014). Variation in alpha radioactivity of plants with the use of different fertilizers and radon measurement in fertilized soil samples. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 12(70), 1–8.
- Chen, W., Tong, D. Q., Zhang, S., Zhang, X., & Zhao, H. (2017). Local PM 10 and PM 2.5 emission inventories from agricultural tillage and harvest in northeastern China. *Journal of Environmental Sciences*, 57, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.02.024>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Food and Agriculture Organization, & Instituto Interamericano de Cooperativa para la Agricultura A. (2015). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Americas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2015 - 2016*. San José. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i6606s.pdf>
- Conflict Analysis Resource Center. (2015). Consumo de Combustible Específico Para Mazda 323. Eficiencia. Retrieved April 23, 2018, from http://carerac.com/ahorrar_combustible/mazda/323.html
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2010). CONPES 3676. Consolidación De La Política Sanitaria Y De Inocuidad Para Las Cadenas Láctea Y Cárnica. *Documento CONPES*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación. Retrieved from <http://www.ica.gov.co/getattachment/3b31038a-72ba-40f9-a34d-cecd89015890/2010cp3676.aspx>

- Consulting Engineers and Plannes AS. (n.d.). *Cleaner Production Assessment in Dairy Processing*. Denmark. Retrieved from <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/2480-CpDairy.pdf>
- Contexto Ganadero. (2015, July 27). ¿Cómo está el consumo de quesos en Colombia? *Contexto Ganadero*. Retrieved from <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/como-esta-el-consumo-de-quesos-en-colombia>
- Correa, Y., Buriticá, L., Rivera, J. D., Penagos, J. P., & Torres, J. (2017). OPTIMIZACIÓN DEL PROTOCOLO PARA LA EXTRACCIÓN Y LA CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNAS TOTALES EN SEMILLAS GERMINADAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) AN EFFICIENT EXTRACTION AND QUANTIFICATION METHOD TO TOTAL PROTEIN ANALYSIS FROM CORN (*Zea mays* L.) GERMINATED SEEDS. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(1), 60–64. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2756>
- Curran, M. A. (2006). *A Brief History of Life-Cycle Assessment. Scientific Applications International Corporation (SAIC)*. Reston.
- Curran, M. A. (2012). *Handbook of Life Cycle Assessment: A Guide for Environmentally Sustainable Products*. Cincinnati.
- Dalla Riva, A., Burek, J., Kim, D., Thoma, G., Cassandro, M., & De Marchi, M. (2017). Environmental life cycle assessment of Italian mozzarella cheese: Hotspots and improvement opportunities. *Journal of Dairy Science*, 100(10), 7933–7952. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.unbosque.edu.co/science/article/pii/S0022030217307191>
- Dalla Riva, A., Burek, J., Kim, D., Thoma, G., Cassandro, M., & De Marchi, M. (2018). The environmental analysis of asiago PDO cheese: a case study from farm gate-to-plant gate. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1), 250–262. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1344936>
- de Lima Andrade, A., & dos Santos, M. A. (2015). Hydroelectric plants environmental viability: Strategic environmental assessment application in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1413–1423. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.152>
- Dehaquiz, Y., & Zambrano, S. (2012). Diagnóstico situacional y ambiental de la cadena láctea del Departamento de Boyacá. *Revista In Vestigium*, 5, 37–46.
- Deutz, P., & Ioppolo, G. (2015). From Theory to Practice: Enhancing the Potential Policy Impact of Industrial Ecology. *Sustainability*, 7(2), 2259–2273. <https://doi.org/10.3390/su7022259>
- Djekic, I., Miocinovic, J., Tomasevic, I., Smigic, N., & Tomic, N. (2014). Environmental life-cycle assessment of various dairy products. *Journal of Cleaner Production*, 68, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.054>
- Djekic, I., Smigic, N., Glavan, R., Miocinovic, J., & Tomasevic, I. (2018). Transportation sustainability index in dairy industry e Fuzzy logic approach. *Journal of Cleaner Production*, 180, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.185>
- Dong, Y. H., & Ng, S. T. (2014). Comparing the midpoint and endpoint approaches based on ReCiPe—a study of commercial buildings in Hong Kong. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 1409–1423. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0743-0>

