

**LA HUELLA DEL AGUA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LÁCTEOS LA
VICTORIA**

Trabajo de Grado

Presentado como requisito parcial de los requerimientos necesarios para obtener el título de
Magister en Ciencias Ambientales – Modalidad Profundización de la Facultad de Ciencias
Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira

Por:

ELCY CATALINA FOLLECO RODRIGUEZ

INGENIERA AMBIENTAL

Programa de Maestría en Ciencias Ambientales

Facultad de Ciencias Ambientales

Universidad Tecnológica de Pereira

2020

Director: PhD JOSE LUIS OSORIO TEJADA

Derechos Reservados

ELCY CATAINA FOLLECO RODRIGUEZ

2020

Dedicatoria

A ti madre mía, esta vez no estarás físicamente a mi lado, pero quiero que sientas este logro como tuyo.... Te amare hasta el infinito.

Agradecimientos

El campus me brindó a excelentes docentes, con quienes pude recordar la esencia de la Ingeniería Ambiental que importante es no perder el rumbo, infinitas gracias a ustedes profesores de la UTP.

Un agradecimiento especial a mi compañero Javier Villota, por motivarme y te convertiste en mi apoyo para poder terminar este proyecto.

Hoja de Vida

Septiembre 18 1982Nacida en – El Rosario Nariño, Colombia

2005 Ingeniera Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

2007 Especialista en Pedagogía Ecológica, Fundación Universitaria los Libertadores, Colombia

2020 - Presente Consultora Ambiental, Contratista Gobernación de Nariño.

Campos de Estudio

Campos de estudio principales: Sector Lácteo

Tabla de Contenido

Agradecimientos	3
Hoja de Vida	4
Campos de Estudio	4
Tabla de Contenido	5
Listado de Tablas.....	7
Listado de Figuras	8
Listado de Graficas.....	9
CAPITULO I: Introducción	10
1.1. Resumen de Trabajo de Grado	10
1.2. Antecedentes Generales	10
1.2.1. Justificación.....	12
1.3. Marco Teórico General	13
1.3.1. Marco Teórico.....	13
1.3.2. Marco normativo	14
1.3.3. Estado del Arte	14
1.4. Objetivo General	16
1.4.1. Objetivo específico 1.....	16
1.4.2. Objetivo específico 2.....	16
1.4.3. Objetivo específico 3.....	16
1.4.4. Objetivo específico 4.....	16
1.5. Métodos	17
1.5.1. Lugar de estudio	17
1.5.2. Actividades por objetivo	18
CAPITULO II: Diagnóstico sobre los procesos productivos y sus principales aspectos ambientales asociados a la medición y elaboración del inventario del ciclo de vida	20
2.1. Resultados y Discusión del objetivo específico 1: <i>Realizar un diagnóstico sobre los procesos productivos y sus principales aspectos ambientales asociados a la medición de la Huella de Agua de la empresa Lácteos La Victoria</i>	21
2.1.1. Definición del Objetivo del ACV	21
2.1.2. Definición del Alcance del ACV	21

2.2. Resultados y Discusión del objetivo específico 2: <i>Elaboración del inventario de la contribución de los procesos y materiales a la huella del agua por escasez de la empresa Lácteos La Victoria del municipio de Pasto, Nariño por derivado lácteo</i>	26
CAPITULO III. Evaluación de impactos de la huella de agua	32
3.1 Resultados y Discusión del objetivo específico 3: Evaluar el impacto potencial de huella de agua por escasez en la empresa Lácteos La Victoria del municipio de Pasto, Nariño	32
3.1.1. Queso campesino y doble crema	32
3.1.2. Yogurt y Kumis	37
3.1.3. Arequipe	42
CAPITULO IV. Estrategias propuestas	51
4.1. Resultados y Discusión del objetivo específico 4: Proponer estrategias para la disminución de la huella del agua por escasez en la empresa Lácteos La Victoria del municipio de Pasto, Nariño	51
CAPITULO V. Conclusiones y recomendaciones	63
5.1. Conclusiones	63
5.2. Recomendaciones y posibles ámbitos de investigación futura	65
REFERENCIAS	66

Listado de Tablas

Tabla 1. Requerimientos diarios de insumos de la empresa Lácteos La Victoria	24
Tabla 2. Producción diaria de derivados lácteos en Lácteos La Victoria	24
Tabla 3. Inventario de Ciclo de Vida del queso campesino	27
Tabla 4. Inventario de Ciclo de Vida del queso doble crema	27
Tabla 5. Inventario de Ciclo de Vida del yogurt.....	28
Tabla 6. Inventario de Ciclo de Vida del kumis	28
Tabla 7. Inventario de Ciclo de Vida del arequipe.....	29
Tabla 8. Huella de agua por kg de queso campesino y doble crema.....	32
Tabla 9. Huella de agua por kg de yogurt y Kumis (m³)	37
Tabla 10. Huella de agua por kg de arequipe	42
Tabla 11. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria	45
Tabla 12. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria	48
Tabla 13. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria excluyendo la producción de queso campesino y doble crema	52
Tabla 14. Valor nutricional de productos ofrecidos por la empresa Lácteos La Victoria	55
Tabla 15. Resultados de la aplicación del método SAIN:LIM en los productos de la empresa Lácteos La Victoria	57
Tabla 16. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria excluyendo la producción de arequipe	58
Tabla 17. Comparación de la Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria con el uso de azúcar a base de remolacha	59

Listado de Figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa Lácteos La Victoria (X: 077°20'438"; Y: 01°09'263"; H: 3208 msnm)	17
Figura 2. Límites del sistema de la fábrica Lácteos La Victoria	23
Figura 3. Diagrama de red de la huella de agua del queso campesino (valor de corte = 0,1)	33
Figura 4. Diagrama de red de la huella de agua del queso doble crema (valor de corte = 0,1)	34
Figura 5. Diagrama de red de la huella de agua del yogurt (valor de corte = 0,1)	39
Figura 6. Diagrama de red de la huella de agua del kumis (valor de corte = 0,1)	40
Figura 7. Diagrama de red de la huella de agua del arequipe	44
Figura 8. Diagrama de red de la huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria (distribución por insumos y operaciones)	47
Figura 9. Diagrama de red de la huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria (distribución de cargas por producto)	50

Listado de Gráficas

Grafica 1. Huella de agua por kilogramos de queso campesino.....	34
Grafica 2. Huella de agua por kilogramos de queso doble crema.....	35
Grafica 3. Huella de agua por kilogramos del yogurt.....	41
Grafica 4. Huella de agua por kilogramos de kumis.....	41
Grafica 5. Huella de agua por kilogramos del arequipe.....	45
Grafica 6. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria.....	47
Grafica 7. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria por producto.....	50
Grafica 8. Comparación de huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria con y sin la producción de queso.....	53
Grafica 9. Clasificación de los productos de la empresa Lácteos La Victoria, teniendo en cuenta el método SAIN: LIM.....	56
Grafica 10. Comparación de huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria con y sin la producción de arequipe.....	58
Grafica 11. Comparación de huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria con una variación en el tipo de azúcar utilizada.....	60
Grafica 12. Comparación de huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria con la propuesta final.....	61

CAPITULO I: Introducción

1.1. Resumen de Trabajo de Grado

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la huella de agua de la empresa láctea La Victoria, ubicada en el municipio de Pasto, Nariño, identificando los puntos críticos causantes de las mayores cargas ambientales asociadas a los consumos de agua. Para lograrlo, se utilizó como guía de referencia NTC – ISO 14046 de 2015, la cual dictamina los requerimientos para la definición de la huella de agua, utilizando el método de Análisis de Ciclo de Vida. Adicional a ello, se empleó el método AWaRe para evaluar la huella de agua de la empresa. Como resultados principales se obtuvo que el consumo de agua directo utilizado en la empresa, es debido a la limpieza de los equipos, además del uso del azúcar como insumo.

Se pudo identificar que de los cinco productos analizados (queso campesino, queso doble crema, yogurt, kumis y arequipe), el yogurt es el que más aporta a la huella de agua en la empresa.

En conclusión, la empresa Lácteos La Victoria posee una huella de agua de 0,281 m³/litro de leche, generado en un 60% por el consumo directo, y el 40% restante por consumo indirecto.

1.2. Antecedentes Generales

En todo el continente se evidencian problemas ambientales asociados a las diferentes actividades humanas, alcanzando todos los sectores de vida de cualquier país, a esto se suma el sentimiento de que el ambientalismo es todavía una opción de cambio real. La temática ambiental plantea nuevas formas de vida y relaciones que mantienen vigentes las opciones de cambio (Gudynas, 1992), en las que se incluyan la conservación y manejo de ecosistemas naturales y la reducción del impacto de las actividades humanas sobre el entorno. Por lo tanto,

las medidas a desarrollar deberán estar encaminadas al trabajo comunitario con una visión transdisciplinaria, extendiendo su acción a varios niveles de la realidad con una mirada más holística, mejorando la comprensión del mundo y la naturaleza.

En el contexto, el trabajo de grado enfatiza que el recurso hídrico es de gran valor, tanto por su uso doméstico como industrial y agropecuario. Los recursos hoy en día hacen parte de políticas, por lo tanto, la ecología política muestra que debe haber una reflexión profunda y una discusión frente a los usos del recurso hídrico relacionados con los llamados procesos de planeación, en particular los planes de ordenamiento. En este sentido, se considera fundamental conocer cómo la modernidad, la ciencia y la tecnología han propiciado un cambio en los procesos de transformación de la leche, paulatinamente de manuales a tecnologías más complejas, las cuales, si bien pueden hacer más eficiente los procesos en términos de consumos de energía y agua, provocan en su área de influencia conflictos sociales por el uso de recursos naturales e impactos de la actividad. La cuantificación y evaluación de la huella de agua de la industria láctea utilizando la norma ISO 14046 sigue siendo un gran vacío en la literatura actual (Tillotson et al., 2014).

1.2.1. Justificación

La industria láctea comprende el sector empresarial dedicado a la producción de quesos, yogurt, leche pasteurizada, arequipe, entre otros, posicionándose en unos de los sectores con mayor crecimiento. La producción láctea a nivel mundial ha tenido un gran crecimiento, Europa el mayor productor, alcanzó en 2015 una producción de 9,5 millones de toneladas, seguido de Estados Unidos con 5,4 millones de toneladas. Según (Eurostat Statistics Explained, 2013), el crecimiento de la producción anual fue del 1,8% con respecto al año anterior.

En Colombia la producción en litros de leche al día, pasó de 6.623 millones en el 2015 a 7.094 millones en el 2017 (Gobernación de Nariño). El panorama en crecimiento también toca a Nariño siendo este un renglón muy importante; aporta aproximadamente el 27% del PIB del sector agropecuario dentro de la economía del Departamento. La transformación que realiza lácteos La Victoria alcanza los 3.000 litros de leche diarios actualmente, bajo las condiciones de pandemia ocasionada por el Covid-2019 y bajo este contexto se suministró la información primaria.

La empresa lácteos La Victoria localizada en el Municipio de Pasto, funciona desde el año 1979, inicialmente se procesaban entre 500 y 1.000 litros de leche en el Municipio de Cumbal, más tarde se traslada a la ciudad de Pasto; con un proceso de alrededor de 10.000 litros de leche diarios. Sin embargo, las restricciones por el Covid-19 afectaron la producción bajando a 3.000 litros diarios. Cuenta con un personal de 42 empleados de forma directa, en una instalación total de media hectárea construida.

En el proceso se presentan afectaciones ambientales como consumos altos de agua y energía, generación de residuos líquidos y sólidos y emisiones atmosféricas. El proyecto busca realizar la evaluación de la huella del agua en el proceso productivo basada en el análisis de

ciclo de vida relacionado con la cantidad del agua, buscando aumentar la eficiencia del uso de agua tanto para la empresa en general como para el ciclo de vida del producto de mayor importancia, mejorando así además la capacidad de tratamiento de aguas residuales, reduciendo la huella de agua en la cadena de suministro.

1.3. Marco Teórico General

1.3.1. Marco Teórico

Análisis de ciclo de vida: Es una metodología en la que se analiza todo el ciclo de vida de un producto o efecto de utilidad, como la extracción y procesamiento de materias primas, producción, distribución, uso, consumo y eliminación, así como los posibles efectos. Hasta ahora, la mayoría de los estudios de ACV de la producción de leche incluyen las etapas de producción sólo hasta la granja puerta, pero quedan fuera etapas sucesivas, como el procesamiento, venta al por menor, o del hogar (De Vries & De Boer, 2010). Los estudios sobre el impacto ecológico de la leche o derivados lácteos que incluyeron etapas de producción, han demostrado que el procesamiento contribuye significativamente al impacto ecológico de estos productos (Berlín, 2002; Hogaas, 2002; Hospido et al., 2003; Weidema et al., 2008).

Huella de agua: El concepto de huella de agua fue creado para obtener un indicador que relacionara el agua con el consumo a todos los niveles.

Problemas ambientales por la industria láctea: El consumo de electricidad y agua los principales contribuyentes a los impactos a nivel de planta lechera.

SimaPro: Se establece que SimaPro es una herramienta de software líder, utilizada para las evaluaciones del ciclo de vida, permitiendo estimar los impactos ambientales de productos (bienes o servicios), procesos y actividades.

1.3.2. Marco normativo

Además de un compromiso social y de protección de los recursos, existe un marco normativo que define normas de política ambiental con la finalidad de generar acciones que permitan la conservación y manejo sostenible del recurso hídrico, en especial en lo referido al uso y manejo. Todo proyecto o empresa que utilice agua debe presentar el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua – PUEAA– en concordancia a lo establecido en Ley 373 de 1997, el Decreto 3102 de 1997, la Resolución 532 de 2009 y el Decreto 1090 de junio de 2018. La Ley 373 de 1997: define la obligatoriedad de tener un programa de uso eficiente y ahorro de agua, a nivel regional y nacional. Reducción de pérdida, reúso obligatorio de agua, aprovechamiento de aguas lluvias.

1.3.3. Estado del Arte

La agricultura consume el 70% de agua que se extrae anualmente en el mundo. Además, las malas prácticas agrícolas provocan contaminación de los cuerpos de agua, degradación de los suelos, afectación de la biodiversidad y la degradación general de las cuencas hidrográficas (IICA 2014, IICA 2017)

Con base en las consideraciones anteriores surge el concepto de huella de agua propuesta por Hoekstra (2008) quien lo definió como un indicador que cuantifica la cantidad de agua que se consume a lo largo de su cadena de producción y que permite implementar medidas de sostenibilidad del agua.

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).

Los primeros estudios relacionados con ACV de productos lácteos permitieron identificar los impactos generados para la producción de queso en la década de 2000 (Berlín, 2002) y la producción de leche líquida (Eide, 2002, Hospido et al., 2003). Hasta la fecha, se han realizado varios estudios de casos de ACV en la producción de queso. Por ejemplo, González-García et al. (2013a) analizaron el impacto ambiental del queso gallego tradicional en España utilizando datos específicos de la planta de producción, encontrando que la mayoría de los estudios abordan los impactos de las emisiones relacionadas con el agua solo en la degradación del agua, o solo se centran en el impacto de la disponibilidad de agua en el uso y por lo tanto, no son perfiles completos de huella hídrica.

1.4. Objetivo General

Evaluar la huella de agua por escasez del queso doble crema, queso campesino, yogurt, kumis y arequipe elaborados en el sistema productivo de la empresa Lácteos La Victoria ubicada en el municipio de Pasto, Nariño, acorde a la norma ISO 14046.

1.4.1. Objetivo específico 1

Realizar un diagnóstico sobre los procesos productivos y sus principales aspectos ambientales asociados a la medición de la Huella de Agua de la empresa Lácteos La Victoria.

1.4.2. Objetivo específico 2

Elaboración del inventario de la contribución de los procesos y materiales a la huella del agua por escasez de la empresa Lácteos La Victoria del municipio de Pasto, Nariño por derivado lácteo

1.4.3. Objetivo específico 3

Evaluar el impacto potencial de huella de agua por escasez en la empresa Lácteos La Victoria del municipio de Pasto, Nariño.

1.4.4. Objetivo específico 4

Proponer estrategias para la disminución de la huella del agua por escasez en la empresa Lácteos La Victoria del municipio de Pasto, Nariño.

1.5. Métodos

1.5.1. Lugar de estudio

La empresa Lácteos La Victoria, localizada en el Municipio de Pasto, procesa alrededor de 3.000 litros diarios; sus productos son: queso doble crema, queso cuajada, yogurt, arequipe, kumis, mantequilla y crema de leche, los cuales son comercializados en el Municipio de Pasto y varios Municipios del Departamento. El agua que la empresa toma para el uso en el proceso productivo es de la Laguna Negra afluyente de la quebrada Piquisiqui, que además es fuente de abastecimiento de la comunidad del sector de la Coba Negra tanto para uso doméstico como para uso agropecuario, por lo tanto el trabajo que se haga para hacer más eficiente su uso, beneficiaría a todos los actores de mismo, como parte de la planificación ambiental, implicando a los actores sociales en las tareas de la gestión pública relativas al medio ambiente específicamente al recurso hídrico, en labor solidaria entre las comunidades y el sector privado.

