



Análisis de ciclo de vida para la producción de jabones sólidos derivados de aceite de palma

Brian Camilo Riaño Urrego

Trabajo de grado de maestría presentado para optar al título de Magíster en Sostenibilidad

Directora

Mariluz Betancur Vélez, Doctor en Ingeniería

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Maestría en Sostenibilidad

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

El contenido de este documento no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad.

Dedicatoria

Este trabajo de grado está dedicado, en primer lugar, a mi familia, cuya paciencia, amor y apoyo incondicional me han permitido llegar hasta este momento. Gracias por ser mi fortaleza y mi inspiración en todo momento.

A mis amigos y colegas, quienes me acompañaron a lo largo de este viaje académico, brindándome su respaldo, consejo y motivación. Sus palabras de aliento fueron fundamentales para superar cada obstáculo.

Finalmente, dedico este trabajo a todos los profesionales y estudiantes comprometidos con la sostenibilidad y el desarrollo de prácticas más responsables con el medio ambiente. Que este proyecto sea un aporte valioso en nuestro esfuerzo colectivo por un futuro más sostenible.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas y entidades que hicieron posible la realización de este trabajo de grado. En primer lugar, a mi directora, por su guía, conocimiento y constante apoyo durante todo el proceso de investigación. Su experiencia y dedicación fueron cruciales para el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por proporcionar los recursos y el entorno académico necesario para llevar a cabo esta investigación. Agradezco especialmente al personal administrativo y académico por su disposición y colaboración. A mis profesores y compañeros de la Maestría en Sostenibilidad, quienes con sus aportes, discusiones y consejos enriquecieron significativamente mi trabajo y mi formación profesional.

A mi familia, por su inquebrantable apoyo y comprensión. Su amor y confianza me dieron la fuerza necesaria para seguir adelante en momentos de dificultad. Finalmente, agradezco a todas las personas y organizaciones que participaron y contribuyeron con información y conocimientos a lo largo de este estudio. Sin su colaboración, este proyecto no habría sido posible.

A todos ustedes, muchas gracias.

Tabla de contenido

Resumen	10
Abstract	12
Introducción	14
1. Planteamiento del problema	16
2. Justificación.....	18
4 Marco referencial	20
4.1 Marco conceptual	20
4.1.1 Jabón	20
4.1.1.1 Tipos de jabón.....	20
4.1.1.2 Variedad de jabones	21
4.1.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	21
4.1.3 Diseño sistémico	22
4.2 Marco teórico	22
4.2.1 Producción de jabones	22
4.2.2 Ciclo de vida de los jabones.....	23
4.2.3 Análisis de ciclo de vida (ACV)	24
4.2.4 Impactos ambientales de los jabones	25
4.2.5 Metodología para la evaluación de impactos.....	26
4.2.6 Sostenibilidad y mejora continua.....	28
4.2.5 Marco legal.....	28
4.3 Estado del arte	29
4.3.1 Producción científica.....	30
4.3.2 Panorama mundial	30
4.3.3 Panorama colombiano.....	33

3. Objetivos	37
3.1 Objetivo general	37
3.2 Objetivos específicos.....	37
6. Metodología	38
6.1 Fases de investigación.....	38
6.1.1 Fase 1: Identificación y comparación de jabones	38
6.1.2 Fase 2: Análisis del ciclo de vida (ACV) y evaluación de impactos ambientales	38
6.1.3 Fase 3: Propuesta de acciones de mejora y formulación de recomendaciones.....	39
6.2. Análisis de Datos.....	40
7.1 Identificación y comparación de jabones tradicionales y artesanales	41
7.1.1 Ventajas.....	41
7.1.1.1 Jabones tradicionales.....	41
7.1.1.2 Jabones artesanales.....	42
7.1.2 Desventajas	44
7.1.2.1 Jabones tradicionales.....	44
7.1.2.2 Jabones artesanales.....	46
7.2.1 Comparación de procesos	56
7.2 Análisis del ciclo de vida (ACV) y evaluación de impactos ambientales – jabón tradicional	59
7.2.1 Entradas del proceso	59
7.2.2 Parámetros del proceso	61
7.2.3 Cálculos de parámetros	61
7.2.4 Salidas del proceso.....	62
7.2.5 Evaluación de impactos	63
7.3 Análisis del ciclo de vida (ACV) y evaluación de impactos ambientales – jabón artesanal	72

7.3.1 Entradas del proceso	72
7.3.2 Parámetros del proceso	74
7.3.3 Cálculos de parámetros	74
7.3.4 Salidas del proceso.....	75
7.5 Acciones de mejora y recomendaciones	83
Referencias	92

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Ventajas y desventajas de jabones</i>	48
Tabla 2. <i>Análisis comparativos de procesos de jabones</i>	57
Tabla 3. <i>Impactos totales generados para 1 kg de jabón</i>	64
Tabla 3. <i>Impactos totales generados</i>	76
Tabla 5. <i>Estrategias para el proceso de producción de jabón</i>	84

Lista de figuras

Figura 1. <i>Panorama mundial de palabras clave Natural y Cosméticos en SCOPUS</i>	31
Figura 2. <i>Producción científica en Colombia en torno a los jabones naturales</i>	33
Figura 3. <i>Diagrama de flujo de producción de Jabones tradicionales</i>	51
Figura 4. <i>Diagrama de flujo de producción de jabones artesanales</i>	53
Figura 5. <i>Diagrama de flujo del proceso de jabón tradicional saponificado de aceite de palma</i> ..	63
Figura 6. <i>Flujograma del ACV Jabón tradicional</i>	64
Figura 7. <i>Emisiones de CO₂</i>	67
Figura 8. <i>Emisiones de SO₂</i>	68
Figura 9. <i>Emisiones de partículas al aire < 2.5 um.</i>	69
Figura 10. <i>Emisiones de NO₃</i>	70
Figura 11. <i>Diagrama de flujo del proceso de jabón artesanal saponificado de aceite de palma</i> ..	75
Figura 12. <i>Emisiones de CO₂</i>	78
Figura 13. <i>Emisiones de SO₂</i>	79
Figura 14. <i>Emisiones de partículas al aire > 2,5 um y < 10 um.</i>	80
Figura 15. <i>Emisiones de NO₃</i>	80

Siglas, acrónimos y abreviaturas

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales

AVAD: Años de Vida Ajustados por Discapacidad

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental

FDA: Food and Drug Administration

ISO: Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization)

INVIMA: Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos

LCA: Life Cycle Assessment (Análisis de Ciclo de Vida en inglés)

RSPO: Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible

UPB: Universidad Pontificia Bolivariana

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo realizar un análisis de los impactos ambientales de los jabones sólidos saponificados con aceite de palma mediante la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ambiental. La problemática abordada radica en que muchos productos cosméticos, incluyendo jabones tradicionales, contienen ingredientes sintéticos y químicos que representan riesgos para la salud y el medio ambiente. Además, su producción está asociada con prácticas insostenibles como la deforestación y la generación de residuos plásticos.

La metodología del estudio se estructuró en varias fases: la identificación y comparación de las características de un jabón artesanal y uno tradicional, la evaluación de los impactos ambientales a través del ACV utilizando el software OpenLCA, y la formulación de recomendaciones para mejorar la sostenibilidad en la producción de los mismos. La unidad funcional del estudio fue definida como la producción de 1 kg de jabón. Los límites del sistema abarcaron desde la extracción de materias primas hasta la producción del jabón, excluyendo el uso y disposición final del producto. Se emplearon datos secundarios de bases de datos internacionales y se aplicó la metodología Recipe, reconocida dentro del software OpenLCA.

Los resultados revelaron que los jabones tradicionales presentan un impacto ambiental considerablemente mayor debido a la deforestación y el uso de químicos sintéticos. Por ejemplo, la producción de 1 kg de jabón tradicional generó aproximadamente 1.5 kg de CO₂ y 0.00048 kg de SO₂. En contraste, los jabones artesanales, aunque con una producción limitada, utilizan ingredientes naturales y métodos de producción menos intensivos en energía, resultando en una menor huella de carbono y menor impacto ambiental. Los jabones artesanales generaron 0.3 kg de CO₂ y 0.00048 kg de SO₂ y por kg de jabón producido, mostrando una reducción significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes tales como la acidificación, relacionado a las emisiones de SO₂.