- Doublet, G., Jungbluth, N., Stucki, M., & Schori, S. (2013). *Life cycle assessment of Romanian beef and dairy products*. Schaffhausen.
- Durham, C., Bouma, A., & Meunier-goddik, L. (2015). *Determining economic feasibility for artisan cheese companies*. Oregon.
- Ecoinvent v 3.1. (2013). *Ecoinvent Data v3.1: Final Reports Ecoinvent 2013*. Dubendorf.
- Edwards, A. J. (2003). *ISO 14001 Environmental Certification Step by Step: Revised Edition (First)*. Elsevier Science.
- Environmental Protection Agency. (1998a). Nitric Acid Production. In *Inorganic Chemical Industry* (First, p. 7). Retrieved from <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch08/final/c08s08.pdf>
- Environmental Protection Agency. (1998b). *NOx*. Washington, DC. [https://doi.org/EPA 456/F-99-006R](https://doi.org/EPA%20456/F-99-006R)
- Euro Chlor. (2016). *An Eco-profile and Environmental Product Declaration of the European Chlor-Alkali Industry*. Brusselas. Retrieved from http://www.eurochlor.org/media/70442/chlorine_eco-profile_synthesis.pdf
- Euromonitor International. (2016). *Passport: Cheese in Colombia*. Euromonitor International.
- Finnegan, W. (2017). A review of environmental life cycle assessment studies examining cheese production.
- Finnegan, W., Goggins, J., Clifford, E., & Zhan, X. (2017). Global warming potential associated with dairy products in the Republic of Ireland. *Journal Clean Production*, 163, 262–273.
- Flysjö, A. (2012). *Greenhouse gas emissions in milk and dairy product chains*. Aarhus University.
- Flysjö, A., Thrane, M., & Hermansen, J. E. (2014). Method to assess the carbon footprint at product level in the dairy industry. *International Dairy Journal*, 34, 86–92.
- Fontaine, C., Haarman, A., & Schmid, S. (2006). The Stakeholder Theory. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/606a/828294dafd62aeda92a77bd7e5d0a39af56f.pdf>
- Forero, J., Londoño, J., Manrique, J. J., & Rojas, F. (2009). *El Niquel en Colombia*. Bogotá D.C. Retrieved from http://www.upme.gov.co/docs/niquel_colombia.pdf
- Freeman, E., & Mcvea, J. (2001). *A Stakeholder Approach to Strategic Management*. Virginia. Retrieved from http://papers.ssrn.com/paper.taf?abstract_id=263511
- Froment, G., & van Belzen, N. (2015). *Bulletin of the International Dairy Federation 481/2015. The world dairy situation 2015*. International Dairy Federation. Brussels. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00573.x>
- Galán, D., & Fernández, R. (2006). IMPLICACIÓN DE LOS NO X EN LA QUÍMICA ATMOSFÉRICA. *Revista Electronic@ de Medio Ambiente UCM*, 2, 90–103.
- García, C., González, O., Báez, O., Tellez, L., & Obando, D. (2016). *Plan De Acción Indicativo De*

Eficiencia Energética 2017 - 2022. Retrieved from http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf

- Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., & Meijer, E. (2016). *Introduction to LCA with SimaPro*. San Francisco.
- Goedkoop, M., Oele, M., Vieira, M., Leijting, J., Ponsioen, T., & Meijer, E. (2016). *SimaPro Tutorial*. San Francisco.
- Goedkoop, M., & Spriensma, R. (2001). The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. *Assessment*, 144. <https://doi.org/10.1007/BF02979347>
- Gómez, H., Ramírez, J. M., & Mendoza, T. (2011). *Meta 2032: Territorio Integrado e Innovador*. Bogotá D.C.
- Gómez, M., Galeano, C., & Jaramillo, D. (2015). El estado del arte: una metodología de investigación. *Revista Colombia de Ciencias Sociales*, 6(2), 423–442.
- González-García, S., Castanheira, É. G., Dias, A. C., & Arroja, L. (2013). Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill. *Journal of Cleaner Production*, 41, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.010>
- González-García, S., Hospido, A., Moreira, M. T., Feijoo, G., & Arroja, L. (2013). Environmental Life Cycle Assessment of a Galician cheese: San Simon da Costa. *Journal of Cleaner Production*, 52, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.006>
- Govindan, K. (2017). Sustainable Consumption and Production in the Food Supply Chain: A Conceptual Framework. *International Journal of Production Economics*, (November 2015), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.003>
- Graziosi, F., Arduini, J., Bonasoni, P., Furlani, F., Giostra, U., Manning, A. J., ... Maione, M. (2016). Emissions of carbon tetrachloride from Europe. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 12849–12859. <https://doi.org/10.5194/acp-16-12849-2016>
- Groen, E. A., Heijungs, R., Bokkers, E. a M., & de Boer, I. (2014). Sensitivity analysis in life cycle assessment. *Proceedings of the 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014*, (October), 482–488. Retrieved from <internal-pdf://0.0.2.49/20153221357.html>
- Guzmán, L. M., & Gutierrez, F. (2016). Análisis del ciclo de vida de la producción de leche cruda. Como herramienta para determinar los impactos a la salud humana, a la calidad del ecosistema y a los recursos. Caso de estudio, finca San Francisco, vereda Patera Centro, Municipio de Ubaté - Cun. *Revista de Tecnología*, 15(1), 105–116.
- Hasler, K., Bröring, S., Omta, S. W. F., & Olf, H.-W. (2015). Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. *European Journal of Agronomy*, 69, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>
- Hazardous Substances Data Bank. (2018). Ethane. Retrieved April 14, 2018, from <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~G2XgBt:1>