La planta de procesamiento se encuentra ubicada en el kilómetro 15 de la margen derecha de la vía panamericana Sur en el sector La Marquesa, Municipio de Tangua, Nariño.



Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa Lácteos La Victoria (X: 077°20'438"; Y: 01°09'263"; H: 3208 msnm)

Fuente: Google Earth

1.5.2. Actividades por objetivo

La metodología de estudio para la evaluación de los caudales de agua utilizados en el proceso productivo de la planta de proceso de Lácteos La Victoria es la evaluación huella de agua basada en el análisis de ciclo de vida, a través de las normas ISO 14000 de la Organización Internacional de Estándares (ISO) (ISO 14046). Las cuatro fases del ACV estandarizadas por ISO son las siguientes:

I. Definición de objetivo y alcance, que incluye la descripción de los límites del sistema y la elección del método

II. Análisis de inventario del ciclo de vida (AICV) que da cuenta de todos los intercambios ambientales, como el uso del agua en el sistema del producto.

III. Evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV), que evalúa los impactos potenciales de los resultados de AICV en el medio ambiente

IV. Interpretación, que identifica los temas esenciales basados en los resultados de la evaluación.

Sumado a esto, el ACV presenta una tipología que se presenta a continuación:

Bases de Datos: La base de datos que más es usada para llevar a cabo el estudio de huella de agua es Ecoinvent. Esta base de datos comprende información de una gran cantidad de sectores, entre ellos: el agrícola, el de alimentos, el de agua, el de tratamiento de aguas y residuos, entre otros. Además, se caracteriza porque se puede realizar balances de agua y proporciona indicadores de impacto ambiental, esto con el fin de que antes de la toma de decisiones, se realice un análisis y una interpretación (Martínez et al. 2016).

Tipo de análisis: Estático.

Es importante tener en cuenta que el tipo de análisis que debe sobresalir en esta investigación es de tipo atributivo ya que es indispensable para la evaluación de la huella de agua considerar todos los atributos del sistema analizado, ya que lo que se quiere es adoptar una perspectiva del ciclo de vida basada en todas las actividades pertinentes del estudio (ISO 14046:2014). Dicho en otras palabras, lo que se quiere es describir el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida, sin hacer omisión a ninguna de las etapas que conforman el ACV, sin embargo, a esto también se debe tener en cuenta la cobertura temporal del sistema.

Modelo del sistema:

Modelo de sistema de corte (Cut - off): Se escoge este tipo de modelo, ya que hace que los impactos que se generan al llevar a cabo una actividad específica se los evidencie en la producción final de esta, dicho en otras palabras, es una modelación de tipo puntual, en donde se separan las etapas de uso primario y secundario de dicha actividad, siendo la de mayor importancia la de uso primario, permitiendo la información de los distintos impactos ambientales que se han generado por dicha acción (Moreno, 2017), además este sistema de modelación puede ser de proceso único o sistemático; en este caso es más apto hacer uso de la modalidad única, en donde se involucra de manera más específica aspectos o consideraciones utilizadas para la obtención del material.

CAPITULO II: Diagnóstico sobre los procesos productivos y sus principales aspectos ambientales asociados a la medición y elaboración del inventario del ciclo de vida

En los últimos años, la evaluación de la huella de agua está proporcionando una nueva perspectiva como una herramienta analítica para desarrollar una estrategia flexible de gestión del agua para productos, procesos u organizaciones (Yu Hubacek 2010), basada en el ACV. El ACV es una técnica de análisis holística que se utiliza para evaluar el impacto ambiental de productos o servicios (ISO 14046).

Para el caso de estudio de lácteos La Victoria, un método de prevención de la contaminación, con la evaluación de la huella de agua, es la identificación de los puntos críticos de uso del recurso en el proceso, permitiendo determinar la cantidad de agua utilizada por litro de leche procesada y poder formular acciones de reducción de huella del agua. De esta manera, con los resultados de huella de agua de la empresa se promoverá el cuidado integral del recurso hídrico y permitirán un grado de satisfacción de los usuarios en el sector, manteniendo el recurso como una propiedad pública del cual se benefician la comunidad y el sector productivo.

2.1.Resultados y Discusión del objetivo específico 1: *Realizar un diagnóstico sobre los procesos productivos y sus principales aspectos ambientales asociados a la medición de la Huella de Agua de la empresa Lácteos La Victoria*

2.1.1. Definición del Objetivo del ACV

Este Análisis de Ciclo de Vida tiene como objetivo evaluar la huella de agua de 5 derivados lácteos producidos en la empresa Lácteos La Victoria, desde la recepción de la leche, hasta su producción final. Todo esto surge de la necesidad de la empresa por identificar sus puntos críticos relacionados con el uso de un recurso como es el del agua. No obstante, cabe aclarar que esta investigación tiene previsto ser suministrada como resultados internos de la empresa, y como una investigación académica.

2.1.2. Definición del Alcance del ACV

Tomando como referencia diferentes investigaciones, referentes al ACV o a la Huella de agua, se definió como Unidad Funcional 1 litro de leche cruda, en este caso, bajo el enfoque gato-to-gate (de la puerta-a-la-puerta), siendo una unidad utilizada por Murphy et al. (2017) y Palmieri et al. (2017). En la selección del sistema a analizar, se llevará a cabo la huella agua, es decir, únicamente se evaluará la escasez de agua generado por la fábrica. Se excluye la etapa de extracción de materias primas, como es el proceso de obtención de la leche, y todo lo que implica, ya que, en primera medida, ya se conoce que representa la etapa de mayor consumo de agua en el ciclo de vida de los productos lácteos (Owusu-Sekyere et al., 2017), y este consumo está dado principalmente por un consumo indirecto del recurso hídrico, por lo que la fábrica no tiene un control absoluto de ese consumo (Bai et al., 2018). Además, el crear estrategias para reducir el proceso de obtención de la leche no se acoplaría

al objetivo del ACV, ya que se busca crear estrategias para reducir la Huella de agua dentro de la fábrica.

Por consiguiente, el sistema bajo análisis inicia desde la recepción de la leche en la fábrica, hasta la obtención del producto final. Por tal motivo, se excluyen la etapa de obtención de la leche, la refrigeración de los productos, el empaquetado, el uso y consumo del producto, y su disposición final; así como las actividades de los trabajadores y los bienes capitales (Broekema & Kramer, 2014). Esta es una estrategia sugerida por González-García, Castanheira, et al., (2013a); (2013b); (2013c), donde se aísla la fábrica para llevar un análisis exclusivamente de esta etapa. Estrategia también tomada también por Vasilaki et al. (2016).

Ya en la fábrica, se elaboran 5 productos, queso doble crema, queso campesino, yogurt, kumis, arequipe y crema de leche (Figura 2). En primer lugar, la materia prima de todos estos productos, es la leche, la cual pasa por un proceso de análisis fisicoquímico, para garantizar la calidad del producto. Luego pasa por una etapa de filtración, para la remoción y eliminación de impurezas, con el objetivo de ir al proceso de calentamiento entre 30°C a 32°C, mediante una agitación constante. Para finalizar su distribución a los respectivos procesos de cada producto.

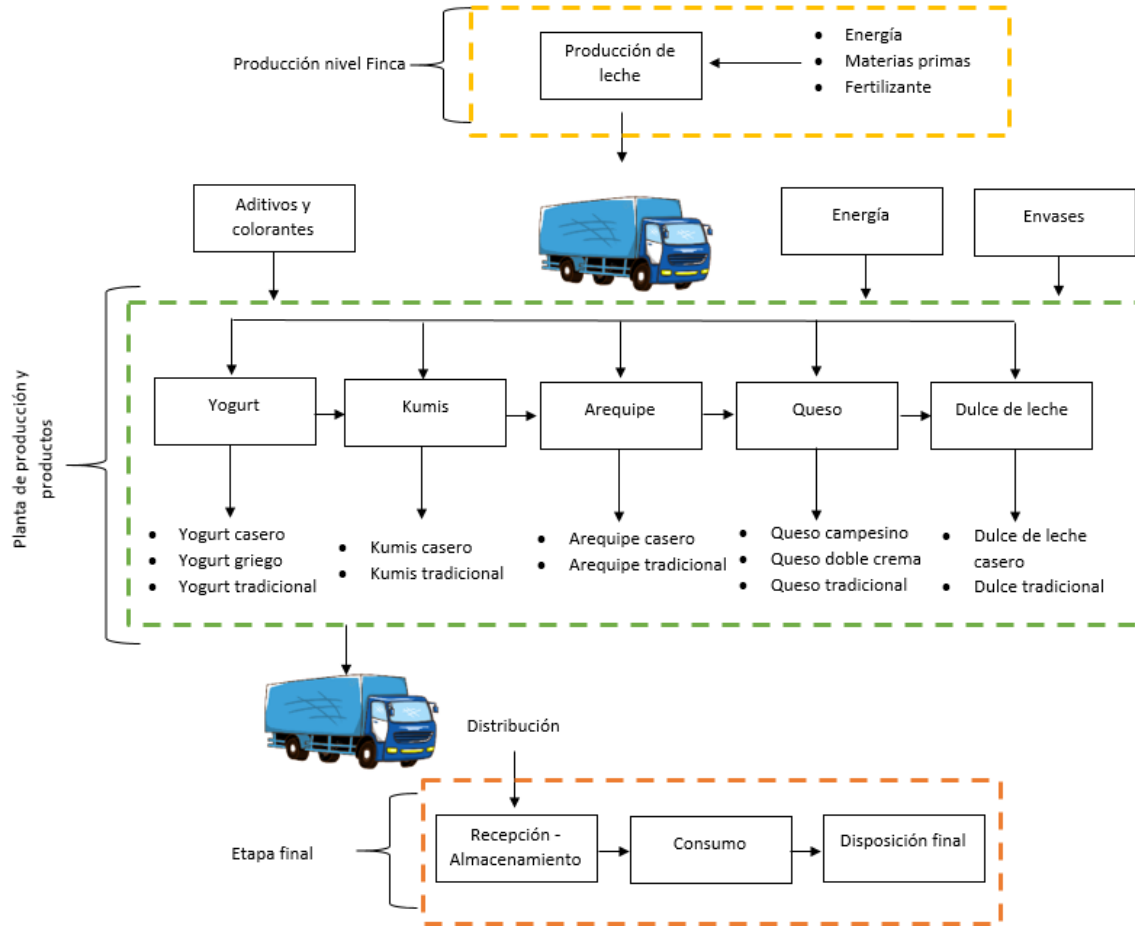


Figura 2. Límites del sistema de la fábrica Lácteos La Victoria
Fuente: Autor, 2020

Iniciando con el queso doble crema, una vez entra la leche y mientras se presenta el calentamiento de la materia prima, se incorpora el cuajo y la sal, y generar el proceso de 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. Seguidamente, luego de dejar en reposo, y esperar a la creación de los sólidos, un operario, mediante una lira metálica, inicia el proceso de corte de la cuajada, para lograr desprender la mayor cantidad de suero.

Una vez precipitada la cuajada, se inicia el proceso de separación del líquido y sólido, donde este último se traslada a un nuevo proceso de calentamiento, y de esta manera, brindarles esa

contextura elástica del queso. Finalizado este proceso, se deposita el queso en una mesa metálica, y llevar a cabo el hilado y moldeo de queso, a su respectivo empaque.

En relación a la empresa Lácteos La Victoria en la Tabla 1 se presenta los consumos diarios.

Insumos	Cantidad	Unidad diaria
Leche	3.730	L/d
CaCl ₂	0,27	kg/d
Cuajo	0,02	kg/d
Sal	22,35	kg/d
Consumo de agua directo	11.074	L/d
HNO ₃	39,26	g/d
NaOH	127,78	g/d
ACPM	90	L/d
Azúcar	79,31	kg/d
Bicarbonato de Sodio	1,70	kg/d
Glucosa	0,10	kg/d
Almidón	1,06	kg/d

Tabla 1. Requerimientos diarios de insumos de la empresa Lácteos La Victoria

Cabe aclarar dos aspectos. El primero es que el Hidróxido de Sodio (NaOH) y el Ácido Nítrico, son utilizados como agentes de limpieza de las máquinas y las instalaciones en la empresa. Por otra parte, estos son los insumos implementados para producir los 5 derivados lácteos.

A continuación se presenta la cantidad producida diaria por la empresa de queso campesino, queso doble crema, yogurt, kumis y arequipe.

Productos	Cantidad	Unidad diaria
Queso Campesino	80	kg
Queso Doble Crema	60	kg
Yogurt	2.050	L
Kumis	480	L
Arequipe	106	kg

Tabla 2. Producción diaria de derivados lácteos en Lácteos La Victoria

Por otra parte, se selecciona el método AWaRe para evaluar la huella de agua de los productos de la empresa de Lácteos de La Victoria, propuesto por la organización Water Use

Life Cycle Assessment (WULCA). Agua Disponible resultante o AWaRe (Available Water Remaining), determina la huella de escasez de agua regionalizada, la cual indica la disponibilidad del recurso hídrico relativo restante por área, siempre y cuando se haya satisfecho la demanda de ecosistemas acuáticos y actividades antropogénicas (Boulay et al., 2017). Siendo un método utilizado en la evaluación de la huella de agua de producto lácteo como el queso mozzarella (Dalla Riva et al., 2017), o en la mantequilla y crema de leche (Liao et al., 2020).

Antes de presentar la Huella de agua de los productos, hay que mencionar tres puntos de vital importancia. Primero, fue seleccionado el método de AWaRe porque determina el riesgo de otros usuarios del recurso hídrico en la zona, y su peligro de tener una escasez de agua, entendiendo el concepto de escasez como la falta de este recurso para satisfacer las necesidades del área seleccionada (Cesar et al., 2015). Sumado a esto, el método posee un enfoque de *mid-point*, el cual mide el impacto ocasionado por el producto o servicio, y posee un fuerte vínculo con la escasez del recurso hídrico, al estar relacionado con la privación del agua, mientras que un enfoque *end-point* refleja los daños a la salud humana o de los ecosistemas, ocasionado por esa escasez de agua (Kounina et al., 2012).

No obstante, no se llevó a cabo la aplicación de otros índices como Ecological Scarcity 2006 (Frischknecht et al., 2005), de Potencial de Privación del Usuario (Berger et al., 2014; A. M. Boulay et al., 2011), escasez (Hoekstra & Mekonnen, 2011) ni de Indicador de Escasez de Agua (Pfister et al., 2009), debido a que el indicador AWaRe evalúa la privación potencial de los usuarios humanos y de los ecosistemas, bajo un enfoque de *mid-point*. Además, se basa en un conceso de expertos de ACV y la hidrología, siendo recomendado por el

organismo Life Cycle Thinking; y, cumple con la norma de Huella de agua basada en ACV, NTC – ISO 14046 para realizar la huella de escasez del agua (Boulay et al., 2017).

Como segundo punto, el índice proporcionado por el método AWaRe, posee un rango de 0,1 a 100, el cual indica que entre mayor sea este indicador, menor agua posee los usuarios y el ecosistema, gracias al producto, ocasionando una privación del recurso. Adicional a esto, un valor de 1 corresponde al promedio mundial de escasez de agua, de ahí que un valor de 10 indique que en ese territorio o en esa zona se presenta 10 veces menos agua disponible (WULCA, 2014).

2.2. Resultados y Discusión del objetivo específico 2: *Elaboración del inventario de la contribución de los procesos y materiales a la huella del agua por escasez de la empresa Lácteos La Victoria del municipio de Pasto, Nariño por derivado lácteo*

Como se mencionó anteriormente, se tomó como Unidad Funcional, 1 Litro de leche recepcionada por la empresa, por lo que se determina el consumo de insumos por litro de leche, como se expone a continuación en un ejemplo:

$$11074 \frac{L \text{ de agua}}{\text{día}} \times 0,000268 L \text{ de leche}^{-1} = 2,97 \frac{L \text{ de agua}}{\text{Litros de leche}}$$

El 0,000268 es el factor de conversión de la UF, que permite determinar el valor de cada insumo por litro de leche. En la tabla siguiente se expone estos resultados por producto, es decir, dependiendo de su consumo de recursos y materiales.