Se destaca la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles en la producción de jabones, como el uso de aceite de palma certificado, la implementación de energías renovables y la reducción de empaques plásticos. Además, se promueve la educación y concienciación del consumidor sobre la importancia de elegir productos respetuosos con el medio ambiente. En última instancia, la investigación sugiere que los jabones artesanales de aceite de palma representan una alternativa más sostenible y saludable frente a los jabones tradicionales, debido a su menor impacto

ambiental y el uso de ingredientes naturales, lo que se traduce en una huella de carbono reducida y menor toxicidad.

Palabras clave: Aceite de palma, Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Impacto ambiental, Jabones artesanales, Sostenibilidad

Abstract

The objective of this research work was to carry out an analysis of the environmental impacts of solid soaps saponified with palm oil using the environmental Life Cycle Analysis (LCA) tool. The problem addressed is that many cosmetic products, including traditional soaps, contain synthetic and chemical ingredients that represent risks to health and the environment. In addition, their production is associated with unsustainable practices such as deforestation and the generation of plastic waste.

The methodology of the study was structured in several phases: the identification and comparison of the characteristics of an artisanal soap and a traditional one, the evaluation of the environmental impacts through the LCA using the OpenLCA software, and the formulation of recommendations to improve sustainability in the production of these soaps. The functional unit of the study was defined as the production of 1 kg of soap. The system boundaries ranged from the extraction of raw materials to the production of soap, excluding the use and final disposal of the product. Secondary data from international databases were used and the Recipe methodology, recognized within the OpenLCA software, was applied. The results revealed that traditional soaps have a considerably higher environmental impact due to deforestation and the use of synthetic chemicals. For example, the production of 1 kg of traditional soap generated approximately 1.5 kg of CO₂ and 0.00048 kg of SO₂. In contrast, artisanal soaps, although with limited production, use natural ingredients and less energy-intensive production methods, resulting in a lower carbon footprint and lower environmental impact. Artisanal soaps generated 0.3 kg of CO₂ and 0.00048 kg of SO₂ and per kg of soap produced, showing a significant reduction in greenhouse gas emissions and other pollutants such as acidification, related to SO₂ emissions.

The need to adopt more sustainable practices in soap production is highlighted, such as the use of certified palm oil, the implementation of renewable energy and the reduction of plastic packaging. In addition, consumer education and awareness is promoted on the importance of choosing environmentally friendly products. Ultimately, research suggests that palm oil artisanal soaps represent a more sustainable and healthier alternative to traditional soaps, due to their lower environmental impact and use of natural ingredients, resulting in a reduced carbon footprint and lower toxicity.

Keywords: Palm oil, Life Cycle Assessment (LCA), Environmental impact, Artisanal soaps, Sustainability

Introducción

En el mercado cosmético actual, a pesar de las campañas publicitarias que promueven productos "naturales", muchos de estos contienen ingredientes sintéticos y químicos que representan riesgos tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Los jabones tradicionales, ampliamente utilizados en el cuidado personal, no son una excepción, ya que suelen incluir fragancias artificiales, colorantes y conservantes que pueden causar irritaciones en la piel y contribuir a problemas de salud a largo plazo. Además, la producción de estos jabones está asociada con prácticas industriales que tienen un impacto negativo significativo en el entorno, como la deforestación para la obtención de aceite de palma y la generación de residuos plásticos.

El objetivo de esta investigación consistió en realizar un análisis de los impactos ambientales de los jabones sólidos saponificados con aceite de palma mediante la herramienta de análisis de ciclo de vida (ACV). Esta metodología permite evaluar de manera integral los efectos ambientales desde la extracción de las materias primas hasta que el producto sale de la fábrica (Cradle to Gate). Se buscó determinar si los jabones artesanales de aceite de palma pueden ser una alternativa más sostenible en comparación con los jabones tradicionales.

Para lograr este objetivo, se plantearon varias preguntas de investigación: ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los jabones artesanales de aceite de palma en comparación con los jabones tradicionales? ¿Cuál es el impacto ambiental de la producción de jabones tradicionales frente a los jabones artesanales? y ¿Qué acciones se pueden implementar para mejorar la sostenibilidad del jabón saponificado con aceite de palma?

La justificación de esta investigación radica en la creciente demanda por productos de cuidado personal que sean respetuosos con el medio ambiente. Los consumidores están cada vez más informados sobre los impactos negativos asociados con los productos convencionales y buscan alternativas que no solo sean eficaces, sino también sostenibles. La producción de jabones sólidos saponificados con aceite de palma, cuando se realiza de manera artesanal y con prácticas sostenibles, puede ofrecer una opción viable que reduzca la huella ecológica y promueva un consumo más responsable.

Este estudio se estructuró en varias fases: primero, la identificación y comparación de las características de los jabones artesanales y tradicionales; segundo, la evaluación de los impactos ambientales a través del ACV; y tercero, la formulación de recomendaciones para mejorar la

sostenibilidad en la producción de jabones. Se utilizaron datos secundarios obtenidos de bases de datos internacionales y se aplicó la metodología ReCiPe mediante el software OpenLCA para llevar a cabo el análisis.

En conclusión, esta investigación evaluó los impactos ambientales de los jabones sólidos de aceite de palma y siendo un soporte para sensibilizar a los consumidores y productores sobre la importancia de adoptar prácticas más sostenibles. Al proporcionar una comparación entre los jabones tradicionales y artesanales, se pretendía ofrecer información valiosa que contribuya a una transición hacia productos de cuidado personal más respetuosos con el medio ambiente y la salud humana.

1. Planteamiento del problema

Se evidencia en el mercado cosmético y de productos de belleza, grandes comerciales con muy buena publicidad aludiendo de sus productos “naturales”. Sin embargo, lo único natural que tienen son la imagen. Estas empresas no ocultan la cantidad de ingredientes ni tampoco los riesgos que ellos conllevan, ya que por ley tienen que rotular cuales componentes contiene cada producto y si el producto es peligroso lo rotulan en negrilla y en mayúscula (Teodosio, 2020).

A pesar de todo, la mayoría de los consumidores deciden ignorarlos. Productos como tintes cancerígenos, colorantes, materias primas plásticas, derivados del petróleo y metales pesados tóxicos, que sin reparo los consumidores se aplican en la piel, que, por falta de información no conocen sus efectos a largo plazo. De acuerdo con lo mencionado por Ojeda (2021), estudios de una ONG ambientalista indican que “se estima que cada día una mujer puede consumir una media diaria de 12 productos cosméticos con 160 ingredientes distintos. En el caso de los hombres, la mitad de los productos”.

Además, la cosmética industrial no se queda en el uso de tóxicos, también está implicada en la destrucción de ecosistemas (Ojeda, 2021). Un producto puede incluir hasta 10.000 ingredientes, con 1.400 de ellos prohibidos. Aun así, salen sin restricciones para ser adquiridos por los consumidores. La gran mayoría se fabrican en China, el principal proveedor de maquillaje económico del mundo (Abramovits, 2018).

Adicionalmente, no se sabe si se pagó un precio justo a los trabajadores detrás de la cadena de producción, si su labor puso en riesgo su salud, si se agregaron pesticidas al suelo o si hubo pruebas en animales. Grandes multinacionales están implicadas en la deforestación de bosques vírgenes como las selvas de Indonesia que se deforestan para producir aceite de palma que va a parar a la cosmética industrial (Madrilejos, 2017).

Además, los productos exfoliantes, pastas de dientes y detergentes contienen pequeñas bolas de plástico entre 130,000 a 2,800,000 unidades en un solo frasco. El tamaño tan reducido de estos componentes hace que no queden atrapadas por los filtros de las depuradoras y llegan directamente al mar; información científica da evidencia de cómo los micro-plásticos (incluyendo estas microesferas) se están incorporando a la cadena alimentaria (Ojeda, 2021). Además, estos plásticos tienen la capacidad de atraer sustancias químicas y de liberarlas, convirtiéndolas en una potencial bomba tóxica.

En el contexto de esta problemática, los jabones tradicionales no son una excepción. Estos productos, ampliamente utilizados en el cuidado personal, también plantean preocupaciones en cuanto a sus ingredientes, su seguridad y su impacto ambiental. Los jabones convencionales suelen contener una variedad de componentes sintéticos y químicos, como fragancias artificiales, colorantes y conservantes, que pueden causar irritaciones en la piel y contribuir a problemas de salud a largo plazo (Kenet & Lawler, 2002). Además, muchos de estos jabones están formulados con aceites de palma, cuya producción está asociada con la deforestación y la pérdida de hábitats de vida silvestre.