- Hegedüs, M., Tóth-Bodrogi, E., Németh, S., Somlai, J., & Kovács, T. (2017). Radiological investigation of phosphate fertilizers: Leaching studies. *Journal of Environmental Radioactivity*, 173, 34–43.
- Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., & Masoni, P. (2011). Life Cycle Assessment: Past, Present and Future. *Environmental Science Technology*, 45(1), 90–96.
- Heller, K. (2012). *Economic Impact Analysis for the Nitric Acid Manufacturing NSPS*. North Carolina.
- Hernández-Rojas, M., & Vélez-Ruíz, J. F. (2014). Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(2), 13–22.
- Hernández, M. P. (2014). *Análisis del Ciclo de Vida en la producción de bocadillo como herramienta de gestión ambiental empresarial: estudio de caso para tres pymes de la Asociación Guajava, en el núcleo de desarrollo provisional de Vélez, Santander*. Universidad EL Bosque.
- Hischier, R., Weidema, B., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., ... Nemecek, T. (2010). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods Data v2.2 (2010). *Ecoinvent Report No. 3*, (3), 176. Retrieved from https://www.ecoinvent.org/files/201007_hischier_weidema_implementation_of_lcia_methods.pdf
- Hristov, A., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., ... Oosting, S. (2013). *MITIGACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA PRODUCCIÓN GANADERA: Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO2*. (P. Gerder, B. Henderson, & H. Makkar, Eds.) (Primera). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3288s.pdf>
- Hughes, M. F. (2002). Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology Letters*, 133(1), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(02\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(02)00084-X)
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de Certificación. NTC-ISO 14044:2007 - Analisis del ciclo de vida: requisitos y directrices (2007). Bogotá D.C.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de Certificación. (2015). *NTC - ISO 14001: Sistemas de Gestión Ambientl. Requisitos con orientación para su uso*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2017, June). Ganadería ‘al rojo vivo’ solo debería imponerse en el 2,4% de Colombia. *Servicio de Noticias Del Nstituto Geográfico Agustín Codazzi*. Retrieved from <http://noticias.igac.gov.co/ganaderia-al-rojo-vivo-solo-deberia-imponerse-24-colombia-igac/>
- International Dairy Federation. (2010). A common carbon footprint approach for dairy: The IDF guide to standard lifecycle assessment methodology for the dairy sector. *Bulletin of the International Dairy Federation*, 41.
- International Dairy Federation, & Food and Agriculture Organization. (2010). *Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector*. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(01\)00105-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(01)00105-7)
- International Feed Industry Federation (IFIF), & Association of Speciality Feed Ingredients and their Mixturas (FEFANA). (2015). *Life Cycle Assessment on the role of Speciality Feed Ingredients on*

livestock production -South America.