1 litro/3730 litros día consumidos en el proceso = 0.000268 Unidad funcional

Insumo	Cantidad diaria	Unidad	Unidad Funcional	Unidad	Cantidad respecto a UF	Unidades
Materias Primas						
Leche	750	L	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,20	L/L de leche
NaCl	6,38	kg			1,71x10 ³	kg/L de leche
Cuajo	8,04	g			2,16x10 ³	g/L de leche
CaCl ₂	150	g			0,04	g/L de leche
Agua directa	2227	Kg			0,60	kg/L de leche
Agentes de Limpieza						
HNO ₃	7,90	g	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	2,12x10 ³	g/L de leche
NaOH	25,70	G			6,89x10 ³	g/L de leche
Fuentes de energía						
ACPM	68,50	L	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,02	L/L de leche
Electricidad	52,85	kWh			0,01	kWh/L de leche
Salidas						
Queso campesino	80	kg	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,02	kg/L de leche

Tabla 3. Inventario de Ciclo de Vida del queso campesino

Insumo	Cantidad diaria	Unidad	Unidad Funcional	Unidad	Cantidad respecto a UF	Unidades
Materias Primas						
Leche	582	L	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,16	L/L de leche
NaCl	15,98	kg			4,28x10 ³	kg/L de leche
Cuajo	804	g			0,22	g/L de leche
CaCl ₂	116,40	g			0,03	g/L de leche
Agua	1728	kg			0,46	kg/L de leche
Agentes de Limpieza						
HNO ₃	6,12	g	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	1,64x10 ³	g/L de leche
NaOH	19,94	G			5,35x10 ³	g/L de leche
Fuentes de energía						
ACPM	53,16	L	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,01	L/L de leche
Electricidad	39,62	kWh			0,01	kWh/L de leche
Salidas						
Queso doble crema	60	kg	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,02	kg/L de leche

Tabla 4. Inventario de Ciclo de Vida del queso doble crema

Insumo	Cantidad diaria	Unidad	Unidad Funcional	Unidad	Cantidad respecto a UF	Unidades
Materias Primas						
Leche	1760	L	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,47	L/L de leche
Azúcar	35,2	Kg			9,44x10 ³	kg/L de leche
Agua	5226	Kg			1,40	kg/L de leche
Agentes de Limpieza						
HNO3	19	g	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	4,97x10 ³	g/L de leche
NaOH	60,30	g			0,02	g/L de leche
Fuentes de energía						
ACPM	160,75	L	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,04	L/L de leche
Electricidad	68,27	kWh			0,02	kWh/L de leche
Salidas						
Yogurt	2050	kg	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,55	kg/L de leche

Tabla 5. Inventario de Ciclo de Vida del yogurt

Insumo	Cantidad diaria	Unidad	Unidad Funcional	Unidad	Cantidad respecto a UF	Unidades
Materias Primas						
Leche	426	L	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,11	L/L de leche
Azúcar	3,83	kg			1,02x10 ³	kg/L de leche
Agua	1265	Kg			0,34	kg/L de leche
Agentes de Limpieza						
HNO3	4	g	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	4,97x10 ³	g/L de leche
NaOH	4,48	g			1,20x10 ³	g/L de leche
Fuentes de energía						
ACPM	38,91	L	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,01	L/L de leche
Electricidad	15,99	kWh			4,29x10 ³	kWh/L de leche
Salidas						
Kumis	480	kg	2,68x10 ⁻⁴	L de leche ⁻¹	0,13	kg/L de leche

Tabla 6. Inventario de Ciclo de Vida del kumis

Insumo	Cantidad diaria	Unidad	Factor de conversión	Unidad	Cantidad respecto a UF	Unidades
Materias Primas						
Leche	212	L	$2,68 \times 10^{-4}$	L de leche ⁻¹	0,06	L/L de leche
Azúcar	40,28	kg			0,01	kg/L de leche
Agua	1265	kg			0,34	kg/L de leche
Bicarbonato	1,696	kg			$4,55 \times 10^4$	kg/L de leche
Glucosa	0,10	kg			$2,61 \times 10^5$	kg/L de leche
Almidón	1,06	kg			$2,84 \times 10^4$	kg/L de leche
Agentes de Limpieza						
HNO ₃	2	g	$2,68 \times 10^{-4}$	L de leche ⁻¹	$5,98 \times 10^3$	g/L de leche
NaOH	7,26	g			$1,94 \times 10^3$	g/L de leche
Fuentes de energía						
ACPM	19,36	L	$2,68 \times 10^{-4}$	L de leche ⁻¹	0,01	L/L de leche
Electricidad	69,99	kWh			0,02	kWh/L de leche
Salidas						
Arequipe	106	kg	$2,68 \times 10^{-4}$	L de leche ⁻¹	0,03	kg/L de leche

Tabla 7. Inventario de Ciclo de Vida del arequipe

A diferencia del queso doble crema, el queso campesino, no se añade la sal en el proceso de calentamiento de la leche con el cuajo, por el contrario, se añade una vez separado el suero de leche y de la cuajada, y esta última al haber pasado por el proceso de escurrido durante 15 minutos, se añade la sal. Ya mezclado el queso con la sal, se prensa entre 15 a 30 minutos, para rápidamente dejarlo en el proceso de aireación, a temperatura ambiente, durante una hora. Finalizando el proceso productivo del queso campesino, se empaca, al igual que el queso doble crema, en bolsas de polietileno.

Como tercer producto se tiene el yogurt, el cual, luego de llevar a cabo el proceso de calentamiento de la leche, pasa por un proceso de enfriamiento a 42°C, para proceder a su inoculación a 42°C, incubación durante 2 a 3 horas (hasta la obtención de una viscosidad alta)

y homogenización de los microorganismos, para evitar la formación de nata y mejorar la consistencia del producto.

En seguida, se retorna al proceso de enfriamiento, y buscar una acidificación de 0,3, a una temperatura de 15°C. Al conseguir estas características, se agregan los edulcorantes, estabilizantes y el zumo de fruta, durante el proceso de agitación. El proceso productivo del yogurt culmina con el envasado de producto, herméticamente, y su entrada a la cámara de refrigeración, para conservar esa cadena de frío.

Se continúa con el proceso productivo del kumis, el cual, durante el proceso de calentamiento de la leche, se añade el azúcar y leche en polvo, y pasa a un nuevo proceso de pasteurización a 90°C durante 10 minutos, y rápidamente pase al proceso de enfriamiento, a 30°C durante otros 10 minutos. Ya con esta temperatura, se añaden el cultivo de microorganismos, y se inicia su incubación, mediante una temperatura controlada de 26°C, durante 16 a 20 horas.

Cumplidas las horas de incubación, pasa a un nuevo proceso de refrigeración, a 4°C durante 24 horas, para luego añadir los conservantes y edulcorantes. Finalizado el proceso de agitación se empaca el producto final, en bolsas de polietileno, y se almacenan a una temperatura de 4°C.

Como quinto, y último producto se cuenta con el arequipe o dulce de leche, que, en principio, su materia prima, luego de pasar por el proceso de calentamiento, requiere de un proceso de neutralización, donde se añade bicarbonato de sodio para reducir el exceso de acidez de la leche. Se lleva a cabo un nuevo proceso de calentamiento a 50°C, agregando almidón y azúcar, hasta que consiga una contextura espesa, para poder ser envasada y almacenada en un lugar fresco y seco.

Cabe aclarar que en todos los procesos el agua utilizada o todos los vertimientos, generados por los procesos productivos, son tratados y reutilizados.

Como último punto, los resultados que se presentarán a continuación será la Huella de agua por kg de producto, siendo la caracterización del producto. Los resultados del siguiente objetivo si determinarán la Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria por litro de leche cruda, comparando este parámetro dependiendo de la producción de derivado lácteo.

CAPITULO III. Evaluación de impactos de la huella de agua

3.1 Resultados y Discusión del objetivo específico 3: Evaluar el impacto potencial de huella de agua por escasez en la empresa Lácteos La Victoria del municipio de Pasto, Nariño

3.1.1. Queso campesino y doble crema

Teniendo en cuenta lo mencionado por (Castrillón, 2013), el queso campesino y doble crema son exclusivos de Colombia, según el Instituto Colombiano de Tecnología de Alimento. Asimismo, el autor menciona que el queso campesino es uno de tipo fresco no ácido, es decir, posee una contextura blanda, con pasta amasada y molida; mientras que el queso doble crema es uno de tipo fresco ácido, con pasta hilada, de consistencia y textura fibrosa. En resumen, se diferencian que el queso doble crema tiene la capacidad de derretirse cuando se expone a altas temperatura, mientras que el queso campesino no.

Por otra parte, como se mencionó en la definición del alcance del sistema productivo, para la producción de queso se requiere, leche, cuajo, sal, electricidad, ACPM, agua, HNO₃ y NaOH.

Producto	Agua (m ³)	Sal (m ³)	HNO ₃ (m ³)	NaOH (m ³)	ACPM (m ³)	Electricidad (m ³)	Huella de Agua (m ³)
Queso campesino	1,230	-2,32 x10 ⁻³	7,43 x10 ⁻⁵	4,30 x10 ⁻⁴	6,47 x10 ⁻⁴	0,09	1,32
Queso doble crema	1,260	-7,75 x10 ⁻³	7,67 x10 ⁻⁵	4,45 x10 ⁻⁴	3,55 x10 ⁻⁴	0,01	1,27

Tabla 8. Huella de agua por kg de queso campesino y doble crema

En la Tabla 8 se presentó un valor negativo en la Huella de Agua de la sal. Esto indica que se presenta un aprovechamiento o retorno de agua utilizada en el sistema productivo, en este caso en la producción de la sal (WULCA, 2014).

Seguido a esto, se presenta un diagrama en red y una gráfica, que presentan una mejor representación de los resultados. Debido a la amplia cantidad de datos, con los que cuenta las bibliotecas de SimaPro, fue seleccionado un valor de corte de 0,1. Este parámetro le permite al *software*, reducir la cantidad de procesos incluidos, tanto en el diagrama de red como en las gráficas, mostrando las entradas más relevantes, en este caso del método AWaRe, ocasionando que solo se logre visualizar la Huella de Agua de la electricidad y del consumo de agua directo, siendo los de mayor contribución.

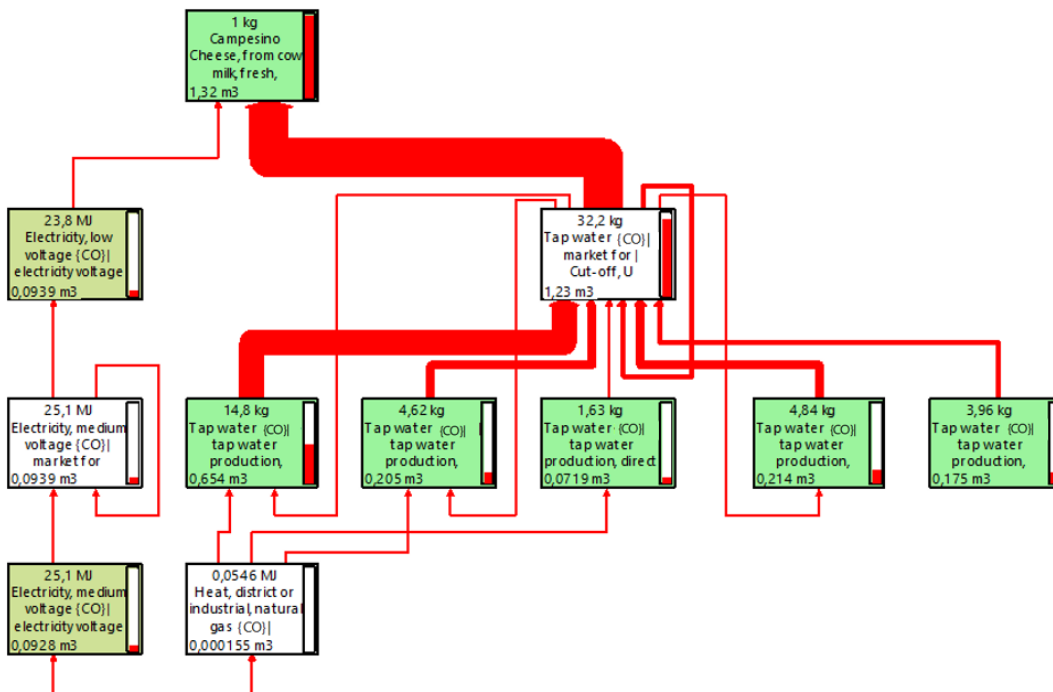


Figura 3. Diagrama de red de la huella de agua del queso campesino (valor de corte = 0,1)

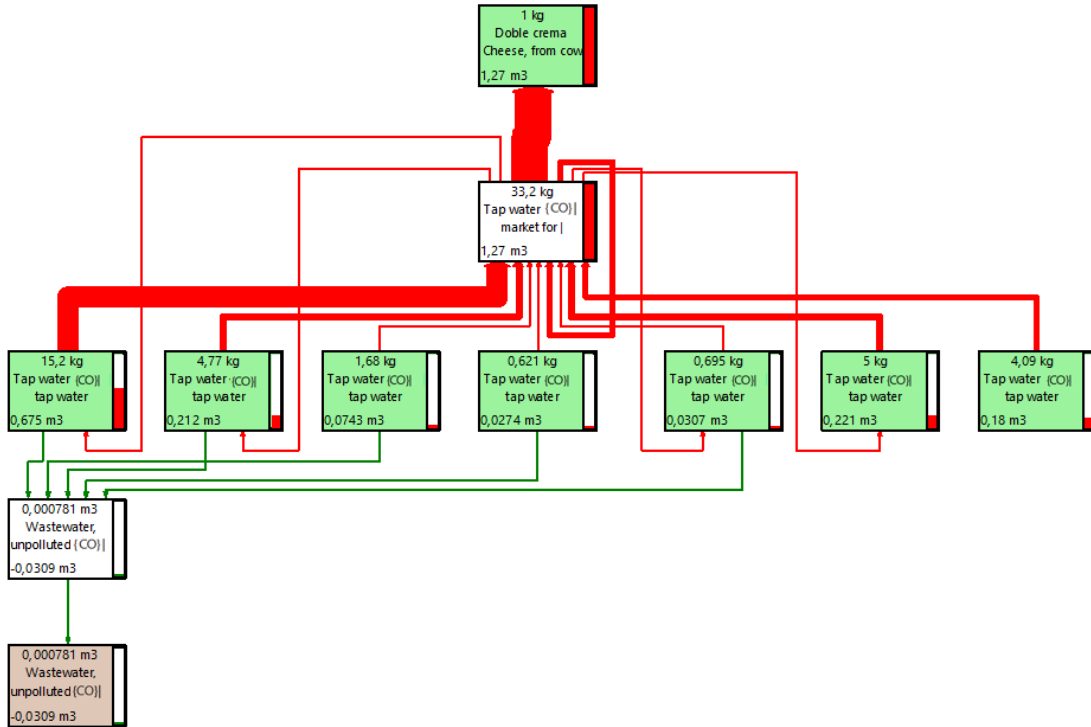
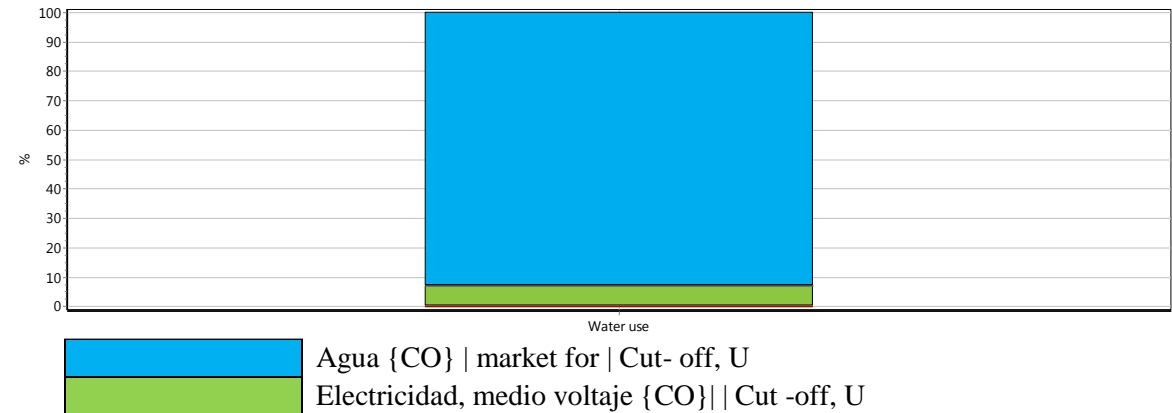
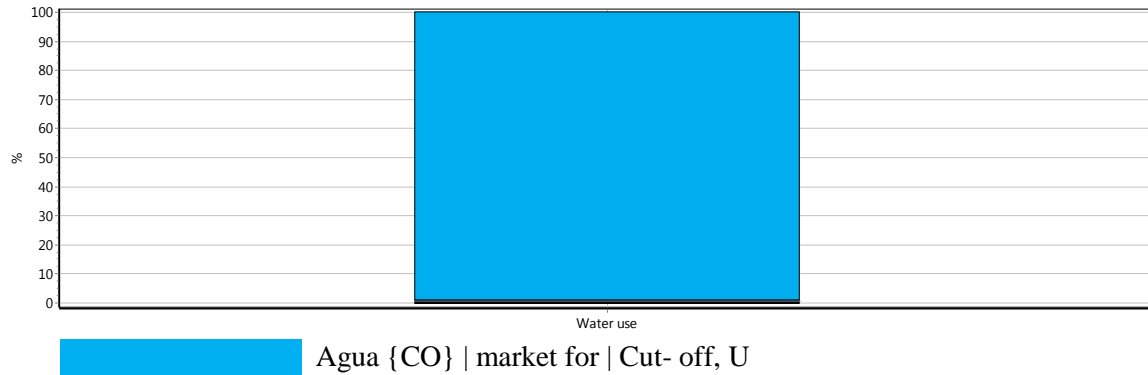


Figura 4. Diagrama de red de la huella de agua del queso doble crema (valor de corte = 0,1)



Grafica 1. Huella de agua por kilogramos de queso campesino



Grafica 2. Huella de agua por kilogramos de queso doble crema

En principio, como se observa en la Tabla 8, se obtiene que la Huella de agua del queso campesino es de 1,32 m³ de escasez de agua por kilogramo de producto. Para el caso de este producto, casi el 90% de este resultado es ocasionado por el uso de agua directo de la empresa, por la limpieza de las máquinas y su intervención en el proceso. Y más del 7% proviene del uso de electricidad en la fábrica, ya sea en el almacenamiento de insumos previo a su uso y del producto una vez finalizado el proceso productivo, también se incluye la iluminación.