Estos jabones tradicionales salen al mercado a través de diversos canales de distribución, que incluyen tiendas minoristas, supermercados, farmacias y tiendas en línea. Son promocionados mediante estrategias de marketing que resaltan sus supuestas cualidades de limpieza, frescura y fragancia. Muchos fabricantes también los presentan como productos "clásicos" o "tradicionales", lo que puede generar confianza en los consumidores debido a su familiaridad y percepción de seguridad (Basiron, 2005).

A pesar de la creciente conciencia sobre los posibles riesgos asociados con los jabones tradicionales, su disponibilidad y popularidad siguen siendo altas. Esto destaca la necesidad de una mayor educación del consumidor sobre los ingredientes que deben evitar y la promoción de alternativas más seguras y respetuosas con el medio ambiente.

Por lo anterior, en este trabajo se analizó el impacto mediante la herramienta de ciclo de vida de jabones sólidos derivados de aceite de palma producidos de forma tradicional y artesanal.

2. Justificación

En la actualidad, existe una creciente demanda en el mercado de productos de cuidado personal que sean respetuosos con el medio ambiente. Esta demanda se suma a la continua popularidad de los productos cosméticos y de cuidado personal. La producción y comercialización de productos corporales con enfoque sostenible emerge como una alternativa que satisface tanto las necesidades del consumidor como la preocupación por reducir los impactos de la industria tradicional cosmética. Este enfoque promueve un mensaje claro: al cuidarnos, también cuidamos nuestro entorno (Shimul et al., 2022). El proceso de trascender de la cosmética convencional a la natural es un paso clave para la innovación en este sector pues empresas grandes en el mercado ya han empezado a darse cuenta de esto, como por ejemplo Ana María Lee, gerente de Asuntos Corporativos de Natura Colombia, quien indica que en innovación la compañía invierte cada año alrededor de 3% de la facturación, lo que permite tener una renovación de portafolio cercana al 30% (Saavedra, 2020).

La transición hacia productos más naturales no solo responde a las demandas del consumidor, sino que también refleja una tendencia global hacia la responsabilidad corporativa y la reducción de la huella ecológica. Las empresas están reconociendo la importancia de incorporar prácticas sostenibles en sus procesos de producción, no solo para mejorar su imagen de marca, sino también para contribuir a la mitigación del cambio climático y la preservación de la biodiversidad (Jones & Harris, 2021).

Según el estudio titulado "*Cómo afecta la sostenibilidad a los hábitos de compra*", elaborado por la Asociación de Empresas de Gran Consumo (AECOC) y presentado en el Congreso de Desarrollo Sostenible, con la participación de la Federación de Industrias de Alimentación y Bebidas (FIAB), la consideración por el entorno se ha convertido en un criterio crucial al hacer las compras. El 44% de los consumidores encuestados afirman haber dejado de comprar productos de marcas que no consideran responsables ambientalmente, estableciendo este factor como un requisito fundamental para la elección de productos. La proporción sube aún más entre los menores de 34 años, según el informe, destacando que las generaciones jóvenes son las principales defensoras en la lucha por el clima. Se espera que el peso de la sostenibilidad en las decisiones de compra aumente en los próximos años, según señalan AECOC y FIAB (Agronegocios, 2020).

Este comportamiento de los consumidores jóvenes no solo refleja una preocupación ambiental, sino también un cambio cultural donde se valoran cada vez más las prácticas de consumo consciente. Las empresas que no se adapten a estas nuevas expectativas corren el riesgo de perder relevancia en el mercado. Por lo tanto, incorporar la sostenibilidad en la producción no es solo una opción ética, sino una estrategia empresarial crucial para mantenerse competitivo (Martínez & Pérez, 2022).

Este interés en la producción y comercialización de productos corporales con un enfoque responsable también se aplica específicamente a los detergentes. La demanda de detergentes ecológicos está en aumento, ya que los consumidores buscan alternativas que minimicen el impacto ambiental de sus actividades diarias, como el lavado de ropa, en el entorno natural. Además, la conciencia sobre los efectos nocivos de los químicos presentes en los detergentes convencionales en la salud humana y en el planeta ha llevado a una búsqueda activa de opciones más seguras y sostenibles (Carrillo & Acosta, 2022).

La industria de los detergentes, en particular, enfrenta desafíos únicos debido a la composición química de sus productos. Innovaciones en formulaciones más verdes, como el uso de surfactantes biodegradables y la reducción de ingredientes tóxicos, representan un avance significativo en la minimización del impacto ambiental. Estos desarrollos no solo benefician al entorno, sino que también responden a una creciente demanda del mercado por productos más seguros para el hogar y la salud (Fernández & Gómez, 2021).

Esta tendencia hacia la búsqueda de detergentes ecológicos se alinea con el creciente interés por adoptar prácticas responsables en todos los aspectos de la vida cotidiana. Los consumidores están cada vez más informados sobre los impactos ambientales de sus decisiones de compra y están optando por productos que reflejen sus valores ecológicos. Por lo tanto, la necesidad de verificar si los detergentes promocionados cumplen con los estándares ambientales y de salud establecidos es crucial para garantizar una transición efectiva hacia un estilo de vida más armonioso con el entorno (Jung et al., 2021). En ese orden de ideas, es necesario comprobar si los productos que surgen como una posible alternativa al consumo masivo son realmente más beneficiosos para el entorno.

4 Marco referencial

4.1 Marco conceptual

4.1.1 Jabón

Es un agente limpiador o detergente que se fabrica usando grasas animales y/o aceites vegetales. Químicamente, el jabón es la sal sódica o potásica de un ácido graso que se obtiene por hidrólisis alcalina de los ésteres contenidos en los materiales grasos. El jabón es soluble en agua y, por sus propiedades detergentes se usa comúnmente de productos destinados a la higiene personal y para lavar determinados objetos o tejidos (Guerrero, 2015).

4.1.1.1 Tipos de jabón

En rasgos generales, existen dos grandes grupos de jabones que se comercializan. Están los jabones industriales y los jabones artesanales, cada uno con sus diferentes variedades. La diferencia entre ambos radica en el proceso de fabricación y en la materia prima e insumos utilizados (Martínez, et al., 2020).

- **Jabones industriales:** Normalmente son jabones fabricados a gran escala con maquinaria automatizada y semi-automatizada. Trabajan con un proceso de fabricación en línea. Utilizan en su mayoría materiales químicos y pocos materiales naturales (Caisaguano, 2010).
- **Jabones naturales:** Los jabones naturales son típicamente jabones de poca espuma, lo que requiere el agregado de productos, muchos de ellos sintéticos y otros naturales para mejorar su calidad, como la glicerina, aceite de coco, aceite mineral, lanolina o ácidos grasos libres. La función de éstos últimos es la de proteger la piel y disminuir el porcentaje de jabón que entra en contacto con la superficie cutánea. Otras de las características de este tipo de jabones es el elevado nivel de pH (Caisaguano, 2010).
- **Jabones artesanales:** Son aquellos fabricados manualmente, con incorporación de productos naturales, sin colorantes u otros químicos que puedan irritar la piel, además para

que un jabón pueda ser considerado natural, 80% de su materia prima e insumos no debe contener tóxicos perjudiciales para el consumidor (Caisaguano, 2010).

4.1.1.2 Variedad de jabones

Según los insumos que se utilizan en la fabricación de jabones, se pueden obtener éstos con diferentes propiedades. Los cuales se describen a continuación (Leyva & Torres, 2016):

- **Jabones comunes:** Sólidos y espumosos, hechos por lo general con grasa animal y sodio o potasio. Se indica para varios tipos de pieles y en algunos casos pueden usarse para lavar el cabello.
- **Jabones humectantes:** Suelen tener aceites vegetales, otros poseen cremas humectantes en su composición, o grasas enriquecidas con aceite de oliva, avellana y otros. Los hay también de glicerina, son útiles para las pieles secas o dañadas por el uso de detergentes.
- **Jabones suaves:** Tienen en su composición aguas termales y son recomendados para pieles sensibles.
- **Jabones líquidos:** Se presentan como una loción de limpieza. Su poder efectivo varía y no todos tienen la misma eficacia.
- **Jabones dermatológicos:** Contienen agentes de limpieza sintética muy suave, a los que se añaden vegetales que contribuyen a cerrar los poros, aliviando las irritaciones y frenando la aparición de acné o puntos negros. Con estos jabones la piel no se descama, son recomendables para pieles que arrastran inconvenientes, ya sea de modo permanente o estacional, o ante apariciones puntuales de irritaciones.
- **Jabones de glicerina:** Son neutros, no suelen humectar la piel, al contrario, en algunas ocasiones tienden a resecarlas y se recomienda para pieles grasas. La glicerina tiene un efecto más duradero que los jabones comunes.
- **Jabones terapéuticos:** Son recetados por los médicos, algunos se recomiendan para psoriasis, para micosis cutáneas y otros para limpieza profunda de cutis.