- Islam, S., Ponnambalam, S. G., & Lam, H. L. (2016). Review on life cycle inventory: methods, examples and applications. *Journal of Cleaner Production*, 136, 266–278.
- Jacquemin, L., Pontalier, P. Y., & Sablayrolles, C. (2012). Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: A review. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(8), 1028–1041. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0432-9>
- Jones, T. M. (1995). Instrumental Stakeholder Theory: A Synthesis of Ethics and Economics. *Academy of Management Review*, 20(2), 404–437.
- Juárez, M., Moscoso, B., Hernández, J., Mérida, M., Samyoa, L., Juárez, G., & Gambioa, K. (2011). *Buenas Prácticas De Manufactura en la elaboración de productos lácteos (Bpm)*. Ciudad de Guatemala.
- Kerkhof, A., & Goedkoop, M. (2010). Input Output in SimaPro. In J. Murray & R. Wood (Eds.), *The Sustainability Practitione's Guide to Input-Output Analysis* (p. 23). Illinois: Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Kim, D., Thoma, G., Nutter, D., Milani, F., Ulrich, R., & Norris, G. (2013). Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(5), 1019–1035. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0553-9>
- Klöpffer, W., & Grahl, B. (2014). *Life Cycle Assessment: A Guide to Best Practice* (First). Weinheim: Wiley - VCH Verlag GmbH & Co.
- Korakhashvili, A., & Jeiranashvili, G. (2016). Food safety hazards in Georgian Tushuri Guda cheese. *Annals of Agrarian Sciences*, 14, 212–216. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2016.08.005>
- Korhonen, J. (2004). Theory of industrial ecology. *Progress in Industrial Ecology, An International Journal*, 1(1/2/3), 61. <https://doi.org/10.1504/PIE.2004.004672>
- Krugman, P. R., Wells, R., & Benito Muela, S. (2006). *Introducción a la economía : microeconomía*. (S. Benito, Ed.) (Primera). Barcelona: Reverté.
- Leigh, M., & Li, X. (2015). Industrial ecology, industrial symbiosis and supply chain environmental sustainability: a case study of a large UK distributor. *Journal of Cleaner Production*, 106(1), 632–643. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.022>
- Lifset, R., & Graedel, T. (2002). Industrial Ecology: goals and definitions. In R. U. Ayres & L. Ayres (Eds.), *A handbook of industrial ecology* (p. 680). Edward Elgar Pub.
- Loiseau, E., Junqua, G., Roux, P., & Bellon-Maurel, V. (2012). Environmental assessment of a territory: An overview of existing tools and methods. *Journal of Environmental Management*, (112), 213–225.
- Lucey, J. A. (2015). Raw Milk Consumption Risks and Benefits. *Nutrition and Food Science*, 50(4), 189–193. <https://doi.org/10.1097/NT.000000000000108>
- Malaspina, F., Stante, L., Cellamare, C. M., & Tilche, A. (1995). Cheese whey and cheese factory

- wastewater treatment with a biological anaerobic—aerobic process. *Water Science and Technology*, 32(12), 59–72. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00139-4](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00139-4)
- Mantilla, J., & Garzon, D. (2010). *Modelado de la combustión de mezclas gasolina-etanol en motores de combustión interna*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Mareddy, A. R., Shah, A., & Davergave, N. (2017). *Environmental impact assessment : theory and practice* (Primera). Butterworth-Heinemann.
- Mazzi, A., Toniolo, S., Catto, S., De Lorenzi, V., & Scipioni, A. (2017). The combination of an Environmental Management System and Life Cycle Assessment at the territorial level. *Environmental Impact Assessment Review*, 63, 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.11.004>
- Mele, C., Pels, J., & Polese, F. (2010). A Brief Review of Systems Theories and Their Managerial Applications. *Service Science*, 2(1–2), 126–135. https://doi.org/10.1287/serv.2.1_2.126
- Meul, M., van Middelaar, C., de Boer, I., van Passel, S., Fremaut, D., & Haesaert, G. (2014). Potential of life cycle assessment to support environmental decision making at commercial dairy farms. *Agricultural Systems*, 131, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.006>
- Meunier-goddik, L. (2012). *A Business Feasibility Tool for Artisan Cheese Operation Start-Up*. Oregon State University.
- Miao, C., Fang, D., Sun, L., & Luo, Q. (2017). Natural resources utilization efficiency under the influence of green technological innovation. *Resources, Conservation and Recycling*, 126(August), 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.019>
- Miller, J. (1978). *Living systems*. (R. Weine, Ed.). Mc Graw Hill Education.
- Ministerio de Comercio Industria y Turismo, & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). *Implementación Política para Mejorar la Competitividad del Sector Lácteo Nacional*. Retrieved from [https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/d.angie/programa de avance presupuestal 2015.pdf](https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/d.angie/programa%20de%20avance%20presupuestal%202015.pdf)
- Ministry of Housig. (2000). *Eco-indicator 99 Manual for Designers: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. The Hague.
- Miranda, J. J. (2005). *Gestión de proyectos : identificación, formulación, evaluación financiera, económica, social, ambiental* (Quinta). Bogotá D.C.: MM editores.
- Miranda, O., Pnce, I., Fonseca, P. L., Cutiño, M., & Díaz, R. (2009). Suero de queso: Un producto animal nutritivo - Caracterización. *Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA)*, 2, 19.
- Mohd, F., Mat, F., Mohamat-Yusuff, F., & Awang, M. (2015). The impact of nitrogen fertilizer use on greenhouse gas emissions in an oil palm plantation associated with land use change. *Atmósfera*, 28(4), 243–250.
- Muller, E., Aline, C., Ferreira, S., & Romeiro, E. (2014). Assessing environmental impacts using a comparative LCA of industrial and artisanal production processes: “Minas Cheese” case. *Food Science and Technology*, 34(3), 522–531. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.6356>