Por otra parte, la Huella de agua del queso doble crema es de 1,27 m³ de agua que escasea por kilogramo de producto. En este caso, obteniendo datos similares al queso campesino, con casi el 100% por el uso de agua directo en el proceso productivo. En ambos casos, se observan únicamente estas entradas en el diagrama en red y en la gráfica al contribuir mayormente a la huella de agua.

Bai et al. (2018) Afirman que existen dos tipos de consumos: el consumo directo, el cual hace referencia al consumo de agua durante ese proceso, o, en otras palabras, cuando la empresa es la que tiene control del uso del recurso hídrico; y el consumo indirecto, donde el uso de

agua se presenta en otras etapas, fuera del proceso, como puede ser en la producción de los materiales e insumos.

Por otra parte, este mismo autor, ya relacionado en la industria láctea, expone que el 92% de la Huella de agua de un derivado lácteo provenía del consumo indirecto del agua, principalmente ocasionado por los procesos que se generaban en la etapa de extracción de materias primas, principalmente en la producción del alimento de los rumiantes, siendo también un valor presentado por Kim et al. (2013), pero para el caso del queso. Aun así, se afirma en estos dos artículos que este cambia cuando se aísla la fábrica de la producción de la leche.

En ambos casos, el consumo de agua directo o “agua de grifo”, es el mayor contribuyente, en la fábrica, de la Huella de agua, lo que indica que una estrategia de disminución del agua dependería de ella. En otras investigaciones se afirmaba que una fábrica de queso contribuye entre un 27% (Mondello et al., 2018) a un 31,1% (Santos et al. 2017), y la principal causa es el uso de electricidad. No obstante, en ambos casos, los resultados mencionados eran de todo el ciclo de vida del queso.

Por otro lado, se obtienen datos similares Doublet et al. (2013) en relación a queso doble crema, ya que el autor afirma que un queso suave, como este, las mayores cargas a la escasez de agua es producto del “agua de grifo” o consumo directo, aproximadamente, el 70%, lo demás estaba distribuido al consumo de electricidad y al consumo indirecto. Por el contrario, un queso como el campesino, al que entraría a una denominación de queso “curd”, las mayores cargas eran por el uso de electricidad, algo que no sucedió en la empresa lácteos La Victoria.

3.1.2. Yogurt y Kumis

Tanto el yogurt como el kumis son leches fermentadas, que se diferencian de que el primero posee una fermentación ácida, mientras que el otro una ácida alcohólica. Por consiguiente, para la producción de yogurt agregan cepas bacterianas de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, la cuales transforman la lactosa en ácido láctico. Por otra parte, para la elaboración del kumis requiere de las cepas bacterianas de *Bacterium caucasicum* y *Streptococcus lactis* o con las cepas de levaduras como *Torula kéfir* y *Saccharomyces kéfir* (Corrieu & Béal, 2015). Sin embargo, su proceso productivo es similar, por ende, al momento de hablar del yogurt, se hará también referencia al kumis.

A diferencia del queso, para la producción de yogurt y kumis se requiere de agua, azúcar, HNO_3 , NaOH , ACPM y electricidad.

Producto	Agua (m ³)	Azúcar (m ³)	HNO ₃ (m ³)	NaOH (m ³)	ACPM (m ³)	Electricidad (m ³)	Huella de Agua (m ³)
Yogurt	0,112	0,06	$5,61 \times 10^{-6}$	$3,94 \times 10^{-5}$	$9,15 \times 10^{-5}$	$4,74 \times 10^{-4}$	0,174
Kumis	0,116	0,03	$5,80 \times 10^{-6}$	$1,25 \times 10^{-5}$	$1,16 \times 10^{-5}$	$4,74 \times 10^{-4}$	0,145

Tabla 9. Huella de agua por kg de yogurt y Kumis (m³)

En el caso de yogurt, bajo el método AWaRe, posee una Huella de 0.174 m³ de agua escaza por kilogramo de producto siendo, aproximadamente, más del 30% fue proporcionado por el uso de azúcar como insumo para su elaboración, y el 70% al consumo de agua directo. Por otro lado, el kumis posee una Huella de 0,145 m³ de agua escaza por kilogramo de producto, donde el consumo directo representa el 80%. Estos valores fueron similares al de Vasilaki et al. (2016) quien obtuvo que en promedio una planta de producción de yogurt cuenta con una Huella de agua de 0,204 m³, atribuyéndole principalmente a los procesos de limpieza dentro de la fábrica, como sucedió con el Kumis.

En el caso de Jungbluth et al. (2018) obtuvo resultados distintos con el Yogurt donde afirmaba que los procesos directos de la empresa, como son los de limpieza y uso en los procesos de manufactura de este derivado lácteo, no son relevantes. Además, en esta investigación, el autor afirma que el consumo indirecto de agua, por la producción de su empaque es el contribuyente de las mayores cargas. A saber, el empaque fue una etapa excluida de esta investigación.

Al igual que con la producción de queso, el diagrama de red y la gráfica del sy yogurt se visualizan con un valor de corte de 0,1.

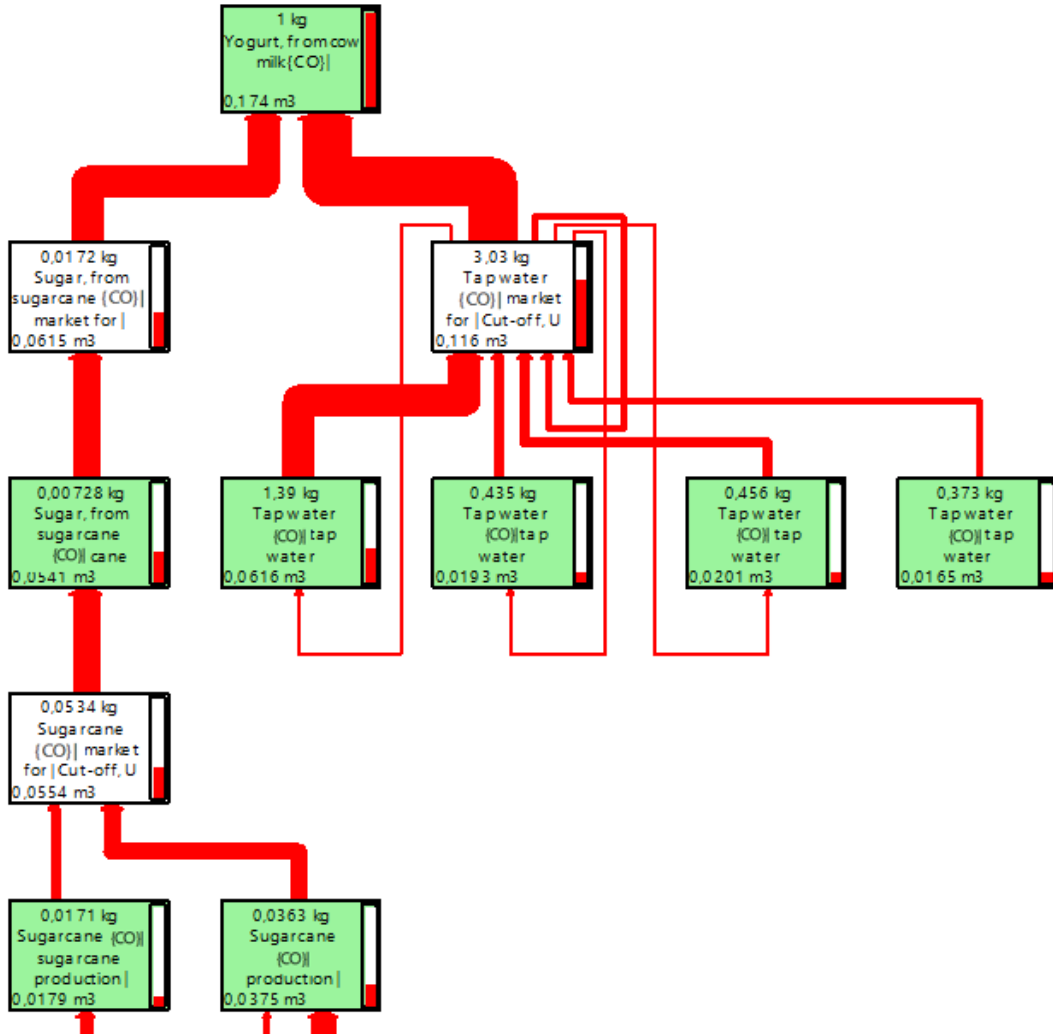


Figura 5. Diagrama de red de la huella de agua del yogurt (valor de corte = 0,1)

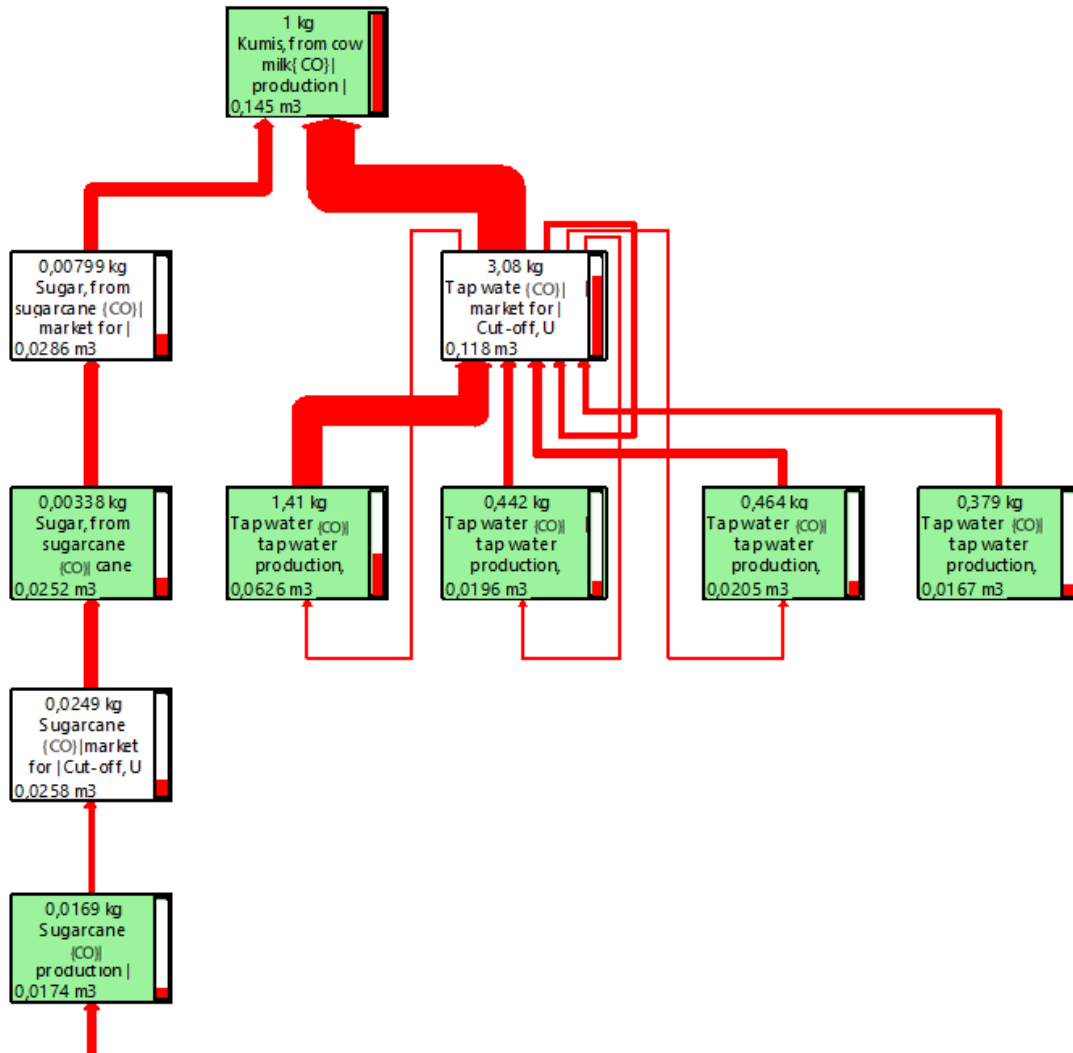
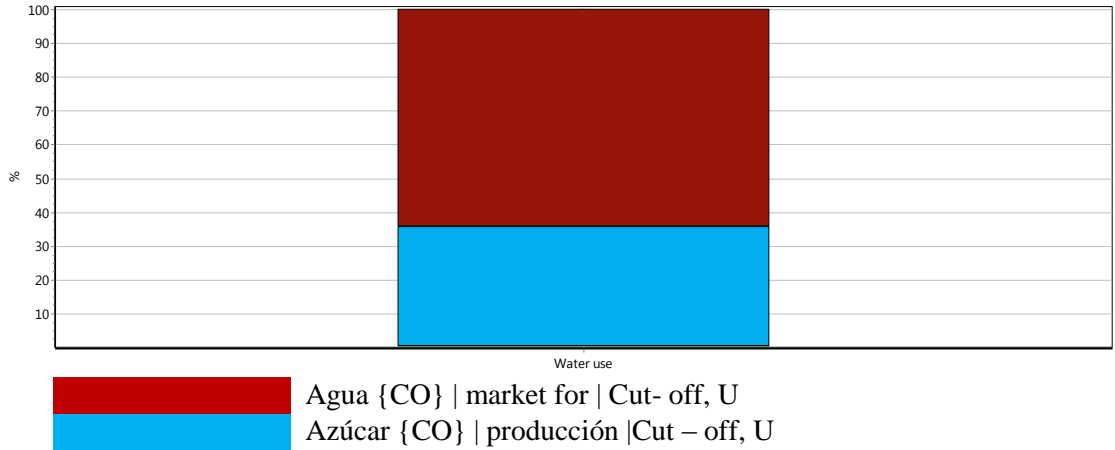
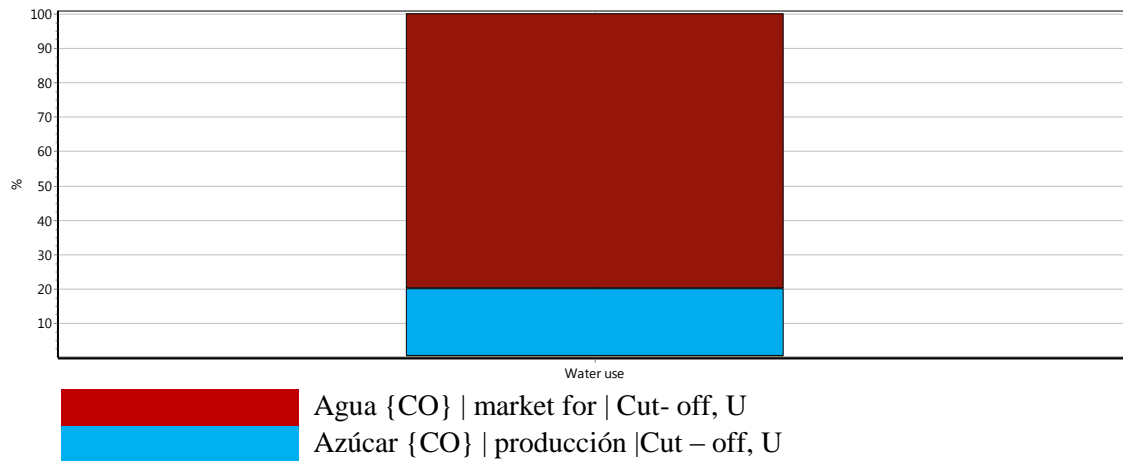


Figura 6. Diagrama de red de la huella de agua del kumis (valor de corte = 0,1)



Grafica 3. Huella de agua por kilogramos del yogurt



Grafica 4. Huella de agua por kilogramos de kumis

3.1.3. Arequipe

Por último, el arequipe o también conocido como dulce de leche, del cual no se encontraron estudios referentes a su Huella de agua o Análisis de Ciclo de Vida en las bases de datos utilizadas (*ScienceDirect, Scopus, SpingerLink, ReseachGate, Wiley y Amientalex*). Como definición del Arequipe, puede entrar a la categoría de Caramelo, como un dulce opaco, de color marrón medio, y de una textura suave (Goldstein, pág. 112).