4.1.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Es una herramienta metodológica utilizada para evaluar los impactos ambientales potenciales asociados con un producto, proceso o actividad a lo largo de su ciclo de vida total, el cual hace referencia desde la extracción de materias primas hasta su disposición final (Vidal, et al., 2017) y Cradle to Gate, desde el mismo punto de inicio del anterior, pero solo hasta que el producto terminado sale del proceso de fabricación. El ACV permite identificar, cuantificar y evaluar los impactos ambientales en cada etapa del ciclo de vida de un producto, ayudando a encontrar oportunidades de mejora y a tomar decisiones más sostenibles.

4.1.3 Diseño sistémico

Se refiere a un enfoque de diseño que considera el sistema completo en el que opera un producto, teniendo en cuenta no solo sus componentes individuales, sino también las interacciones entre ellos y su entorno más amplio. Esto permite abordar de manera integral los aspectos ambientales, sociales y económicos de un producto o proceso (Ehrenfeld, 2008).

4.2 Marco teórico

Se pretende proporcionar el sustento conceptual y científico necesario para comprender los aspectos clave relacionados con el análisis de los impactos ambientales de los jabones sólidos saponificados de aceite de palma. En este sentido, se abordan conceptos fundamentales vinculados a la producción de jabones, su ciclo de vida, y los impactos ambientales asociados.

4.2.1 Producción de jabones

La producción de jabones sólidos saponificados de aceite de palma es un proceso químico que implica la reacción de ácidos grasos con una base, generalmente hidróxido de sodio o potasio. Este proceso da como resultado la formación de jabones y glicerina como subproducto (Smith, 2010). Es importante considerar las diferentes técnicas de fabricación, como el método en caliente y en frío, que pueden influir en las propiedades físicas y químicas del producto final (Bianchini et al., 2018).

La producción de jabones sólidos puede llevarse a cabo a través de métodos industriales o artesanales, cada uno con características y procedimientos específicos que afectan tanto la calidad del producto final como los impactos ambientales asociados.

El proceso de producción de jabones industriales se caracteriza por su alta escala y automatización. Este proceso comienza con la recepción de materias primas, como grasas animales y aceites vegetales. Estas materias primas son almacenadas adecuadamente para mantener su calidad. Luego, los ingredientes son mezclados y calentados en grandes reactores, donde se lleva a cabo la saponificación, una reacción química en la que los ácidos grasos reaccionan con una base, generalmente hidróxido de sodio o potasio, para formar jabón y glicerina como subproducto (Smith, 2010). Una vez alcanzada la temperatura correcta, la mezcla es enfriada y extruida en moldes específicos. Posteriormente, los jabones son cortados, empaquetados y sometidos a controles de calidad para garantizar la conformidad con los estándares industriales. Finalmente, los productos son almacenados y distribuidos a los puntos de venta (Martínez et al., 2020).

Por otro lado, el proceso artesanal de producción de jabones es más manual e implica el uso de materias primas naturales. En primer lugar, se seleccionan y pesan los ingredientes, que suelen incluir aceites vegetales como el aceite de oliva y aceites esenciales para agregar fragancias naturales. Estos ingredientes se mezclan y se calientan manualmente para iniciar la saponificación. Una vez alcanzada la temperatura adecuada, la mezcla se vierte en moldes y se deja enfriar de manera natural. Después del enfriamiento, los jabones se desmoldan y cortan manualmente. Luego, los jabones pasan por un proceso de curado, donde se dejan reposar durante varias semanas para alcanzar la dureza y calidad deseadas. Finalmente, los jabones son empaquetados y almacenados para su distribución (Caisaguano, 2010).

4.2.2 Ciclo de vida de los jabones

El ciclo de vida de un jabón Cradle to Gate abarca todas las etapas desde la extracción de las materias primas hasta que sale de la fábrica. Este enfoque permite evaluar los impactos ambientales en todas las etapas, incluyendo la extracción y producción de materias prima, y fabricación (Eriksson et al., 2016).

4.2.3 Análisis de ciclo de vida (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta metodológica utilizada para evaluar los impactos ambientales potenciales asociados con un producto, proceso o actividad a lo largo de su ciclo de vida completo. Este análisis permite identificar, cuantificar y evaluar los impactos ambientales en cada etapa del ciclo de vida de un producto (Vidal, et al., 2017).

El ACV Cradle to Gate se divide en varias etapas críticas que deben ser detalladamente evaluadas, en primera instancia se evidencia el proceso productivo del jabón:

- **Extracción de materias primas:** Esta etapa evalúa los impactos ambientales asociados con la obtención de los materiales necesarios para la producción de jabones, como el aceite de palma y otros ingredientes tales como hidróxido de sodio, agua destilada y colorantes naturales. Además, se consideran otros insumos y sustancias químicas que son esenciales en el proceso de fabricación, incluyendo grasas animales, aceites vegetales diversos, sal, fragancias sintéticas o naturales, y aditivos como estabilizadores y conservantes.
- **Producción:** En esta etapa se consideran los impactos derivados de la fabricación del jabón, incluyendo el consumo de energía, agua y la generación de residuos. El proceso de saponificación, que implica la reacción de ácidos grasos con una base (generalmente hidróxido de sodio o potasio). Es importante evaluar las diferentes técnicas de fabricación, como el método en caliente y en frío, y sus efectos en las propiedades físicas y químicas del producto final (Bianchini et al., 2018). El método en caliente acelera la saponificación mediante el uso de calor (80-100°C), lo que reduce el tiempo de producción, pero incrementa el consumo de energía y puede degradar algunos ingredientes sensibles. Por otro lado, el método en frío se realiza a temperaturas más bajas (30-40°C) y requiere un tiempo de curado más prolongado (4-6 semanas), preservando mejor los ingredientes naturales y consumiendo menos energía, aunque alarga el ciclo de producción. Evaluar estos métodos permite entender mejor sus impactos ambientales y elegir la técnica más adecuada según las necesidades y prioridades de producción.

Ahora bien, de acuerdo a la norma ISO 14040, El ACV se estructura en cuatro etapas fundamentales:

- **Definición del objetivo y el alcance:** En esta etapa inicial, se establece el propósito del ACV y se definen los límites del sistema, así como la unidad funcional que se utilizará

como referencia para las comparaciones. Es crucial determinar claramente qué aspectos del ciclo de vida serán considerados y cuáles serán las metas específicas del análisis.

- **Análisis del inventario:** En esta etapa, se recopila y organiza toda la información necesaria para llevar a cabo el ACV. Esto incluye datos sobre el uso de materias primas, energía, agua, y la generación de residuos y emisiones en cada etapa del ciclo de vida del producto. La precisión y la integridad de los datos recolectados en el inventario son esenciales para asegurar la fiabilidad del análisis.
- **Evaluación de los impactos:** Una vez recopilados los datos del inventario, se procede a la evaluación de los impactos ambientales. Esto implica la cuantificación de los efectos potenciales de los flujos de materiales y energía sobre diferentes categorías de impacto, como el cambio climático, la acidificación, la ecotoxicidad, entre otros. Esta etapa permite identificar las áreas del ciclo de vida del producto que tienen mayor impacto ambiental y que, por tanto, requieren atención o mejora.
- **Interpretación de los resultados:** Finalmente, en esta etapa, se interpretan los resultados obtenidos en la evaluación de impactos. La interpretación debe considerar tanto los resultados cuantitativos como las suposiciones y limitaciones del estudio, con el fin de formular recomendaciones concretas para la mejora del desempeño ambiental del producto o proceso analizado.

4.2.4 Impactos ambientales de los jabones

Los jabones sólidos saponificados de aceite de palma pueden tener diversos impactos ambientales, que van desde la deforestación y la pérdida de biodiversidad asociadas a la producción de aceite de palma, hasta la contaminación del agua y la generación de residuos durante su producción (Gunawan et al., 2020). Entre los impactos más relevantes identificados en la literatura se encuentran:

- **Cambio Climático:** Este impacto se refiere a las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), que contribuyen al calentamiento global. El ciclo de vida de los jabones, desde la extracción de materias primas hasta la producción, puede implicar emisiones significativas, especialmente cuando se utilizan fuentes de energía fósil o se realizan prácticas agrícolas no sostenibles (Vidal et al., 2017).