- Muñoz, E., Curaqueo, G., Cea, M., Vera, L., & Navia, R. (2017). Environmental hotspots in the life cycle of a biochar-soil system. *Journal of Cleaner Production*, *158*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.163>
- Nalepa, B., & Markiewicz, L. H. (2017). PCR-DGGE markers for qualitative profiling of microbiota in raw milk and ripened cheeses. *LWT - Food Science and Technology*, *84*, 168–174. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.057>
- Navarro, M. Á. (2011). *Manual de Gestión Ambiental en la Empresa: Formación para el empleo* (First). Madrid: Editorial CEP, S.L.
- Olivares, V., Valverde, L., Quiros, V., García, R., Muñoz, N., Navarro, M., & Cabrera, C. (2014). Níquel en alimentos y factores influyentes en sus niveles, ingesta, biodisponibilidad y toxicidad: una revisión Nickel in food and influencing factors in its levels, intake, bioavailability and toxicity: a review. *Journal of Food*, *13*(1), 87–101. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.917383>
- Onat, N., Kucukvar, M., Halog, A., & Cloutier, S. (2017). Systems Thinking for Life Cycle Sustainability Assessment: A Review of Recent Developments, Applications, and Future Perspectives. *Sustainability*, *9*(5), 706. <https://doi.org/10.3390/su9050706>
- Organización Mundial para la Salud. (2016). El radón y sus efectos en la Salud. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/es/>
- Organización Mundial para la Salud, & Food and Agriculture Organization. (2011). *Codex Alimentarius. Leche y Productos Lacteos*. Roma. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500010>
- Otero, H., García, N., Ramírez, A., & Archila, J. (2013). *Estudio de Perfil Productivo Rural y Urbano del Municipio de Puerto López, Departamento del Meta*. Puerto López.
- Pal, M., Bekele, T., & Feleke, A. (2012). Public Health Significance of Pasteurized Milk. *Beverage & Food World*, *1*, 55–56.
- Palmieri, N., Forleo, M. B., & Salimei, E. (2017). Environmental impacts of a dairy cheese chain including whey feeding: An Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 881–889. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.06.185>
- Papadas, K. K., Avlonitis, G. J., & Carrigan, M. (2016). Green marketing orientation: Conceptualization, scale development and validation. *Journal of Business Research*, *80*(May), 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.05.024>
- Parra, R. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, *62*(1), 4967–4982.
- Patz, J. A., Mcgeehin, M. A., Bernard, S. M., Ebi, K. L., Epstein, P. R., Grambsch, A., ... Trtanj, J. (2000). The Potential Health Impacts of Climate Variability and Change for the United States: Executive Summary of the Report of the Health Sector of the U.S. National Assessment. *Environmental Health Perspectives*, *108*(4), 367–376. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1638004/pdf/envhper00305-0123.pdf>