Recapitulando, para la producción de arequipe se requiere de agua, azúcar, HNO₃, NaOH, electricidad, ACPM, NaHCO₃ y glucosa.

Producto	Arequipe
Agua (m ³)	0,526
Azúcar (m ³)	1,360
HNO ₃ (m ³)	1,31 x10 ⁻⁵
NaOH (m ³)	9,18x10 ⁻⁵
Electricidad (m ³)	9,4x10 ⁻³
ACPM (m ³)	1,98 x10 ⁻⁵
NaHCO ₃ (m ³)	0,0315
Glucosa (m ³)	9,43x10 ⁻⁴
Huella de agua (m ³)	1,93

Tabla 10. Huella de agua por kg de arequipe

Como se observa en la Tabla 10, la Huella de agua del arequipe, por kg de producto, cuenta con una Huella de agua de 1,93 m³. A diferencia de los otros 4 derivados lácteos, las mayores cargas a la escasez de agua es el azúcar, y en este caso, representó el 70%, seguido por el 29% del consumo directo de agua y del 1% por el uso de Bicarbonato de Sodio.

Nilsson et al. (2011) evaluó los impactos ambientales de dulces y refrescos, identificando al azúcar como el punto crítico en categorías como eutrofización y huella de carbono. También Konstantas et al. (2019), identificó que en los pasteles, el azúcar representaba los mayores impactos, además de la leche, el harina de trigo y el aceite de palma. Entre sus propuestas, se

encuentra que una reducción del 30% del contenido de azúcar puede representaría disminuir entre un 3% a 11%.

Ahora bien, referente a la producción de azúcar, llegó a representar hasta el 4% del consumo total de agua en el mundo (Williams & Mekonen, 2014), y en la actualidad es uno de los productos con una mayor Huella de agua (Water FootPrint Organization, 2015), detrás del arroz, la carne y la leche (Hoekstra, 2008). Sumado a esto, Colombia resulta ser uno de los mayores productores de azúcar en el mundo, compitiendo con países como Tailandia, Pakistán, México, o Australia, ocasionando que se consuman hasta más de cinco mil millones de agua en los años 90s. Adicional a esto, en Colombia, el mayor consumo de agua en el proceso de caña de azúcar, es de agua “verde”, siendo aquella contenida en las plantas y el suelo en forma de humedad, incrementando los procesos sequía en las zonas (Gerbens-leenes & Hoekstra, 2009).

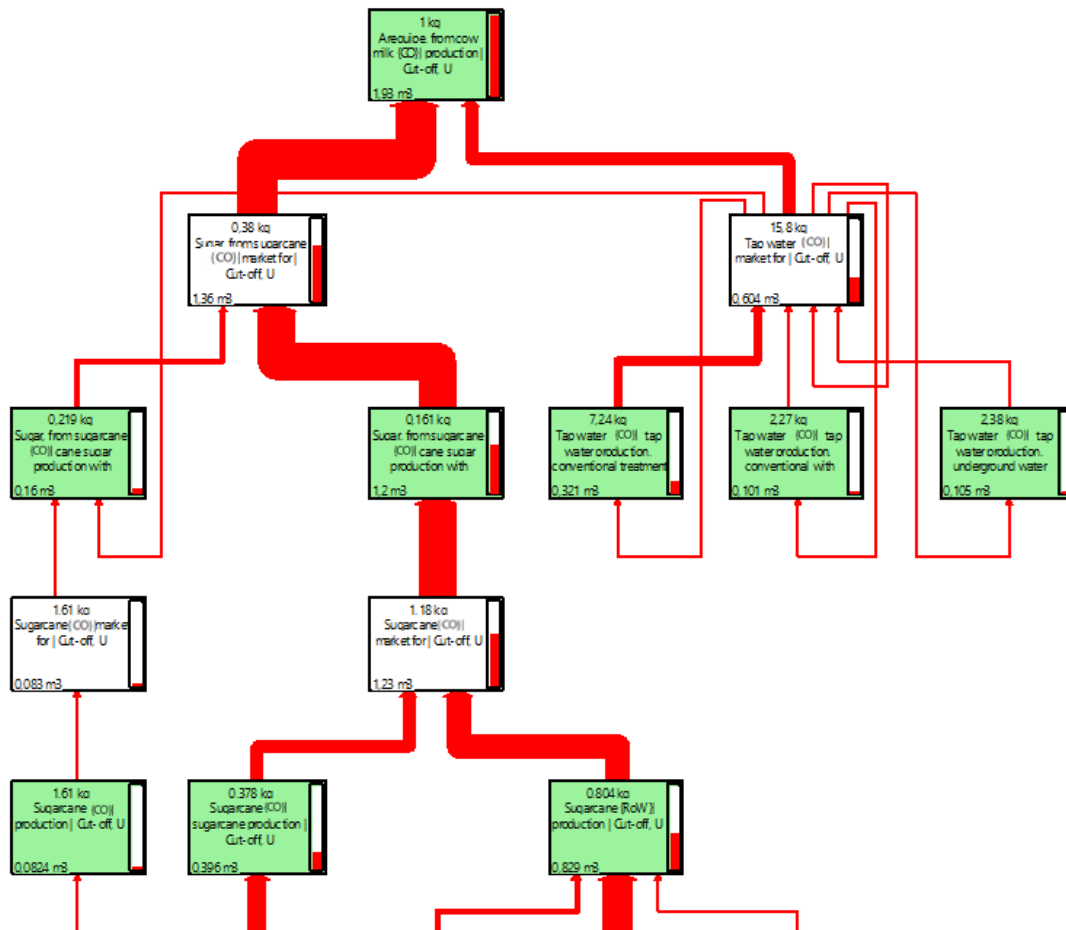
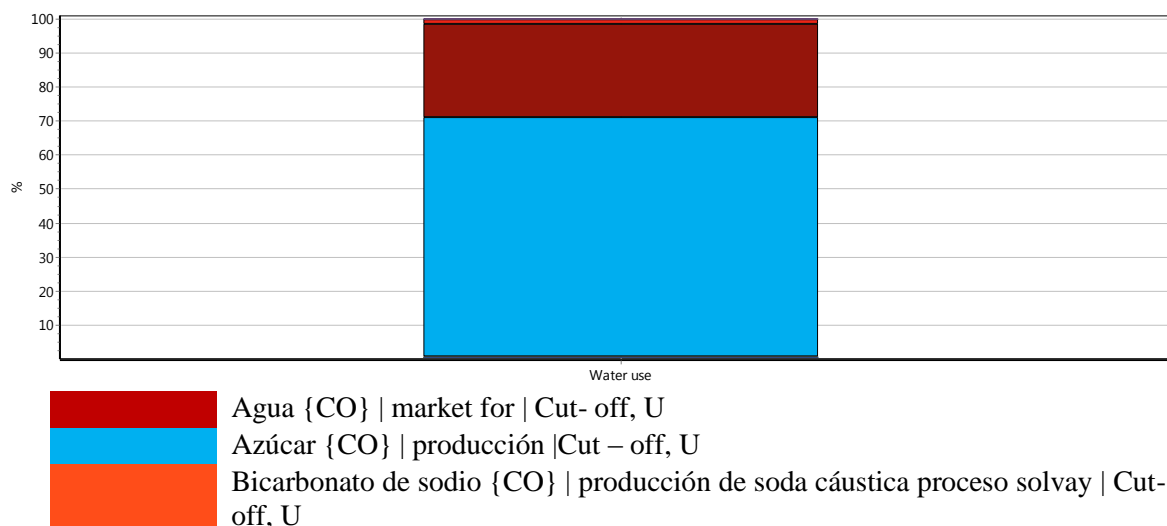


Figura 7. Diagrama de red de la huella de agua del arequipe



Grafica 5. Huella de agua por kilogramos del arequipe

3.2. Interpretación de resultados

Para definir la huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria, se realizaron dos caminos. El primero, se va a abordar en este objetivo 3, tomando el total utilizado de cada insumo por la empresa, para la fabricación de los 5 productos, y determinando cual ella aporta más a la huella de agua (Water Footprint Network, 2014).

Entradas	Huella de agua (m ³)	Porcentaje (%)
Agua	0,14	63,34%
Electricidad	$8,94 \times 10^{-4}$	0,41%
Azúcar	0,0762	35,02%
Sal	$-1,75 \times 10^{-4}$	-0,08%
HNO ₃	$6,54 \times 10^{-6}$	0,003%
NaOH	$4,23 \times 10^{-5}$	0,019%
ACPM	$5,63 \times 10^{-5}$	0,026%
Glucosa	$2,68 \times 10^{-5}$	0,01%
NaHCO ₃	$4,75 \times 10^{-4}$	0,22%
Almidón de maíz	$6,24 \times 10^{-5}$	0,03%
Total	0,218	100

Tabla 11. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria

La Tabla 11 expone que el consumo de agua directo de la empresa, representa el 63,34% de la huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria. Como segundo insumo con mayores

cargas se encuentra el azúcar con un 35,02%, y en tercer lugar la electricidad con casi 0,41%. Por último, si sumamos las cargas de la sal, el ácido nítrico, el hidróxido de sodio, la glucosa, el bicarbonato de sodio y el almidón de maíz, solo representa el 0,4% de la huella de agua de la empresa. En total, la huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria es de 0,218 m³ (Figura 8)

El consumo de agua directo es ocasionado, principalmente, por las actividades de limpieza de los equipos. Las fábricas de leche y sus derivados, al manipular un alimento como la leche, que es un líquido blanquecino que posee proteínas (como la lactosa), grasas, vitaminas y minerales, dificulta los procesos de limpieza de las máquinas o recipientes. Esto se debe, como afirma Niamsuwan et al. (2011), primero, a su propiedad líquida que le permite tener un mayor contacto con las superficies operativas, a diferencia de los alimentos sólidos. A esto se le suma que la leche, al estar expuesta al frío, produce una capa que se adhiere a los equipos en los que está en contacto; y cuando se calienta genera costras quemadas que tienen aún más la capacidad de adherirse, generando que se requiera de mayor cantidad de agua para remover.

Asimismo, González-García et al (2013) también le atribuye el consumo de agua de los derivados lácteos, no solo al proceso de la limpieza de los equipos, también por un consumo indirecto debido a la refrigeración de los productos, siendo algo que no sucede en esta investigación donde el consumo directo es el generador de las mayores cargas de la Huella de agua. Sin embargo, Olmstead (2009), si obtiene resultados similares, afirmando que una fábrica de derivados lácteos, el 80% del uso de agua total, proviene de la limpieza de las máquinas.

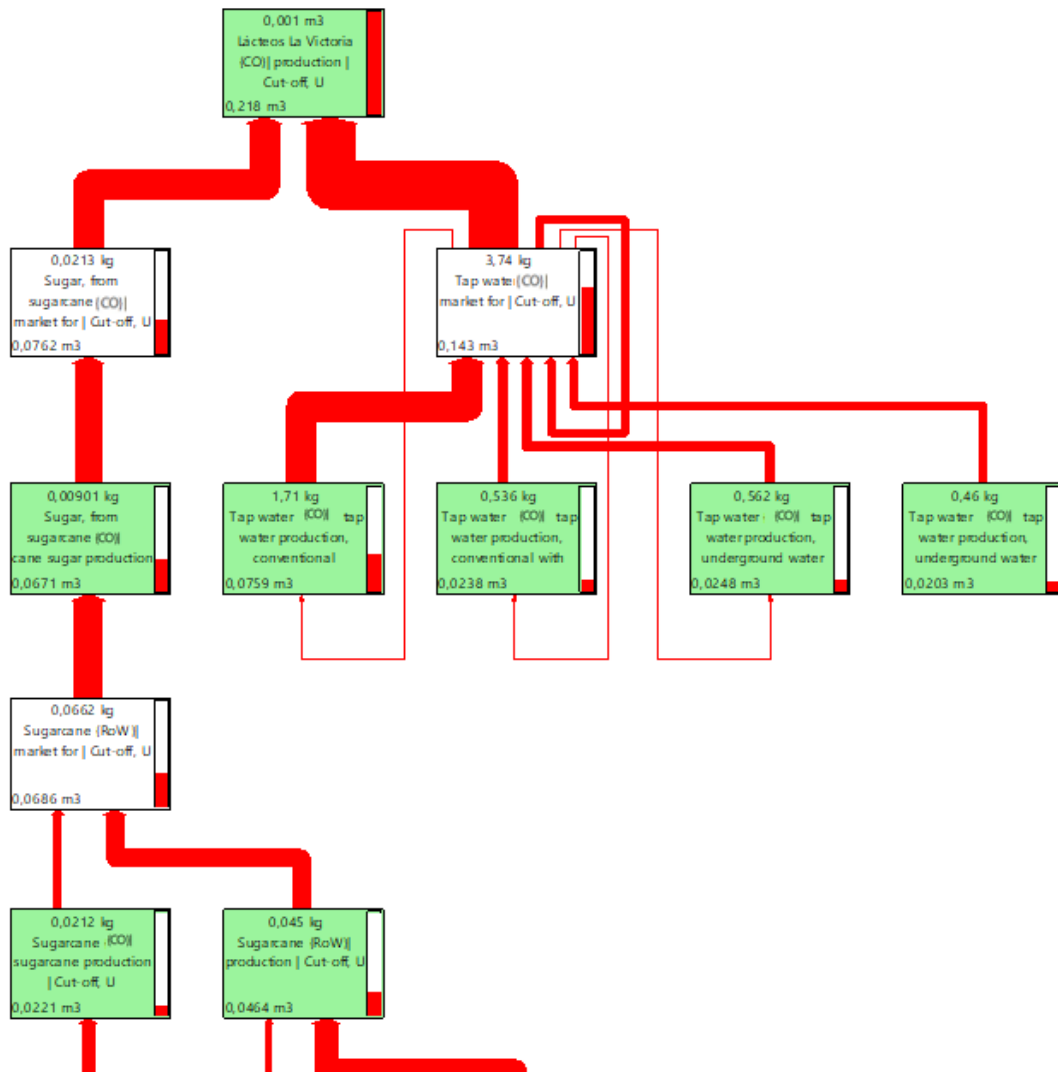
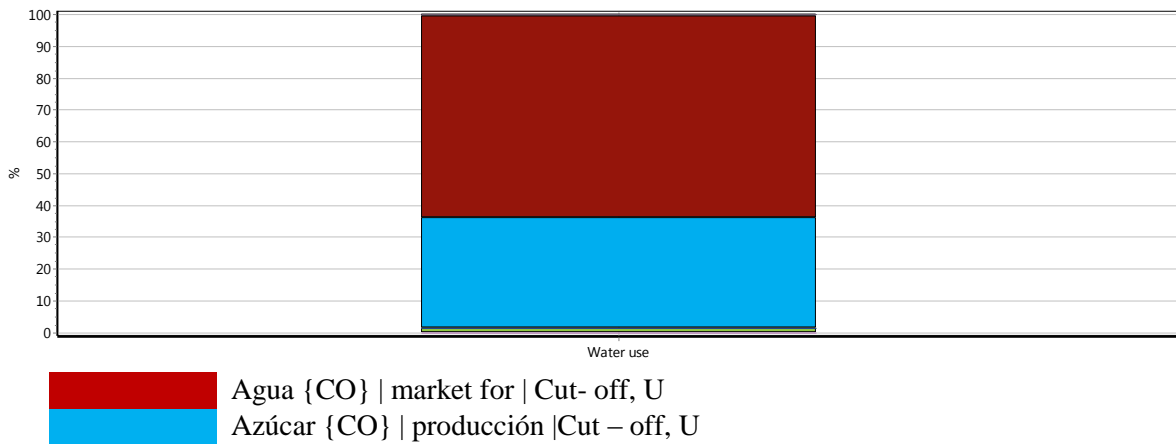


Figura 8. Diagrama de red de la huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria (distribución por insumos y operaciones)



Grafica 6. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria

Se evaluó la huella de agua por kilogramo de producto, en donde no se puede afirmar que el queso campesino genera las mayores cargas a la huella de agua en la empresa Lácteos La Victoria, ya que la empresa genera diferentes cantidades de estos 5 productos; en este objetivo se busca determinar el producto con mayores cargas, dependiendo su producción en la fábrica. Por tal motivo, se toma nuevamente la Unidad Funcional de 1 Litro de leche cruda, por tal motivo las cargas de la Huella de agua están fuertemente relacionadas con la producción total.