- **Acidificación:** La acidificación del suelo y cuerpos de agua es otro impacto crítico, originado por la emisión de gases como el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos compuestos, al ser liberados en la atmósfera, pueden precipitarse en forma de lluvia ácida, afectando la calidad del suelo y las fuentes de agua (Francke & Castro, 2013).
- **Ecotoxicidad de Agua Dulce y Marina:** Este impacto se refiere a la liberación de sustancias químicas tóxicas en los ecosistemas acuáticos, que pueden perjudicar a la flora y fauna. La producción de jabones puede contribuir a la ecotoxicidad a través del uso de ciertos ingredientes y productos químicos que, una vez desechados, pueden contaminar ríos, lagos y océanos (Martinez et al., 2017).
- **Formación de Ozono Troposférico:** El ozono troposférico, a diferencia del ozono estratosférico, es un contaminante que se forma en la superficie terrestre a partir de reacciones químicas entre compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en presencia de luz solar. Este ozono es perjudicial para la salud humana y los ecosistemas (Secchi et al., 2016).
- **Eutrofización:** La eutrofización, tanto de cuerpos de agua dulce como marinos, es un impacto significativo causado por la liberación de nutrientes, como nitratos y fosfatos, durante la producción y uso de jabones. Estos nutrientes pueden provocar un crecimiento excesivo de algas y otros organismos acuáticos, alterando los ecosistemas y reduciendo la calidad del agua (Lucchetti et al., 2019).
- **Uso de Recursos Naturales:** El consumo de agua, energía y otros recursos naturales es un impacto fundamental a considerar. La producción de jabones, dependiendo del método y los insumos utilizados, puede requerir cantidades significativas de estos recursos, lo que incrementa su huella ecológica y pone presión sobre los recursos naturales disponibles (Martinez et al., 2017).

4.2.5 Metodología para la evaluación de impactos

La metodología para la evaluación de impactos en ACV fue ReCiPe, disponible en el software OPENLCA. Esta metodología permite evaluar diversas categorías de impacto.

- **ReCiPe:** Proporciona un enfoque más integral para la evaluación de impactos ambientales y permite una evaluación holística, considerando tanto los daños a la salud humana y los

ecosistemas como el agotamiento de recursos. Es particularmente útil para comparar diferentes escenarios de producción y uso de productos, facilitando la identificación de las opciones más sostenibles.

En este proyecto, la elección de ReCiPe sobre la metodología CML se fundamenta en varias razones clave que destacan sus ventajas en el contexto específico de este estudio.

ReCiPe proporciona un enfoque más integral y holístico para la evaluación de impactos ambientales, permitiendo evaluar una amplia gama de categorías de impacto. Esta metodología considera no solo los daños a la salud humana y a los ecosistemas, sino también el agotamiento de recursos. Este enfoque es especialmente útil cuando se busca una visión completa del impacto ambiental de un producto, facilitando la comparación entre diferentes escenarios de producción y uso. En contraste, la metodología CML, aunque también robusta, se centra más en categorías de impacto específicas, lo que puede limitar la capacidad de obtener una visión global del impacto ambiental en todas las áreas relevantes.

Además, ReCiPe permite identificar de manera más efectiva las opciones de mejora y las prácticas más sostenibles. Su capacidad para evaluar impactos en múltiples niveles y categorías es crucial para un estudio que busca promover prácticas más sostenibles en la producción de jabones. Mientras que CML proporciona resultados precisos en las categorías que evalúa, puede no ofrecer la misma amplitud de información necesaria para identificar y comparar todas las opciones de mejora potenciales.

La preferencia por ReCiPe en el contexto académico y de investigación también influye en su selección. Es ampliamente utilizada en estudios académicos y de investigación que requieren una evaluación detallada y completa de los impactos ambientales. Su popularidad y aceptación en la comunidad científica facilitan la comparación de resultados y la utilización de datos de referencia disponibles en la literatura. Aunque CML es una metodología respetada y utilizada, puede no ser tan preferida en estudios que buscan una evaluación completa y holística.

Otro factor que favorece la elección de ReCiPe es la disponibilidad de datos y su compatibilidad con bases de datos internacionales como Ecoinvent. Esto asegura que los análisis sean más precisos y que los resultados sean consistentes con otros estudios similares. Aunque CML también es compatible con bases de datos internacionales, puede tener menos datos disponibles para ciertas categorías o aspectos específicos del análisis, limitando la comparabilidad y precisión de los resultados.

4.2.6 Sostenibilidad y mejora continua

El enfoque hacia la sostenibilidad implica la adopción de prácticas y procesos que minimicen los impactos ambientales y promuevan el uso responsable de los recursos naturales (Krajnc & Glavič, 2005). En este contexto, es necesario implementar medidas de mejora continua en la producción y uso de jabones sólidos saponificados de aceite de palma, considerando la optimización de procesos, la utilización de materias primas sostenibles y la reducción de emisiones y residuos (Seuring & Müller, 2008).

4.2.5 Marco legal

En Colombia, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) desempeña un papel crucial en la regulación y control de los productos cosméticos. La Resolución 0689 de 2016, modificada por las Resoluciones 0837 de 2017 y 1770 de 2018, establece las normas técnicas y los requisitos que deben cumplir los productos cosméticos para su registro y comercialización en el país. Estas regulaciones abordan aspectos como la seguridad, calidad y eficacia de los productos, así como la adecuada rotulación y etiquetado (Carrillo & Acosta, 2022).

El INVIMA realiza evaluaciones exhaustivas de los productos cosméticos antes de autorizar su comercialización, verificando que cumplan con los estándares establecidos y que no representen riesgos para la salud de los consumidores. Además, se encarga de supervisar la fabricación, importación, distribución y venta de estos productos, garantizando su adecuado control sanitario en todo el territorio nacional.

El cumplimiento de estas normativas y regulaciones es fundamental para asegurar la calidad y seguridad de los productos cosméticos disponibles en el mercado colombiano, así como para proteger la salud de los consumidores. Los fabricantes y distribuidores deben estar al tanto de estas disposiciones y seguir los procedimientos establecidos por el INVIMA para obtener el registro y la autorización de sus productos.

La ANLA, como entidad encargada de regular los aspectos ambientales en Colombia, juega un papel fundamental en la regulación de la biodegradabilidad de los ingredientes utilizados en los

productos cosméticos. Esto incluye la evaluación del impacto ambiental de estos ingredientes y su capacidad para descomponerse de manera segura en el medio ambiente (ANLA, 2024).

Por otro lado, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece normativas específicas relacionadas con la composición de los productos cosméticos. Una de estas regulaciones se centra en el contenido de fósforo en los productos, con el objetivo de reducir su impacto negativo en el medio ambiente. Al limitar el contenido de fósforo, se promueve el uso de ingredientes más sostenibles y respetuosos con los recursos naturales, contribuyendo así a la protección del medio ambiente y la biodiversidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Además de las mencionadas resoluciones, otras normativas técnicas relacionadas incluyen la Resolución 1816 de 2019, que establece los requisitos específicos para el registro sanitario de productos cosméticos de higiene oral, y la Resolución 2003 de 2014, que regula el etiquetado de productos cosméticos, incluyendo la lista de ingredientes y advertencias pertinentes (INVIMA, 2016).

Estas normativas y regulaciones son esenciales para garantizar que la industria cosmética en Colombia opere de manera responsable y sostenible. El cumplimiento de estas disposiciones no solo protege el medio ambiente y la biodiversidad, sino que también promueve la innovación en la formulación de productos cosméticos, fomentando el uso de ingredientes seguros y respetuosos con el entorno.

4.3 Estado del arte

Aunque la industria cosmética ha evolucionado mucho en los últimos años con temas referentes al cuidado del planeta y en cuanto a los componentes de sus formulaciones, aún existen muchos productos que dejan una huella tóxica en el medio ambiente y otros una acumulación de problemas médicos en los consumidores.

Países como España, Alemania, Estados Unidos, Portugal, Francia, entre otros, son líderes en el mercado de los productos libres de químicos perjudiciales y que dan al mercado de la cosmética una alternativa sostenible y funcional (CBI, 2009). En Colombia, la concientización hacia el uso de los productos sostenibles hasta ahora se está robusteciendo y no existe un gran

mercado que atienda y que ofrezca una alternativa ecológica para las personas que deseen adquirir productos sostenibles.