- Pinilla, C., & Aguado, J. (2012). *La investigación en gestión ambiental* (Primera). Bogotá D.C.: Fundación Universitaria del Área Andina. Retrieved from [http://www.funandi.edu.co:8080/bda/bitstream/123456789/182/1/Libro Investigación n Ambiental.pdf](http://www.funandi.edu.co:8080/bda/bitstream/123456789/182/1/Libro%20Investigaci%20n%20Ambiental.pdf)
- PRE' Consultants. (2014). SimaPro Database Manual. *PRE'*, 1–48. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Quiñónez, E. (2012). *Responsabilidad Ambiental Empresarial* (Primera). Bogotá: Ediciones de la U.
- Ramírez, A. (n.d.). *Metodología de la Investigación Científica*. Pontificia Universidad Javeriana. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.027>
- Revista Semana. (2017, June). ¿Por qué es tan grave que la ganadería en Colombia use más tierra de la que debería? Retrieved from <http://www.semana.com/nacion/articulo/ganaderia-en-colombia-utiliza-mas-tierra-de-la-que-deberia-segun-igac/529191>
- Rice, S. (2004). *HUMAN HEALTH RISK ASSESSMENT OF CO 2 : SURVIVORS OF ACUTE HIGH-LEVEL EXPOSURE AND POPULATIONS SENSITIVE TO PROLONGED LOW-LEVEL EXPOSURE*. Associates, Inc., Grass Valley, CA, USA. Retrieved from <https://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/04/carbon-seq/169.pdf>
- Rist, M., & Pizzica, A. J. (2014). *Financial ratios for executives : how to assess company strength, fix problems, and make better decisions* (Primera). Apress.
- Roberts, T. (2014). Cadmium and Phosphorous Fertilizers: The Issues and the Science. *International Plant Nutrition Institute*, 83, 52–59. Retrieved from https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unbosque.edu.co/S1877705814011059/1-s2.0-S1877705814011059-main.pdf?_tid=a47ca7b8-3e0e-490c-82d8-0589ab2202c6&acdnat=1523572582_fc7404fc3722c7192fe38cdef211dcab
- Rodríguez Ortiz, J. C., Alcalá Jáuregui, J. A., Hernández Montoya, A., Rodríguez Fuentes, H., Ruiz Espinoza, F. H., García Hernández, J. L., & Díaz Flores, P. E. (2014). Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4), 695–701. Retrieved from <http://redalyc.org/articulo.oa?id=263130476013>
- Rodríguez Pozueta, M. A. (2010). *Corriente Alterna Mono y Trifásica* (Primera). Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Saarinen, M., Fogelholm, M., Tahvonen, R., & Kurppa, S. (2017). Taking nutrition into account within the life cycle assessment of food products. *Journal of Cleaner Production*, 149, 828–844. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.062>
- Sala, S., Anton, A., McLaren, S. J., Notarnicola, B., Saouter, E., & Sonesson, U. (2017). In quest of reducing the environmental impacts of food production and consumption. *Journal of Cleaner Production*, 140, 387–398. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.09.054>
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta). México D.F.: Mc Graw Hill Education.