Producto	Producción por Litro de leche (kg)	Huella de agua (m³)
Queso Campesino	0,02	0,028
Queso Doble Crema	0,02	0,021
Yogurt	0,55	0,096
Kumis	0,13	0,019
Arequipe	0,03	0,054
Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria		0,218

Tabla 12. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria

Se observa en la Tabla 12 que por litro de leche se producen 0,02 kg de queso campesino; 0,02 kg de queso doble crema; 0,55 kg de yogurt; 0,13 kg de Kumis; y 0,03 kg de arequipe. Al comparar cada uno de los 5 productos elaborados en la empresa Lácteos La Victoria, bajo la unidad funcional de 1 litro de leche, se identifica que el Yogurt representa el 39% de la Huella de agua de la compañía (Figura 8). Autores como Djekic et al. (2014) y Palmieri et al. (2017), afirman que entre los derivados lácteos, el queso aporta las mayores cargas ambientales, y entre estos daños también se encuentra el consumo de agua, como lo menciona Finnegan et al. (2017). No obstante, este resultado no se pudo presentar, ya que el queso solo representa, sumando el queso campesino y el queso doble crema, un 5% del total de producción en la fábrica, mientras que el yogurt representa un 74%.

Otro factor determinante fue la exclusión de la etapa de extracción de materias primas, para este caso, la obtención de la leche, ya que el queso requiere del 44% de este insumo para producir el 5% de la producción total, a diferencia del yogurt que requiere del 47% de la leche que llega a la fábrica, para producir el 74% de la producción total.

Seguido del yogurt, el producto que genera el 25% de la Huella de agua de la empresa es el Arequipe, luego con un 13% el queso campesino, con un 10% el queso doble crema, y, el kumis con un 9%, aporta las menores cargas a la Huella de agua.

Finalmente, el yogurt fue el producto que representa la mayor Huella de agua en la empresa Lácteos La Victoria, en primer lugar, porque es el derivado más producido, ocasionando que se destine mayor cantidad de insumos, especialmente de agua, ya que requiere de 5.226 litros de agua, mientras que para producir queso consumen 3.955 litros, para kumis y arequipe 1.265 litros.

En segundo lugar, como se observó en el objetivo anterior que el segundo insumo con mayores cargas fue el azúcar. Para este caso, el yogurt utiliza el 44% de esta entrada, ya el arequipe consume el 51% y el kumis el 5%.

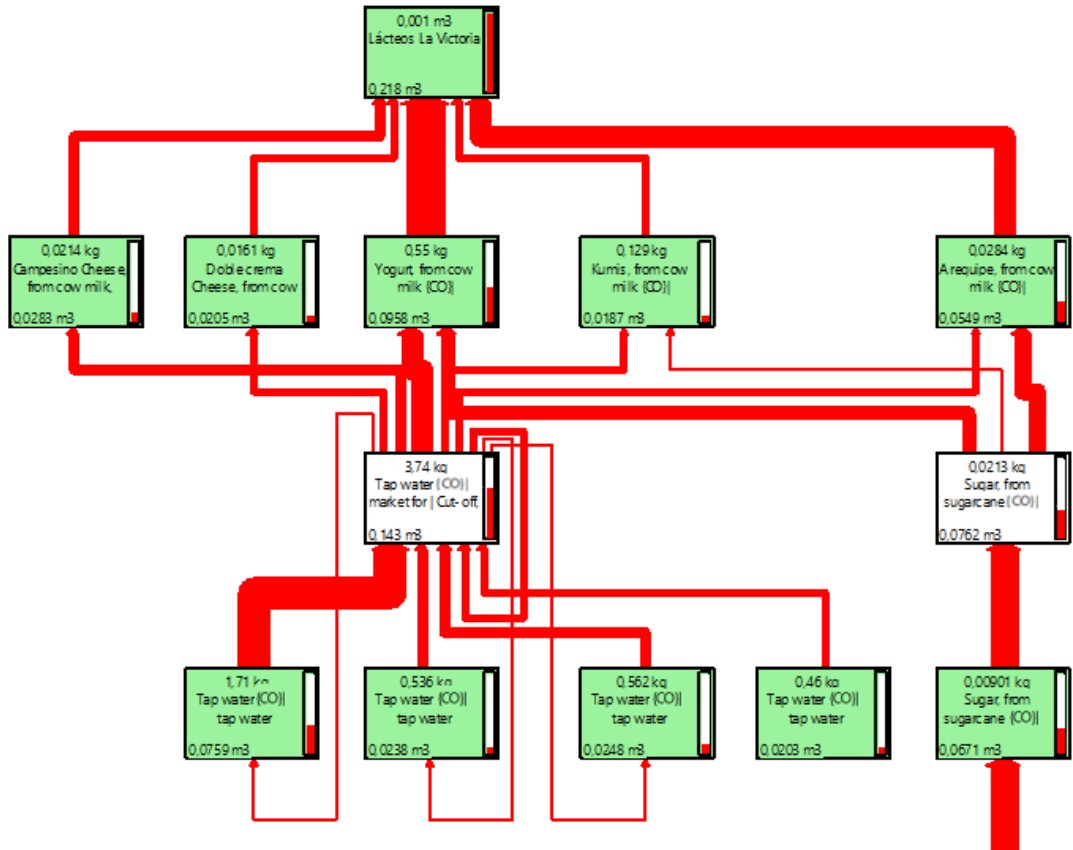
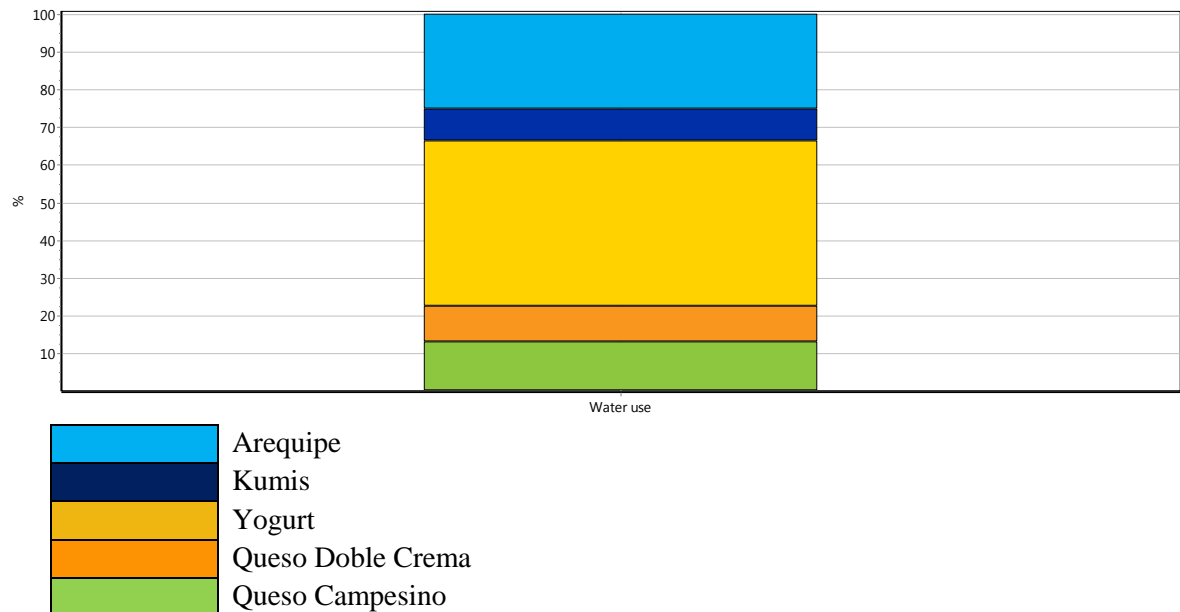


Figura 9. Diagrama de red de la huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria (distribución de cargas por producto)



Grafica 7. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria por producto

CAPITULO IV. Estrategias propuestas

4.1. Resultados y Discusión del objetivo específico 4: Proponer estrategias para la disminución de la huella del agua por escasez en la empresa Lácteos La Victoria del municipio de Pasto, Nariño

Al final, la huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria, presenta como puntos críticos o “hot spots” que el uso de azúcar como insumo, principalmente, para el Yogurt y el Arequipe y el consumo de agua directo por parte de la empresa, en actividades de limpieza de los equipos. Con la finalidad de generar alternativas que permitan reducir la Huella de agua en la producción, se proponen tres estrategias, presentadas a continuación:

- I. Dejar de producir queso campesino y doble crema, y aumentar la producción de kumis
- II. Excluir el alimento por su aporte nutricional (enfocado al arequipe y yogurt)
- III. Cambiar el tipo de azúcar del yogurt, kumis y arequipe

Cabe aclarar que para la propuestas se llevará a cabo un análisis de sensibilidad, mediante el método *One-at-a-time*, que consta de llevar a cabo los cambios en las entradas de los productos sin cambiar el valor consumido por la empresa (Groen et al.,2014). Es decir, se asumirá que, una vez excluido la producción de queso, se distribuirá en parte igual la producción de los productos restantes, al igual que con la exclusión del arequipe (propuesta II); y también se empleará la misma cantidad de azúcar para las 2 posibles endulzantes.

4.1.1. Exclusión de la producción de queso campesino y doble crema

La propuesta I, tiene como objetivo principal la reducción del consumo de agua directo en la fábrica, ya que por kilogramo de queso (tanto campesino como doble crema), se requieren 33,2 litros de agua, mientras que para la producción de 1 kg de yogurt o de kumis se consumen 3 L agua, y de arequipe se requieren 13,8 L. Esto hace innecesario ese consumo de agua de un producto que solo representa el 2% de la producción total de la empresa, y consume 3955 litros de agua al día, lo que constituye un 35% del consumo total del recurso hídrico.

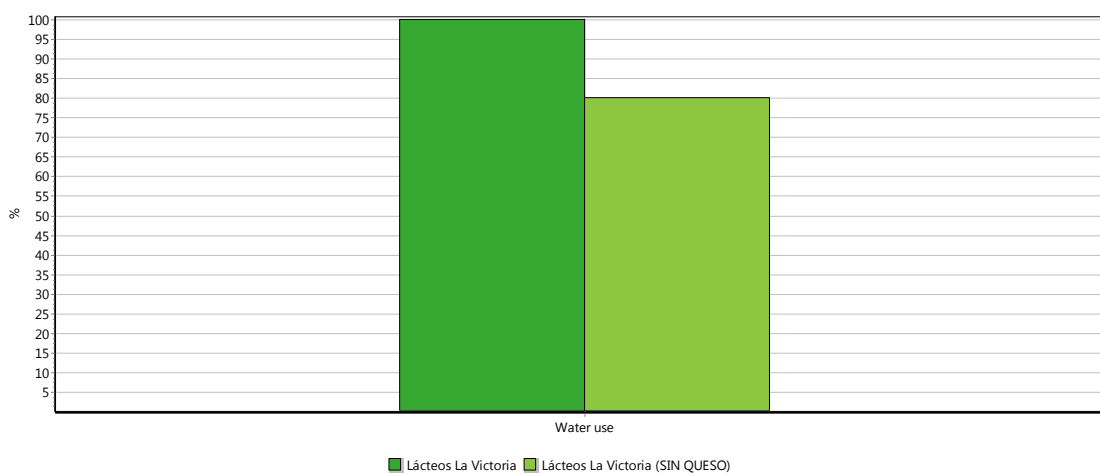
De esta manera, se redujo a cero la producción de queso en la empresa Lácteos La Victoria, y se aumentó la producción de kumis. Inicialmente, la empresa produce al día 80 kg de queso campesino, 60 kg de queso doble crema, 2.050 kg de yogurt, 106 kg de arequipe y 480 de kumis.

Producto	Producción (kg)	Huella de agua (m ³ /L leche cruda)	Producción propuesta (kg)	Huella de agua (m ³ /L leche cruda)
Queso campesino	80	0,028	-	-
Queso doble crema	60	0,021	-	-
Yogurt	2.050	0,096	2.050	0,096
Kumis	480	0,019	620	0,0241
Arequipe	106	0,054	106	0,0549
TOTAL	2.776	0,218	2.776	0,175

Tabla 13. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria excluyendo la producción de queso campesino y doble crema

Al realizar esta comparación (Tabla 13), entre la producción de queso y su exclusión en la empresa, se obtuvo que, aumentando la producción de kumis, de 480 kg al día a 620 kg (80 kg del queso campesino y 60 kg del queso doble crema), se reduce la huella de agua de 0,218 m³ a 0,175 m³. Esto indica que esta estrategia reduce en un 20% de las cargas ambientales al recurso hídrico (Gráfica 8).

Esto ocurrió gracias a que el kumis, inicialmente solo consume al día 1.265 litros de agua, lo que representa un 11% del agua en la empresa, que en total consume 11.076 litros. Ahora, en este nuevo escenario, se presenta un aumento en el consumo de este recurso en el Kumis, pero se reduce el consumo de agua total de la empresa, de 11.076 L/día a 7.490 L/día. Lo que representa un ahorro de 3.586 L de agua, produciendo la misma cantidad de producto.



Grafica 8. Comparación de huella de agua de la empresa Lácneos La Victoria con y sin la producción de queso

4.1.2. Exclusión de la producción de arequipe

La propuesta II nace de la afirmación por Masset et al. (2014), el cual indica que la sostenibilidad de un alimento no puede vincularse exclusivamente a bajos indicadores de impacto ambiental, debe incorporarse otras variables como el aporte nutricional. Es decir, si un alimento genera bajos impactos ambientales, pero no genera aportes nutricionales al consumidor final, no se puede llamar a ese producto como sostenible o de bajos impactos ambientales.

Como consecuencia a esto, y para definir el valor nutricional del alimento, se lleva a cabo el método SAIN:LIM, creado por la Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria de Alimentos. SAIN 5 (*Score d'Adéquation Individuelle aux recommandations Nutritionnelles*) o en español,

Puntuación de Adecuación Individual para las recomendaciones Nutricionales, analiza el aporte de nutrientes tales como: la proteína, fibra, calcio, vitamina C y hierro. Y LIM 3 (*les nutriments dont il faut LIMiter la consommation*) o en español, los nutrientes que deben ser limitados para su consumo, calcula el aporte de sal, los ácidos grasos saturados y azúcares añadidos, que son compuestos de los alimentos que no deben consumirse en exceso (Boclé et al., 2008).

Como resultado, el método SAIN:LIM proporciona un indicador que determina la calidad nutricional de un alimento (Nemecek et al., 2016) y de igual forma, como afirma el autor (Masset et al., 2014), puede relacionar con el método del ACV, para definir la sostenibilidad de un alimento.

A continuación se presentan las fórmulas para llevar a cabo el método SAIN:LIM.

$$(1) \text{ SAIN} = \frac{\frac{\text{Vit C}}{\text{RNI vit C}} + \frac{\text{Hierro}}{\text{RNI hierro}} + \frac{\text{Calcio}}{\text{RNI calcio}} + \frac{\text{Proteína}}{\text{RNI proteína}} + \frac{\text{Fibra}}{\text{RNI fibra}}}{5} \times 100 \times \text{Energía (calorías)}$$

$$(2) \text{ LIM} = \frac{\frac{\text{Sodio}}{\text{MAX sodio}} + \frac{\text{Ácido grasos}}{\text{MAX ácidos grasos}} + \frac{\text{Azúcar}}{\text{MAX azúcar}}}{3} \times 100$$

RNI (*Recommendation Nutritional Intake*) o en español, Recomendación Diaria de Ingesta de Nutrientes y MAX (*Maximum daily recommended intake for the nutrient*) o en español, Nivel de Ingesta Tolerable Máximo de Ingesta, son dos parámetros que dependen de la normatividad del país donde se va a aplicar el indicador, en el caso de Colombia la obtención del RNI proviene del Decreto 3863 del 2008, publicado por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), y de la Resolución 3803 de 2016 del

Ministerio de Salud. Por otra parte, los valores de MAX, fueron obtenidos de Aranceta & Pérez-Rodrigo (2012).

A continuación, se presenta los valores nutricionales de los alimentos producidos en la empresa Lácteos La Victoria, teniendo en cuenta la etiqueta suministrada por el empaque de cada uno de los productos.