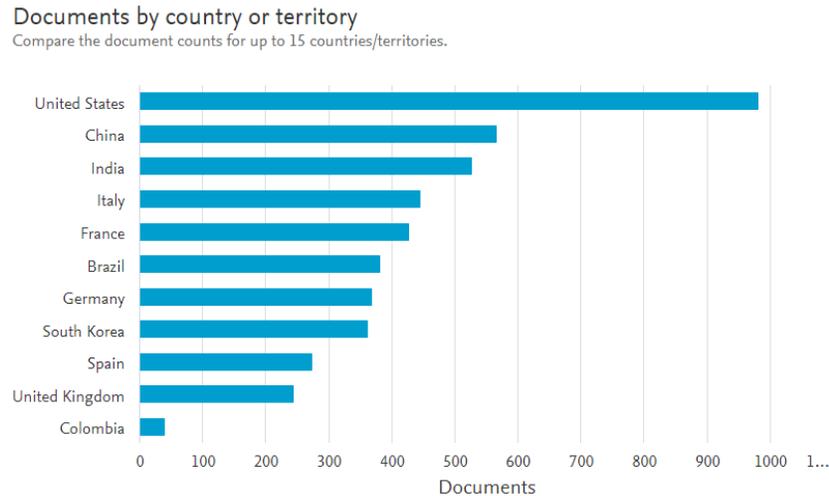
4.3.1 Producción científica

El estado de la cosmética natural en materia de producción científica es relativamente nuevo, a pesar de que la cosmética es un sector que lleva años en el mundo, la cosmética natural apenas empieza a surgir debido a la concientización de las personas y a la necesidad de otras alternativas sostenibles. Una prueba de ello son los resultados en las búsquedas de producción de artículos de investigación y patentes a través de la base de datos SCOPUS. Al iniciar la investigación con la ecuación de búsqueda “TITLE-ABS-KEY (natural AND cosmetics)” apenas se obtuvieron 6,658 resultados; en cambio sí se excluye el término natural en la ecuación de búsqueda: “TITLE-ABS-KEY (cosmetics)” se obtuvieron 92,742 artículos. Es decir, la producción científica de artículos de investigación de cosmética convencional es casi 14 veces más que la cosmética natural a nivel mundial.

4.3.2 Panorama mundial

Como se mencionó anteriormente, al realizar la búsqueda en la base de datos SCOPUS con la ecuación “TITLE-ABS-KEY (natural AND cosmetics)” se obtuvieron 6,658 resultados, pero al cuestionarse de dónde vienen la mayoría de estos artículos, se realizó el filtro por países (ver el panorama en la figura 1). Donde Estados Unidos es el mayor productor de artículos científicos referentes al tema de cosmética natural, lo siguen China, India e Italia; produciendo entre 980 y 444 artículos (SCOPUS, 2024).

En Colombia la producción de artículos referentes al tema del proyecto es tan solo de 39 artículos. Esto se puede interpretar como un vacío que existe en el país que debe ser solventado. Colombia, siendo el segundo país en biodiversidad del mundo con un aproximado de veintiocho mil especies vegetales, de las cuales, cerca del 20 por ciento son medicinales, ha sido considerado desde hace muchos años como un firme candidato para la producción de preparaciones farmacéuticas y cosméticas a base de plantas medicinales (Ministerio de ciencias, 2016).

Figura 1. *Panorama mundial de palabras clave Natural y Cosméticos en SCOPUS*

Nota. SCOPUS (2024)

En cuanto al análisis de ciclo de vida (ACV) de forma específica se han observado diversos estudios internacionales que han abordado este tema, proporcionando información valiosa. A continuación, se presenta una revisión de algunos de los artículos más relevantes en este campo:

Huong, et al (2023) utilizaron el ACV para medir los impactos ambientales de la producción de jabón de manos a partir de aceite de palma. Este estudio revela que los tres principales impactos son en la salud humana, el medio ambiente y los recursos naturales. Los resultados muestran efectos significativos como el calentamiento global (1,241.99 kg CO₂ eq), la ecotoxicidad terrestre (1,279.91 kg TEG suelo) y la ecotoxicidad acuática (12,552.98 kg TEG agua). Estos hallazgos subrayan la importancia de evaluar y minimizar los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del jabón.

Otro estudio significativo es el de Guilbot et al. (2013), quienes realizaron un ACV de surfactantes utilizados en cosméticos, específicamente de un alquil poliglucósido (APG). La investigación se llevó a cabo siguiendo la norma ISO 14040, y se dividió en dos enfoques: desde la producción de materias primas vegetales hasta el uso final por los consumidores (de la cuna a la tumba) y desde la producción de materias primas vegetales hasta la producción de APG (de la cuna a la puerta). Los resultados indican que la fase de formulación y el uso final son las etapas más impactantes, contribuyendo entre el 15 y el 51% y entre el 30 y el 77%, respectivamente, dependiendo de la categoría de impacto. Este estudio demuestra que los ingredientes y el embalaje tienen un impacto significativo en el ciclo de vida del producto.

Gaurav et al. (2023) investigaron los impactos ambientales de la producción de jabón en barra, destacando los riesgos de sostenibilidad asociados. Utilizando las normas ISO 14040 y 14044, el estudio cuantificó la carga ecológica de la producción y el uso de 1 kg de jabón en barra, identificando la eutrofización como la categoría de mayor impacto ambiental. Además, el estudio enfatiza la importancia del comportamiento del consumidor en la reducción de los impactos ambientales durante la fase de uso del jabón.

Secchi et al. (2016) evaluaron innovaciones eco-sostenibles en productos cosméticos mediante el ACV, comparando ingredientes sintéticos con otros derivados de compuestos naturales. Los resultados muestran que los ingredientes seleccionados tienen un impacto más significativo que el consumo de agua y energía. La elección de ingredientes ecológicos puede no siempre resultar en un perfil ambiental preferible, destacando la necesidad de adoptar métodos basados en el ciclo de vida para asegurar que las opciones de química verde reduzcan los impactos ambientales en todas las etapas del ciclo de vida.

Kröhnert & Stucki (2021) realizaron un ACV de un champú de origen vegetal comercializado en Suiza, identificando puntos críticos ambientales y analizando opciones de recarga. Los resultados indican que la fase de uso es la más impactante, excepto en la categoría de uso de tierras, dominada por la producción de ingredientes de origen vegetal. La fase de producción y disposición del embalaje tiene una contribución menor, pero ofrecer opciones de recarga puede reducir significativamente estos impactos.

Francke & Castro (2013) analizaron las huellas de carbono y agua de una barra de jabón producida en Brasil, encontrando que la etapa de formulación acumula el 84% de la huella de carbono total y el 99% del componente verde de la huella hídrica. La fase de uso y disposición representa el 70% de la huella hídrica total. Este estudio destaca la importancia de las prácticas agrícolas sostenibles y la gestión del uso del agua en la reducción de los impactos ambientales.

Martinez et al. (2017) llevaron a cabo un ACV de una crema cosmética bio-basada que contiene aceite de palmiste refinado (RPKO). En el escenario base, el transporte de la crema cosmética fue el proceso más contribuyente, seguido del embalaje. La producción agrícola de aceite de palma tuvo una baja contribución, pero en escenarios alternativos con deforestación y drenaje de suelos de turba, los impactos fueron significativamente mayores. Esta investigación demuestra que las prácticas agrícolas y el manejo de residuos en la fase de producción del aceite de palma pueden tener impactos significativos en el ciclo de vida del producto.

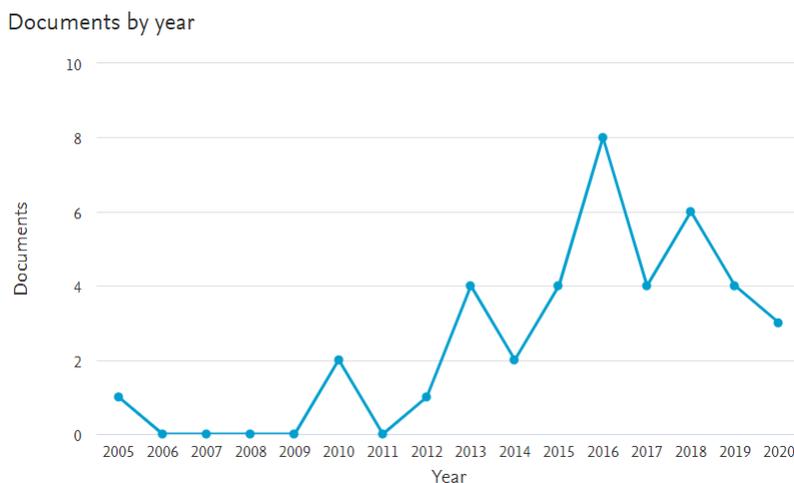
Finalmente, Lucchetti et al. (2019) analizaron las ventajas ambientales de un proceso de producción de detergentes que aplica la economía circular. El uso de aceites vegetales regenerados permite reducir significativamente los impactos ambientales en comparación con el uso de aceite de coco importado. Presentó cómo la integración de materiales reciclados en la producción de detergentes puede contribuir a la sostenibilidad y la preservación de los recursos naturales.