- Sánchez, R. J., Fernández, M. B., & Nolasco, S. M. (2015). *ACEITE DE CANOLA: ESTUDIO EXPLORATORIO DE EXTRACCIÓN CON ETANOL*. Asociación Argentina de Ingenieros Químicos. Retrieved from http://www.aaiq.org.ar/SCongresos/docs/06_029/papers/05a/05a_1772_618.pdf
- Sandoval, J. M., & Liévano, J. P. (2012). *Agenda 21: Colombia, 20 años siguiendo Agenda 21*. Bogotá D.C. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/asuntos-internacionales/pdf/colombia-20-años-siguiendo-la-agenda-21/040512_balance_agenda_21.pdf
- Santos, H. C. M., Maranduba, H. L., de Almeida Neto, J. A., & Rodrigues, L. B. (2017). Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), 3470–3482. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8084-0>
- Sarkis, J., Zhu, Q., & Lai, K.-H. (2011). An organizational theoretic review of green supply chain management literature. *Int. Journal of Production Economics*, 130, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.11.010>
- Schmitt, E., Galli, F., Menozzi, D., Maye, D., Touzard, J.-M., Marescotti, A., ... Brunori, G. (2017). Comparing the sustainability of local and global food products in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 165, 346–359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.039>
- Schrier-Uijl, A. P., Silvius, M., Parish, F., Lim, K. H., Rosediana, S., & Anshari, G. (2013). *Environmental and social impacts of oil palm cultivation on tropical peat – a scientific review ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACTS OF OIL PALM CULTIVATION ON TROPICAL PEAT A SCIENTIFIC REVIEW*.
- Scottish Environmental Protection Agency (SEPA). (n.d.). Pollutant Fact Sheet: Amonia. Retrieved April 14, 2018, from <http://apps.sepa.org.uk/spripa/Pages/SubstanceInformation.aspx?pid=1>
- Sheane, R., Lewis, K., Hall, P., Holmes-Ling, P., Kerr, A., Stewart, K., & Webb, D. (2011). *Identifying opportunities to reduce the carbon footprint associated with the Scottish dairy supply chain—main report*. Edinburgh Stocker.
- Spitz, L. (2016). *Soap manufacturing technology* (Second). Elsevier.
- Stichnothe, H., & Schuchardt, F. (2011). Life cycle assessment of two palm oil production systems. *Biomass and Bioenergy*, 35, 3976–3984. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.001>
- Suh, S., & Huppel, G. (2005). Methods for Life Cycle Inventory of a product. *Journal of Cleaner Production*, (13), 687–697. <https://doi.org/doi:10.1016/j.jclepro.2003.04.001>
- Tabares, A., & Ferial, P. (2009). *La Cuajada: aspectos técnicos y nutricionales*. Bogotá.
- Tapasco, J., Martínez, J., Calderón, S., Romero, G., Ordóñez, D. A., Álvarez, A., ... Ludeña, C. E. (2015). *Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Ganadero*. Banco Iberoamericano de desarrollo, Monografía No. 254. Washington, DC. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18235/0000131>
- Thammaraksa, C., Wattanawan, A., & Prapasongsa, T. (2017). Corporate environmental assessment of a large jewelry company: From a life cycle assessment to green industry. *Journal of Cleaner*

Production, 164, 485–494. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.220>

Thomas, A., & Sathian, C. T. (2014). Cleaning-In-Place (CIP) System in Dairy Plant-Review. *IOSR Journal of Environmental Science Ver. III*, 8(6), 41–44. Retrieved from www.iosrjournals.org

UNEP/SETAC: Life Cycle Initiative. (2017). Retrieved from <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/what-is-life-cycle-thinking/>

United Nations Environment Programme, & Organización de las Naciones Unidas. (2007). *4° Reunión de Expertos sobre Consumo y Producción Sustentable de América Latina y el Caribe*. San Pablo. Retrieved from <http://www.un.org/esa/sustdev/marrakech/saopaulobgpaper2.pdf>

Vaiskunaite, R. (2009). *General Principles of Environmental Management: Study Book* (First). Vilnius Gediminas Technical University Press.

van Middelaar, C., Berentsen, P., Dolman, M., & de Boer, I. (2011). Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese. *Livest Science*, 139, 91–99.

Vélez Castro, M. T., Cano Arenas, R. L., Corrales-Julio, R., & García Vergara, M. C. (2014). Evaluación ambiental para la producción primaria de leche orgánica en hatos del municipio de Arjona, departamento de Bolívar, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 18(35), 37–54. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.AyD18-35.eapp>

Vergé, X., Maxime, D., Dyer, J., Desjardins, R., Arcand, Y., & Vanderzaag, A. (2013). Carbon footprint of Canadian dairy products: calculations and issues. *Journal Dairy Science*, 96, 6091–6104.

Viola, I. (2016). Life Cycle Assessment and Environmental Sustainability in the Food System. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.026>

Wedema, B. ., Bauer, C., Hischer, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., ... Wenet, G. (2013). Data quality guideline for the ecoinvent. *Swiss Center For Life Cycle Inventories*, 3(1).

Williams, A., Kennedy, S., Philipp, F., & Whiteman, G. (2017). Systems thinking: A review of sustainability management research. *Journal of Cleaner Production*, 148, 866–881. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.002>

Yaacoubi, H., Zidani, O., Mouflih, M., Gourai, M., & Sebti, S. (2014). Removal of Cadmium from water using Natural phosphate as Adsorbent. *Procedia Engineering*, 83, 386–393.

Zhou, L., Chen, X., & Tian, X. (2018). The impact of fine particulate matter (PM_{2.5}) on China's agricultural production from 2001 to 2010. *Journal of Cleaner Production*, 178, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.204>