Producto	Nutrientes por cada 100 g de producto								
	Vitamina C (mg)	Hierro (mg)	Calcio (mg)	Proteína (g)	Fibra (g)	Sodio (mg)	Grasa (g)	Azúcar (g)	Calorías (cal)
Queso Campesino	0,01	0,01	667	20	0,1	700	23	3	60
Queso Doble Crema	0,01	0,01	667	23	0,01	467	27	0,01	233
Yogurt	0,01	0,01	100	3	0,01	50	1,25	8	70
Kumis	0,01	0,01	125	3	0,01	45	2	8,5	85
Arequipe	0,01	0,01	200	7	0,01	117	8	50	333
RNI	60	18	1.000	50	25	-	-	-	-
MAX	-	-	-	-	-	2.300	77,8	55,56	-

Tabla 14. Valor nutricional de productos ofrecidos por la empresa Lácteos La Victoria

Luego se presenta la obtención del indicador SAIN:LIM, tomando como ejemplo el arequipe:

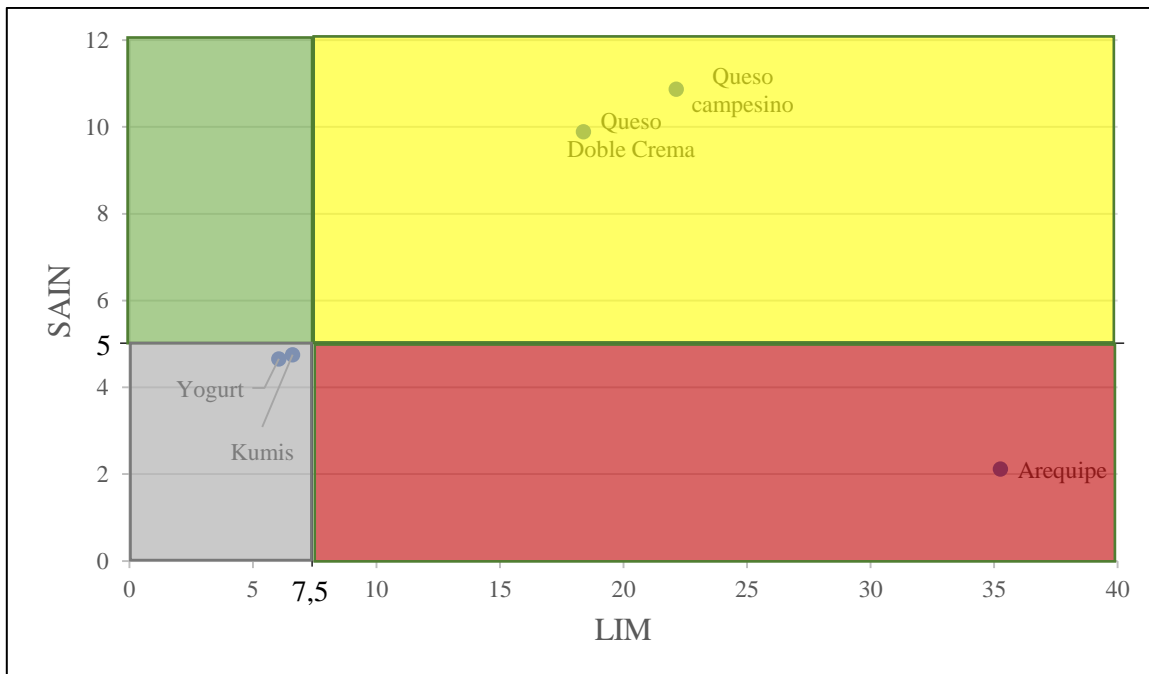
$$(1) \text{SAIN}_{\text{arequipe}} = \frac{\left[\frac{0,01 \text{ mg} + 0,01 \text{ mg} + 200 \text{ mg} + 7 \text{ g} + 0,01 \text{ g}}{60 \text{ mg} + 18 \text{ mg} + 1000 \text{ mg} + 50 \text{ g} + 25 \text{ g}} \right] \times 100}{5} \times 100$$

$$\text{SAIN}_{\text{arequipe}} = 2,12$$

$$(2) \text{LIM}_{\text{arequipe}} = \frac{\frac{117 \text{ mg} + 8 \text{ g} + 50 \text{ g}}{2300 \text{ mg} + 77,8 \text{ g} + 55,56 \text{ g}}}{3} \times 100$$

$$\text{LIM}_{\text{arequipe}} = 35,26$$

Luego de tener los valores de SAIN y LIM, se toman esos valores como coordenadas, y se ubican en la Gráfica 9.



	Alimento neutral		Alimento recomendado
	Alimento no recomendado		Alimento con limitaciones

Grafica 9. Clasificación de los productos de la empresa Lácteos La Victoria, teniendo en cuenta el método SAIN: LIM

Antes que nada, es necesario aclarar que el método SAIN:LIM según Boclé et al. (2008) clasifica los alimentos en 4 indicadores. El primero, aquellos alimentos con limitaciones (amarillo), que cuenta con un valor de SAIN superior a 5 y un valor de LIM mayor a 7,5. Son aquellos alimentos que generan un aporte significativo a nivel nutricional, pero en exceso, pueden ser perjudiciales, por lo que se recomienda consumirlos con precaución. En esta categoría hicieron parte el queso campesino y queso doble crema de la empresa Lácteos La Victoria.

El segundo cuadrante, el verde, son los alimentos que poseen un valor de SAIN superior a 5 y un valor de LIM menor a 7,5., conocidos como los alimentos recomendados, o también alimentos saludables. El tercer cuadrante (gris), presenta los alimentos con un valor de SAIN menor o igual a 5, y un valor de LIM menor a 7,5. Estos alimentos fueron denominados como

neutrales, es decir, no genera un daño su consumo, pero tampoco un valor nutricional al consumidor. En este cuadrante se posicionaron el yogurt y kumis.

Por último, se presenta el cuarto cuadrante, identificado con el color rojo, que son los alimentos con un valor de SAIN menor o igual a 5, y un valor de LIM superior o igual a 7,5. Este cuadrante se le nombra aquellos alimentos no recomendados, los cuales debemos reducir al máximo su consumo, con fue el caso del arequipe, ya que poseen alto contenido de sal, grasa o azúcares añadidos.

Producto	SAIN	LIM	Huella de agua (m³)	Indicador
Queso campesino	10,87	22,14	0,03	Alimento con limitaciones
Queso doble crema	9,89	18,38	0,02	Alimento con limitaciones
Yogurt	4,66	6,06	0,10	Alimento neutral
Kumis	4,75	6,61	0,02	Alimento neutral
Arequipe	2,12	35,26	0,05	Alimento no recomendado

Tabla 15. Resultados de la aplicación del método SAIN:LIM en los productos de la empresa Lácteos La Victoria

Al observar la Tabla 15, se identificó que el arequipe resulta ser un alimento no recomendado para su consumo, y adicional a esto, representa el 25% de la Huella de agua de la empresa, siendo el segundo producto, después del yogurt, con las mayores cargas ambientales. Sumado a esto, aporta más del 50% del consumo de azúcar, siendo un producto que solo representa el 4% de la producción total de la empresa.

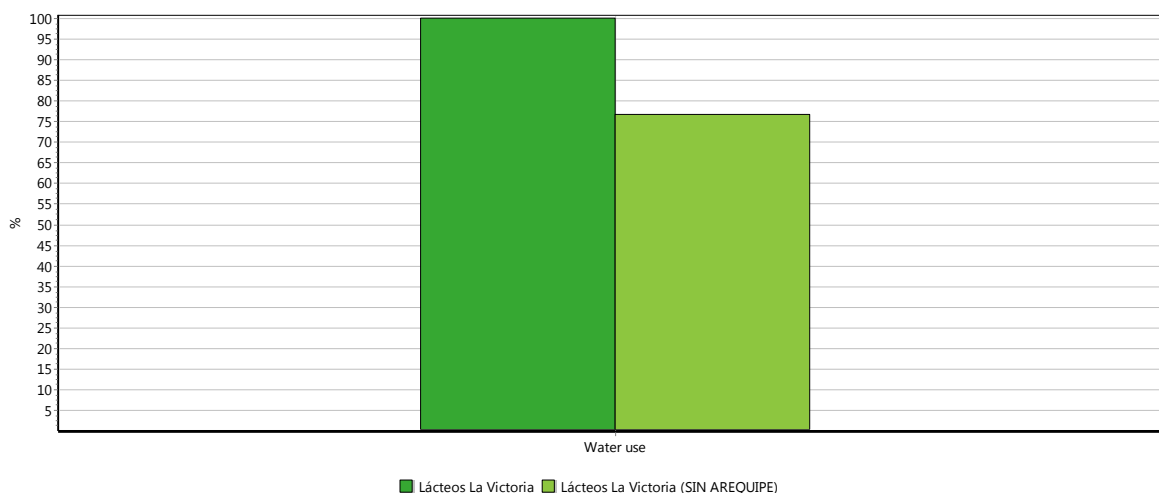
A saber, el azúcar fue el segundo insumo que más aportó a la huella de agua de la empresa, con el 35% de las cargas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Masset et al. (2014) quien afirmó que los alimentos poco nutritivos o dañinos, genera las mayores cargas

ambientales, como fue el caso de los cereales de desayuno con altos contenido de azúcar, los snacks de sal, y las bebidas azucaradas.

Producto	Producción (kg)	Huella de agua (m ³ /L leche cruda)	Producción propuesta (kg)	Huella de agua (m ³ /L leche cruda)
Queso campesino	80	0,028	80	0,0214
Queso doble crema	60	0,021	60	0,0161
Yogurt	2050	0,096	2050	0,0958
Kumis	480	0,019	586	0,0228
Arequipe	106	0,054	-	-
TOTAL	2776	0,218	2776	0,167

Tabla 16. Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria excluyendo la producción de arequipe

Como se observa en la Tabla 16, con la exclusión, únicamente del arequipe, se presenta una reducción de la huella de agua de la empresa de 0,218 m³ a 0,167 m³. Esto se debe a la reducción en el uso de azúcar, por parte de la empresa que destinaba, aproximadamente, 80 kg de azúcar al día, de los cuales 40 kg eran destinados a la producción de 106 kg de arequipe. Como consecuencia, si la empresa dejará de producir arequipe, reduciría el consumo de este insumo en un 50%, pasando de 80 kg a 39,8 kg, aumentando la producción de kumis; además de reducir en un 25% la huella de agua de la empresa.



Grafica 10. Comparación de huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria con y sin la producción de arequipe

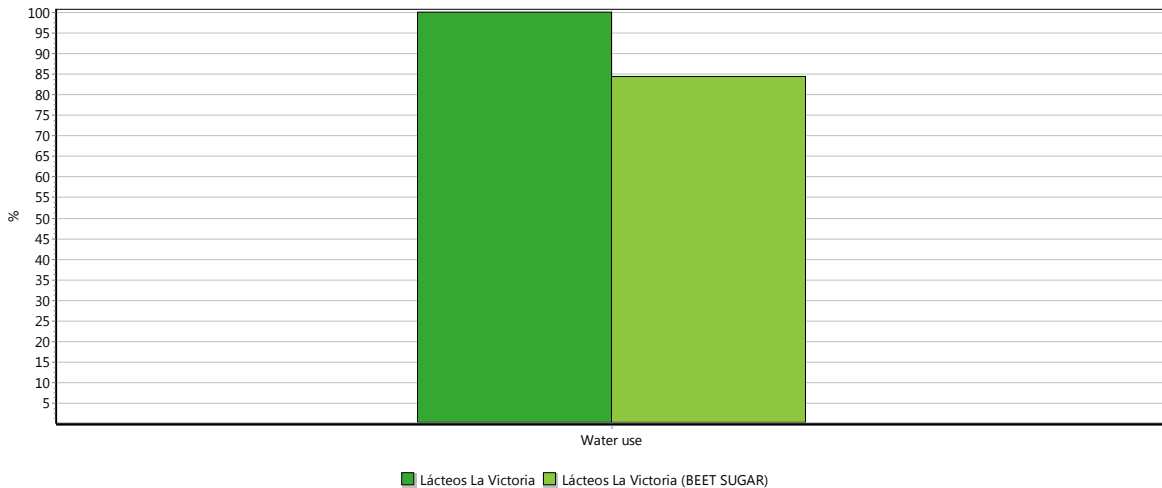
4.1.2.1. Sustitución de endulzantes del yogurt, arequipe y kumis

Por último, la propuesta III consta en sustituir la caña de azúcar del yogurt, kumis y arequipe por otras fuentes que endulcen los productos, como la remolacha. Esta es una propuesta brindada por Renouf & Wegener (2007), quienes afirmaron que el uso de azúcar, proveniente de caña tiene grandes consecuencias en el uso de agua, en comparación con aquella proveniente de remolacha.

Producto	Producción (kg)	Huella de agua con caña de azúcar (m^3/L leche cruda)	Producción propuesta (kg)	Huella de agua con remolacha (m^3/L leche cruda)
Queso campesino	80	0,028	80	0,0214
Queso doble crema	60	0,021	60	0,0161
Yogurt	2.050	0,096	2050	0,0807
Kumis	480	0,019	480	0,017
Arequipe	106	0,054	106	0,037
TOTAL	2.776	0,218	2776	0,184

Tabla 17. Comparación de la Huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria con el uso de azúcar a base de remolacha

La Tabla 17 expone una reducción en la huella de agua, cambiando la materia prima del azúcar, utilizando azúcar a base de remolacha, en vez de aquella a base de caña de azúcar. Se presentó una disminución de $0,218 m^3$ a $0,184 m^3$. Por otra parte, también se reflejó una disminución en los tres productos que utilizan este insumo. En el caso del yogurt, las cargas ambientales disminuyeron un 16%; el kumis un 9%; y, por último, la remolacha generó una disminución del 31% de las cargas aportadas por el arequipe.



Grafica 11. Comparación de huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria con una variación en el tipo de azúcar utilizada

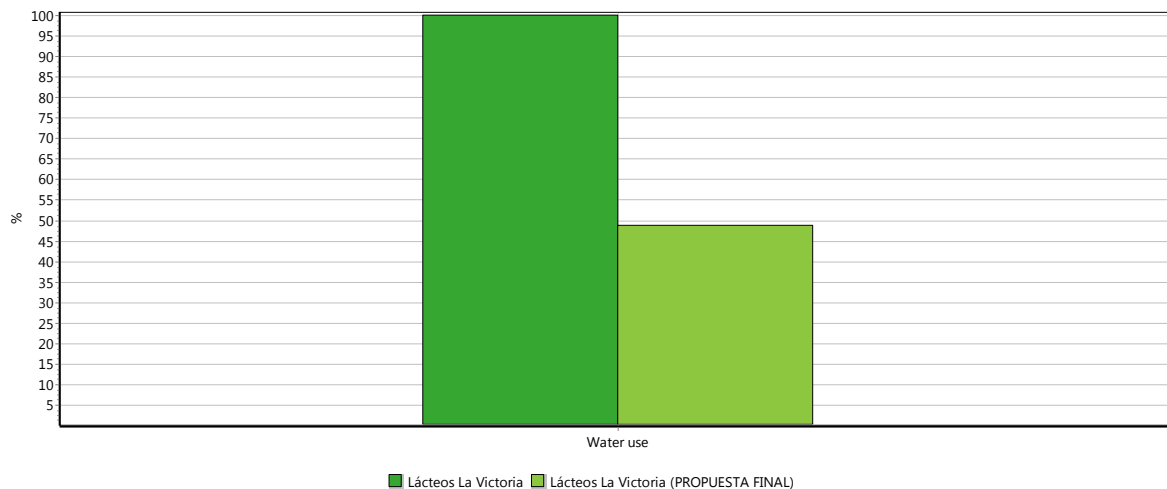
Estos dos tipos de azúcar presentan similitudes, tanto en su composición como en su proceso de elaboración. Sin embargo, al momento de evaluar sus impactos ambientales, más específicamente, en el consumo de agua, si se presentan diferenciar. De Crom et al. (2020) postula que la producción de azúcar mediante remolacha, si reduce los impactos ambientales, en comparación con la caña, y principalmente en el uso de suelo y el consumo de agua. Aun así, el autor también menciona que la proporción o la disminución de estas cargas ambientales están dada por el lugar donde se desempeña su producción. En el caso del autor, sus resultados fueron en India y Brasil, dos de los mayores productores azucareros a nivel global.

A pesar de esto, si hay un factor que es crucial, y que determina que la caña de azúcar si consume mayor cantidad de agua que aquella que proviene de la remolacha, y es su dependencia o sensibilidad a la disponibilidad del recurso, siendo la remolacha menos susceptible a este facto, a diferencia de la caña que si lo es (Cheesman, 2004). Incluso, un cultivo de caña puede consumir hasta un 60% más agua que cualquier otro cultivo destinado a la producción de azúcar, como puede ser el de remolacha, principalmente ocasionado por los procesos de irrigación (Renouf et al., 2008).

Al comparar este procesos de investigación Renouf & Wegener (2007), identificaron que el mayor punto crítico de la caña de azúcar, referente al uso de agua, es la irrigación que consume más del 50% del consumo, en todo su ciclo de vida. Mientras que un cultivo de remolacha que solo representa el 7%.

Luego de identificar que las mayores cargas a la huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria, era proveniente del consumo directo de agua en la empresa y el uso de azúcar, se propuso tres estrategias para reducir este impacto ambiental. La primera fue excluir la producción de queso, y aumentar la de Kumis, con el fin de reducir el consumo de agua; luego, en vez del queso, se formuló excluir la producción de arequipe y aumentar la de kumis, y así reducir el consumo de azúcar de la empresa.

Y como última propuesta, se comparó una nueva fuente de azúcar como fue la remolacha, como sustituto de la caña de azúcar. Al final, las tres propuestas redujeron, cada una por separado, un 20%, 25% y 15% la huella de agua de la empresa. Por tal motivo, se decidió unir estas tres propuestas, con el fin de identificar la reducción de este impacto ambiental.