Los estudios destacan la importancia de utilizar el ACV para evaluar y minimizar los impactos ambientales de la producción de jabones y otros productos cosméticos. Al consolidar los límites, objetivos y alcances del ACV, así como la unidad funcional y los supuestos necesarios, es posible desarrollar estrategias más sostenibles y reducir los impactos negativos en el medio ambiente.

4.3.3 Panorama colombiano

Para analizar el panorama de producción científica en Colombia en torno a los jabones naturales, se realizó una búsqueda en SCOPUS con la siguiente ecuación de búsqueda “TITLE-ABS-KEY (natural Y cosmética) Y (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Colombia"))” para analizar cómo se encuentra Colombia con respecto a los demás países. En Colombia se encontró un total de 39 publicaciones. Todas ellas publicadas a partir del año 2005.

Figura 2. Producción científica en Colombia en torno a los jabones naturales



Nota. SCOPUS (2024)

Sin embargo, no fue hasta el año 2012 donde la tendencia de producción literaria científica empezó a crecer y ser constante en el país. Además, vale la pena nombrar que la mayoría de estos artículos han sido generados por la Universidad de Antioquía con 9 de éstos. Entre sus investigaciones resaltan que:

El uso de productos que contienen ingredientes botánicos se asocia comúnmente con conceptos como "inocuidad", "funcionalidad" y "química verde", que son muy valorados en la economía mundial. De hecho, en 2015 se utilizaron más de 3.5 millones de toneladas de ingredientes botánicos para la elaboración de alimentos, cuidado personal y productos para la salud con una tasa de crecimiento anual esperada de 2 y 7% en todo el mundo y en Colombia, respectivamente. Adicionalmente, la cadena de productos naturales está en constante evolución, promoviendo la innovación continua en el desarrollo de ingredientes, principalmente a través de: i) la creciente demanda de nuevos productos por parte de los consumidores; ii) el productor final requiere ingredientes nuevos y mejores para producir nuevos productos; y iii) los productores necesitan diversificar sus mercados. Hoy en día, la innovación en la industria de ingredientes botánicos se concentra cada vez más en tres campos principales: i) desempeño (eficacia y funcionalidad de los ingredientes); ii) narración (la historia detrás de la producción del ingrediente); y iii) sostenibilidad (impactos sociales, económicos y ambientales) (Carrillo & Osorio, 2017).

Para promover una ventaja competitiva en el mercado, las empresas farmacéuticas, cosméticas y alimentarias crean cada vez más productos con ingredientes botánicos innovadores o agregan atributos ecológicos a los productos existentes. Además, la creciente demanda de ingredientes naturales ha llevado al fortalecimiento de las regulaciones para verificar la seguridad y eficacia de estos insumos. Hoy en día, las denominaciones como ingredientes generalmente reconocidos como seguros (GRAS); los ingredientes de alimentos, medicamentos y cosméticos (FD & C) y el concepto de alimentos y cosméticos funcionales están respaldados por evidencia científica de alta calidad y por los principales reguladores europeos y norteamericanos (incluida la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), la Agencia Europea de Medicamentos (EMA) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), entre otras). Por lo tanto, estamos ante un mercado diverso y versátil, de alta demanda, regulado, en crecimiento y que presenta grandes oportunidades de investigación, innovación y capacidad para desarrollar nuevos

ingredientes (Carrillo & Osorio, 2017). En ese orden de ideas, no es sorprendente que la búsqueda de nuevos ingredientes naturales sea un tema candente que se está convirtiendo en el punto focal de muchos esfuerzos de investigación.

4.4 Antecedentes

La preocupación por los problemas ambientales y sociales asociados a la producción industrial ha impulsado el desarrollo de diversas estrategias y enfoques para mitigar su impacto negativo. Entre estos enfoques se encuentran la Evaluación del Ciclo de Vida (ECV) y el Diseño Sistémico (DS), los cuales han demostrado ser herramientas efectivas para abordar la sostenibilidad en diferentes contextos industriales.

En primera instancia, el estudio de Cándido et al. (2021) exploró el potencial del Diseño Sistémico y la Evaluación del Ciclo de Vida para promover el desarrollo sostenible en comunidades locales, con un enfoque particular en la producción de cosméticos en la región del Serro. Se destacó la importancia de adoptar un enfoque holístico que considere tanto los aspectos ambientales como socioeconómicos al evaluar el impacto de la producción industrial. Se encontró que la aplicación del Diseño Sistémico puede no solo minimizar los impactos ambientales negativos asociados con la producción de cosméticos, sino también impulsar la economía local y mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Siguiendo la línea de investigación sobre la reducción de la huella ambiental en la industria cosmética, se han llevado a cabo varios estudios que ofrecen perspectivas valiosas para el desarrollo de prácticas más sostenibles en la producción de jabón. El estudio realizado por Pedreira (2023) se centra en la evaluación ambiental de ciclo de vida comparativa entre un champú convencional y uno formulado con ingredientes naturales. En un contexto de emergencia climática y búsqueda de sostenibilidad, la industria de cosméticos ha comenzado a incorporar ingredientes naturales en sus productos. Sin embargo, la información sobre los impactos ambientales de estas formulaciones es limitada. Este estudio utilizó la metodología de Evaluación del Ciclo de Vida (ECV) para comparar los dos tipos de champú. Los resultados mostraron una reducción significativa en los impactos ambientales del champú a base de ingredientes naturales en comparación con el champú convencional, con una reducción potencial del 68% en el cambio climático, 50% en toxicidad humana y 22% en ecotoxicidad terrestre.

Como recomendación planteada en la investigación, se sugiere reducir el uso de la cadena petroquímica en la formulación del champú para disminuir aún más los impactos ambientales. Además, se destaca la influencia del proceso de producción de aceite de coco en ambas formulaciones y se señala la necesidad de mejorar el proceso de agentes reguladores de pH para reducir la huella hídrica. Este estudio concluye que la inclusión de productos naturales en champús es un esfuerzo válido para reducir los impactos ambientales del sector, aunque se requiere más investigación para identificar nuevos procesos que contribuyan a la sostenibilidad.

Del mismo modo, la investigación realizada por Cabarcas y Castañeda (2022) aborda la necesidad de productos cosméticos biodegradables y sostenibles. En un contexto donde los consumidores valoran cada vez más la preservación del medio ambiente, los productos cosméticos elaborados con ingredientes naturales se están posicionando en el mercado. El estudio se centra específicamente en el desarrollo de discos o almohadillas (PADS) desmaquillantes a base de almidón de yuca y fibra de capacho de maíz, con el objetivo de ofrecer una alternativa biodegradable a los productos desmaquillantes convencionales. Mediante un estudio de mercado y un análisis financiero, se demuestra la viabilidad y aceptación del producto en el mercado cosmético de Villavicencio, resaltando sus características de biodegradabilidad y producción sostenible. Este proyecto representa un esfuerzo significativo para reducir los impactos ambientales asociados con los productos desmaquillantes de un solo uso y promover prácticas más sostenibles en la industria cosmética.

Se encontró una investigación sobre la participación colombiana en el II Congreso Internacional de Ingeniería Industrial y Ramas Afines. Como se describe en el estudio de Villota (2020), el autor destaca la importancia de la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en la industria cosmética. A través de la presentación de experiencias significativas, se resalta el caso de Probionar S.A.S, una empresa colombiana que ha logrado un crecimiento notable mediante la producción de detergentes y limpiadores de superficies amigables con el medio ambiente. El estudio destaca la implementación del ACV como una herramienta poderosa para evaluar los impactos ambientales de los productos y métodos de producción de la empresa. Además, se subraya la importancia de adoptar una visión holística del ciclo de vida del producto, desde la obtención de materias primas hasta la disposición final, para identificar áreas de mejora y desarrollar estrategias de producción más limpia. Esta investigación contribuye a la comprensión de cómo las empresas

pueden integrar prácticas sostenibles en su operación y promover el desarrollo de productos más respetuosos con el medio ambiente en la industria cosmética.