Grafica 12. Comparación de huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria con la propuesta final

Como resultado final, el aplicar las tres propuestas generaría una disminución de más del 50% de la huella de agua de la empresa Lácteos La Victoria. Por ende, para lograrlo, la empresa debería, abandonar la producción de queso campesino, queso doble crema y arequipe; aumentar la producción de kumis a 726 kg (para generar la producción diaria); y sustituir el azúcar a base de caña de azúcar por aquella proveniente de remolacha. De esta manera, la empresa disminuir de 0,218 m³ a 0,106 m³.

CAPITULO V. Conclusiones y recomendaciones

5.1.Conclusiones

La empresa Lácteos La Victoria cuenta con una recepción promedio de 3.730 litros de leche cruda, que es transformada en 5 derivados lácteos diferentes, queso campesino, queso doble crema, yogurt, kumis y arequipe. A pesar de esta diversidad de productos, casi el 50% de la leche es destinada exclusivamente al yogurt; otro 36% a la producción de queso; 11% a la de kumis; y solo el 6% de la leche que llega a la fábrica se destina al Arequipe.

Lo curioso aquí es que, el 36% de leche, que representa 1.332 litros de leche, producen solo el 5% de la producción total de la empresa (elaboración de 140 kg queso), si tenemos en cuenta la producción total por la masa de productos generados. Si lo comparamos con otro producto como el arequipe, que solo utiliza el 6% de la leche (212 litros), se generan el 4% de producto. Sin embargo, al final, el producto que más genera un consumo de recursos en la fábrica es el yogurt, el cual usa 1.760 litros de leche diarios y 5.226 litros de agua.

Con el propósito de evaluar la huella de agua de estos derivados lácteos, se utilizó el método AWaRe, el cual consiste en determinar el riesgo de escasez de agua de otros usuarios del recurso hídrico en la zona. Una vez aplicado, se obtiene como resultado, que, por kilogramo de producto, el arequipe posee el mayor valor, $1,93 \text{ m}^3$, seguido por el queso campesino y doble crema, con valores de $1,32 \text{ m}^3$ y $1,27 \text{ m}^3$, respectivamente. Luego el yogurt tuvo un resultado de $0,174 \text{ m}^3$, y en la última posición, el kumis, con una huella de agua de $0,145 \text{ m}^3$.

A excepción de arequipe, todos los otros derivados lácteos obtuvieron que el consumo de agua directo como la fuente de las mayores cargas en su huella de agua. En el caso del arequipe, obtuvo que el azúcar es el proceso que mayor escasez de agua genera, a diferencia

del yogurt, donde el azúcar fue el segundo generador de la huella de agua. En cambio, el queso campesino, presento como segundo generador de escasez de agua, el consumo de electricidad.

A pesar de esto, para obtener el valor de huella de agua, fueron sumadas las totalidades de cada insumo utilizados en la empresa, y cada proceso desempeñado. Gracias a esto, es posible mencionar, que la empresa Lácteos La Victoria posee una huella de agua de 0,218 m³, siendo el consumo directo de agua, el principal punto crítico, ocasionado por los procesos de limpieza de los equipos, los cuales representan el 60% de las cargas. Luego de esto, el uso de azúcar, que resulta ser un consumo indirecto, abarca el 35% de la escasez del recurso hídrico en la zona generado por la empresa.

Sumado a esto, para definir el producto que mayor contribución genera a la huella de agua, no se puede determinar por kilogramo de producto, ya que depende de la cantidad producida por la empresa, en este caso en particular, al día se obtienen 2.776 kg de producto. Sin este paso previo, se determinaría el arequipe como el mayor contribuyente, pero al momento de ejecutarlo se evidencia que el yogurt representa el 44% de la huella de agua de la empresa, seguido por el arequipe con 25%.

Al mirar con detenimiento estos datos, el arequipe podría resaltar como un punto crítico ya que representa el 25% de las cargas ambientales, pero solo constituye el 4% de la producción diaria. Mientras que el yogurt obtuvo un porcentaje de representatividad del 44%, pero es el 73% de la producción total de la empresa.

Finalmente, para reducir la huella de agua de la empresa se implementaron tres escenarios distintos: 1) Mantener la producción diaria de la empresa, pero disminuyendo a cero la

elaboración de los dos tipos de queso, y aumentando la de kumis, para reducir el consumo de más de 2000 litros de agua; 2) reducir a cero la producción de alimentos reconocido como no recomendados nutricionalmente por el método SAIN:LIM; y 3) utilizar otra fuente de endulzante de los alimentos, como el azúcar de remolacha.

Las tres propuestas redujeron la huella de agua en la empresa, por lo que se decidió unir las, dando como resultado una reducción del 50% de las cargas ambientales. Al final, para lograr esta meta, la empresa debería dejar la producción de queso campesino y doble crema, y de arequipe, centrándose exclusivamente en la producción de yogurt y kumis, siendo estos endulzados con azúcar de remolacha.

5.2. Recomendaciones y posibles ámbitos de investigación futura

- En principio utilizar el factor de escasez de la zona donde se va a llevar a cabo la investigación, ya que en este caso particular fue empleado el factor por defecto de SimaPro.
- Poseer una mayor cantidad de datos (mínimo de datos de 3 años), de los litros de leche procesados y los consumos de materias primas utilizados en la empresa.
- La propuesta suministrada en esta investigación requiere de un estudio de factibilidad económica y de presupuesto para determinar los riesgos de centrarse exclusivamente en la producción de kumis y yogurt.
- Un cambio de algún insumo, como el azúcar de remolacha, puede repercutir en un cambio en el sabor del producto. Por tal motivo, es esencial un estudio que determine las implicaciones de hacer esa transición.

REFERENCIAS

- **Artículos de Revista**

Abbasi, T., Tauseef, S., Abbasi, S., 2012a. Biogas Capture from Animal Manure, *Biogas Energy*. 41-62.

Alvarez, R., Lidén, G., 2009. Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure for improved methane production, *Biomass Bioenergy*. 33, 527-533.

Aranceta, J., & Pérez-Rodrigo, C. (2012). Recommended dietary reference intakes, nutritional goals and dietary guidelines for fat and fatty acids: A systematic review. *British Journal of Nutrition*, 107(SUPPL. 2). <https://doi.org/10.1017/S0007114512001444>

Bai, X., Ren, X., Khanna, N. Z., Zhou, N., & Hu, M. (2018). Comprehensive water footprint assessment of the dairy industry chain based on ISO 14046: A case study in China. *Resources, Conservation & Recycling*, 132, 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.021>

Battini, F., Agostini, A., Tabaglio, V., & Amuducci, S. (2016). Environmental impacts of diferente dairy farming system in the Po Valley. *Journal of Cleaner Production*, 112, 91–102

Berger, M., Van Der Ent, R., Eisner, S., Bach, V., & Finkbeiner, M. (2014). Water accounting and vulnerability evaluation (WAVE): Considering atmospheric evaporation recycling and the risk of freshwater depletion in water footprinting. *Environmental Science and Technology*, 48(8), 4521–4528. <https://doi.org/10.1021/es404994t>

Boclé, J.-C., Hourdat, S., Kalonji, E., & Margaritis, I. (2008). Setting of nutrient profiles for accessing nutrition and health claims: proposals and arguments Scientific coordination. <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT-Ra-ProfilesEN.pdf>

Boulay, A.-M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuillière, M. J., Manzardo, A., ... Pfister, S. (2017). The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *Water Use in Life Cycle Assessment*, 23, 368–378. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>

Broekema, R., & Kramer, G. (2014). LCA of Dutch semi-skimmed milk and semi-mature cheese. Netherlands.

de Crom, B., Scholten, J., & van Diepen, J. (2020). Excellent environmental performance of beet sugar production in the Netherlands. *Sugar Industry*, 1, 161–165. <https://doi.org/10.36961/si24156>

Cesar, J., Palhares, P., Ricardo, J., & Pezzopane, M. (2015). Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. *Journal of Cleaner Production*, 93, 299–307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.035>

Colleran, E., Concannon, F., Golden, T., Geoghegan, F., Crumlish, B., Killilea, E., Henry, M., Coates, J., 1992. Use of methanogenic activity tests to characterize anaerobic sludges, screen for anaerobic biodegradability and determine toxicity thresholds against individual anaerobic trophic groups and species, *Water Science & Technology*. 25, 31-40.

- Corrieu, G., & Béal, C. (2015). Yogurt: The Product and its Manufacture. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 617–624). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00766-2>
- 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](https://www.sciencedirect-com.ezproxy.unbosque.edu.co/science/article/pii/S0022030217307191)
- 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>
- Doublet, G., Jungbluth, N., Stucki, M., & Schori, S. (2013). Life cycle assessment of Romanian beef and dairy products.
- Frischknecht, R., Steiner, R., Arthur, B., Norbert, E., & Gabi, H. (2005). *Swiss Ecological Scarcity Method: The New Version 2006*. Research Gate. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/237790160_Swiss_Ecological_Scarcity_Method_The_New_Version_2006
- 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>
- 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.
- Gerbens-leenes, W., & Hoekstra, A. (2009). The water footprint of sweeteners and bio-ethanol from sugar cane, sugar beet and maize. Twente.
- Goldstein, B., Hansen, S. F., Gjerris, M., Laurent, A., & Birkved, M. (2016). Ethical aspects of life cycle assessments of diets. *Food Policy*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.01.006>
- Goldstein, D. (2015). *The Oxford companion to sugar and sweets*. Choice Reviews Online (Vol. 53). New York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.5860/choice.192442>
- 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>
- González-García, S., Castanheira, É. G., Dias, A. C., & Arroja, L. (2013). Environmental life cycle assessment of a dairy product: the yoghurt. *LCA for Food Products*, 18, 796–811. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0522-8>
- 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

Gudynas, E. 2004. *Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible*. Montevideo: Coscoroba. Disponible en www.ecologiapolitica.net

Francisco, USA 8-10 October 2014, October, 482–488. [internal-pdf://0.0.2.49/20153221357.html](https://doi.org/10.0.2.49/20153221357.html)

Hoekstra, A. (2008). The water footprint of food. Retrieved from <https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra-2008-WaterfootprintFood.pdf>

Hou, S; Liu, Y; Zhao, X; (Eurostat Statistics Explained, 2013; Guo, W; Li, Y. 2018. Blue and Green Water Footprint Assessment for China A Multi-Region Input Output Approach MDPI. Sustainability (10):2822. doi:10.3390/su10082822

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2014. *Agua y alimento para la tierra* (PDF). Beekman, G., Cruz, S., Espinoza, N., García, E., Toledo, C., Medina, D., Williams, D., García, M. (cords.) San José, Costa Rica IICA. 135 p

Jungbluth, N., Keller, R., & Meili, C. (2018). Life cycle assessment of a detailed dairy processing model and recommendations for the allocation to single products. *LCA for Energy Systems and Food Products*, 23, 1806–1813. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1392-x>

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>

Konstantas, A., Stamford, L., & Azapagic, A. (2019). Evaluating the environmental sustainability of cakes. *Sustainable Production and Consumption*, 19, 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.04.001>

Kounina, A., Margni, M., Bayart, J.-B., Boulay, A.-M., Berger, M., Bulle, C., ... Humbert, S. (2012). Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. *Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), 707–721. <https://doi.org/10.1007/s11367>

Masset, G., Soler, L.-G., Vieux, F., & Darmon, N. (2014). Identifying Sustainable Foods: The Relationship between Environmental Impact, Nutritional Quality, and Prices of Foods Representative of the French Diet. *Journal Academy of Nutrition Dietetics*, 114, 862–869. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2014.02.002>

Mondello, G., Salomone, R., Neri, E., Patrizi, N., Bastianoni, S., & Lanuzza, F. (2018). Environmental hot-spots and improvement scenarios for Tuscan “Pecorino” cheese using Life Cycle Assessment. *Journal of Cleaner Production*, 195, 810–820. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.078>

Murphy, E., De Boer, I. J. M., Van Middelaar, C. E., Holden, N. M., Shalloo, L., Curran, T. P., & Upton, J. (2017). Water footprinting of dairy farming in Ireland. *Journal of Cleaner Production*, 140, 547–555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.199>

Nemecek, T., Jungbluth, N., Milà Canals, L., Schenck, R., Ann Curran, M., & Nemecek thomasnemecek, T. (2016). Environmental impacts of food consumption and nutrition: where are we and what is next? *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, 607–620. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1071-3>

Niamsuwan, S., Kittisupakorn, P., & Mujtaba, I. M. (2011). Minimization of water and chemical usage in the cleaning in place process of a milk pasteurization plant. *Songklanakar Journal of Science and Technology*, 33(4), 431–440.

Nilsson, K., Sund, V., & Florén, B. (2011). The environmental impact of the consumption of sweets, crisps and soft drinks.

Olmstead, I. (2009). Opportunities for Reducing the Intensity of Water Consumption in the Australian Dairy Processing Sector

Owusu-Sekyere, E., Jordaan, H., & Chouchane, H. (2017). Evaluation of water footprint and economic water productivities of dairy products of South Africa. *Ecological Indicators*, 83, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.041>

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>

Renouf, M. A., & Wegener, M. (2007). Environmental life cycle assessment (LCA) of sugarcane production and processing in Australia. 29th Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, 29(January 2007), 385–400. http://www.gpem.uq.edu.au/docs/CleanProd/LCA_sugarcane_Aus.pdf <http://www.fcrn.org.uk/research-library/sugar/environmental-life-cycle-assessment-lca-sugarcane-production-and-processing-australia> <http://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:136129>

Renouf, M. A., Wegener, M. K., & Nielsen, L. K. (2008). An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation. *Biomass and Bioenergy*, 32, 1144–1155. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.02.012>

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>

Vasilaki, V., Katsou, E., Pons, S., & Col On, J. (2016). Water and carbon footprint of selected dairy products: A case study in Catalonia. *Journal of Cleaner Production*, 139, 504–516. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.032>

Williams, A. G., & Mekonen, S. (2014). Environmental performance of traditional beer production in a micro-brewery. Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014), San Francisco, California, USA, 8-10 October, 2014, 1535–1540.

Normas Técnicas

Apha, A., WPCF, 2005 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,.

- **Tesis de grado (Disponibles en la red)**

Balasubramaniyam, U., Zisengwe, L.S., Meriggi, N., Buysman, E., 2008. Biogas production in climates with long cold winters, Wageningen: Wageningen University Available at:

<http://www.wecf.eu/english/publications/2008/biogas-coldclimates.php> [Accessed: 20.04.2010].

- **Documentos disponibles en la internet**

Castrillón, D. (2013, May 31). Colombia, a la vanguardia en producción de quesos: informe. <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/colombia-la-vanguardia-en-produccion-de-quesos-informe>

Eurostat Statistics Explained. (2013). *Glossary: Livestock unit (LSU)*. Obtenido de [http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Glossary:Livestock_unit_\(LSU\)](http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Glossary:Livestock_unit_(LSU))

Hoekstra, A. (2008). The water footprint of food. <https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra-2008-WaterfootprintFood.pdf>
<http://www.indg.in/india> India development Getaway. Retrieved February 15, 2011, from:

Lansing, S., Moss, A.R. (2010). Small-Scale anaerobic digestion: Technology and application: Retrieved February 14, 2011 from: http://www.epa.gov/agstar/documents/meeting_120210_lansing.pdf

Moreno E. (2017). System models, Ecoinvent. from: <https://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/cut-off-system-model/allocation-cut-off-by-classification.html>

Water Footprint Network. (2014). Business water footprint. <https://waterfootprint.org/en/water-footprint/business-water-footprint/>

Water FootPrint Organization. (2015). Sugar (from sugar cane). <https://waterfootprint.org/product-gallery/>

- **Libros**

Cheesman, D. O. (2004). Environmental Impacts of Sugar Production. www.cabi-publishing.org

Curran, M. A. (2015). Life Cycle Assessment Student Handbook. John Wiley & Sons, Incorporated. Retrieved from <https://www.golder.com/insights/block-caving-a-viable-alternative/>

Fannin, K., 1987. Start-up, operation, stability, and control, IN: Anaerobic Digestion of Biomass. Elsevier Science Publishing Co., New York. 1987. p 171-196, 4 fig, 53 ref.

Gerardi, M.H. (2003). The microbiology of anaerobic digesters. New Jersey: John Willey & Sons, Inc.

Gerbens-leenes, W., & Hoekstra, A. (2009). The water footprint of sweeteners and bio-ethanol from sugar cane, sugar beet and maize.

Eurostat Statistics Explained. (2013). Glossary: Livestock unit (LSU). Retrieved from [http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Glossary:Livestock_unit_\(LSU\)](http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Glossary:Livestock_unit_(LSU))

Gobernación de Nariño. (n.d.). Plan regional de competitividad de Nariño 2010-2032, primera edición Nariño. 22.

Ho, R., 2006. Handbook of univariate and multivariate data analysis and interpretation with SPSS. CRC Press.

Pfister, S., Koehler, A., & Hellweg, S. (2009). Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. *Environmental Science Technology*, 43, 4098–4104. <https://doi.org/10.1021/es802423e>