Estos antecedentes proporcionan un marco sólido para comprender cómo la Evaluación del Ciclo de Vida y el Diseño Sistémico pueden contribuir a la sostenibilidad en diferentes contextos industriales. El presente proyecto, se centra en la producción de jabones sólidos derivados de aceite de palma, es fundamental considerar el ciclo de vida Cradle to gate de los productos cosméticos asociados. Esto implica evaluar el impacto ambiental de la materia prima y el proceso de fabricación del jabón. Además, es crucial examinar cómo se pueden aplicar los principios del Diseño Sistémico para optimizar el proceso de producción, minimizar los residuos y maximizar la sostenibilidad a lo largo de toda la cadena de valor del jabón sólido. Aún quedan preguntas por responder en cuanto a cómo integrar de manera efectiva estos enfoques en las prácticas industriales existentes y cómo garantizar que los beneficios socioeconómicos sean equitativamente distribuidos entre los miembros de la comunidad.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar el análisis de los impactos ambientales de un jabón sólido saponificado de aceite de palma mediante un análisis de ciclo de vida.

3.2 Objetivos específicos

Identificar las ventajas y desventajas tanto de los jabones artesanales de aceite de palma y de los jabones tradicionales.

Determinar el impacto de la producción de los jabones tradicionales y jabones artesanales de aceite de palma.

Identificar las acciones de mejoramiento para reducir los impactos ambientales del jabón saponificado con aceite de palma.

6. Metodología

La metodología se desarrolló en tres fases principales, cada una dirigida a cumplir los objetivos específicos establecidos y el objetivo general del proyecto. Estas fases fueron diseñadas para abordar los impactos ambientales del jabón sólido saponificado de aceite de palma. Se hizo el análisis tanto para el jabón tradicional como para el artesanal con el fin de poder analizar las ventajas y desventajas de cada uno en términos de sostenibilidad, eficiencia en el uso de recursos, emisiones generadas y prácticas de producción, permitiendo así una evaluación comparativa integral y la identificación de oportunidades de mejora en cada proceso.

6.1 Fases de investigación

6.1.1 Fase 1: Identificación y comparación de jabones

En esta fase se identificaron las ventajas y desventajas de los jabones artesanales y tradicionales de aceite de palma mediante la revisión de la literatura existente.

- **Revisión bibliográfica:** Se realizó una revisión exhaustiva de artículos científicos, informes técnicos y estudios de caso para identificar las ventajas y desventajas de ambos tipos de jabones.
- **Comparación de procesos:** Se compararon los procesos de producción de jabones artesanales y tradicionales utilizando los diagramas de flujo previamente descritos como referencia para identificar flujos de entrada y salida de materiales y energía.

6.1.2 Fase 2: Análisis del ciclo de vida (ACV) y evaluación de impactos ambientales

En esta fase se realizó el análisis de ciclo de vida (ACV) para el proceso productivo de jabones tradicionales de aceite de palma y del jabón artesanal, desde la extracción de la materia prima hasta la salida de la fábrica (cradle to gate).

- **Definición del objetivo y alcance:** El objetivo es realizar un análisis del impacto ambiental de los jabones tradicionales. El alcance del análisis fue desde la extracción de la materia prima hasta la salida de la fábrica (cradle to gate).

- **Unidad funcional:** La unidad funcional fue la producción de 1 kg de jabón sólido saponificado de aceite de palma.
- **Recolección de datos secundarios:** Se utilizaron datos secundarios provenientes de bases de datos internacionales como Ecoinvent y de estudios previamente analizados en el estado del arte. Estos datos incluyen información sobre flujos de materia y energía, así como sobre las emisiones y residuos generados.
- **Selección de metodología:** Se utilizó la metodología ReCiPe, disponibles en el software OpenLCA.
- **Análisis de inventario:** Durante esta fase, se recopilaron y cuantificaron de manera detallada los flujos de materiales y energía involucrados en la producción de jabón saponificado con aceite de palma. Es importante mencionar que, dentro de este inventario, se realizaron ciertas suposiciones y se reconocieron limitaciones. Por ejemplo, la energía utilizada se consideró exclusivamente como hidroeléctrica, lo cual puede limitar la aplicabilidad de los resultados a otros contextos donde se utilicen fuentes de energía diferentes. Además, el aceite de palma empleado en el análisis fue un tipo genérico, sin diferenciar si se trataba de aceite certificado bajo criterios de sostenibilidad o no. Estos supuestos y limitaciones deben ser tenidos en cuenta al interpretar los resultados del análisis.
- **Evaluación de impactos:** Se llevó a cabo una evaluación de los impactos ambientales del jabón saponificado con aceite de palma y del jabón artesanal utilizando indicadores pertinentes como capa de ozono, emisión de CO₂, entre otros. Se analizaron los resultados para identificar los impactos más significativos y las áreas de mejora. Con los resultados obtenidos y su análisis, se planteó una hoja de ruta para la mitigación de impactos.
- **Análisis de resultados:** Se analizaron los resultados para identificar los puntos críticos y las áreas de mejora.

6.1.3 Fase 3: Propuesta de acciones de mejora y formulación de recomendaciones

En esta fase se identificaron las acciones de mejora para reducir los impactos ambientales de los jabones saponificados con aceite de palma y se formularon recomendaciones dirigidas a promover prácticas más sostenibles y responsables.

- **Identificación de áreas de oportunidad:** Con base en los resultados del análisis de impactos, se identificaron las áreas de oportunidad para reducir los impactos ambientales.
- **Desarrollo de estrategias:** Se desarrollaron estrategias y medidas específicas para mitigar los impactos ambientales en cada etapa del ciclo de vida.
- **Recomendaciones:** Se formularon recomendaciones dirigidas a promover prácticas más sostenibles y responsables en la producción y consumo de jabones saponificados con aceite de palma.

6.2. Análisis de Datos

Se utilizó el software OpenLCA para llevar a cabo el análisis de ciclo de vida del jabón sólido saponificado de aceite de palma y del jabón artesanal. Los datos utilizados se obtuvieron de bases de datos internacionales como Ecoinvent. Este análisis proporcionó resultados cuantitativos y cualitativos sobre los impactos ambientales del producto en estudio (ver numeral 7.2).

7. Resultados

7.1 Identificación y comparación de jabones tradicionales y artesanales

7.1.1 Ventajas

7.1.1.1 Jabones tradicionales

La producción de jabones tradicionales de aceite de palma presenta varias ventajas significativas, las cuales han contribuido a su popularidad y uso extendido en el mercado global. Estas ventajas abarcan aspectos económicos, de durabilidad y eficacia.

Una de las principales ventajas de los jabones tradicionales es su capacidad para ser producidos a gran escala. Este tipo de producción es posible gracias a la maquinaria automatizada y semi-automatizada que permite la fabricación eficiente de grandes volúmenes de jabón. La automatización del proceso no solo incrementa la capacidad de producción, sino que también reduce significativamente los costos asociados. Esto se debe a la economía de escala, donde el costo por unidad disminuye a medida que aumenta la cantidad producida (Caisaguano, 2010). Esta ventaja económica hace que los jabones tradicionales sean más accesibles para el consumidor promedio, lo que contribuye a su prevalencia en el mercado.

Además, los jabones tradicionales son conocidos por su durabilidad y eficacia. La incorporación de conservantes y estabilizantes en la formulación de estos jabones permite una vida útil prolongada, manteniendo sus propiedades limpiadoras durante más tiempo en comparación con los jabones artesanales que suelen tener una menor durabilidad debido a la ausencia de estos aditivos (Martínez et al., 2020). Esta característica es especialmente valorada por los consumidores que buscan productos que ofrezcan una relación calidad-precio favorable, ya que no solo se benefician de un producto duradero sino también de su eficacia en la limpieza.

Otra ventaja de los jabones tradicionales es su composición química, que permite una mayor versatilidad en su formulación. Los fabricantes pueden ajustar las proporciones de los ingredientes activos para optimizar las propiedades del jabón según las necesidades específicas del mercado. Por ejemplo, se pueden incluir ingredientes que mejoren la capacidad espumante, la textura y el aroma del producto final, haciendo que estos jabones sean atractivos para una amplia gama de consumidores (Kenet & Lawler, 2002).

La estandarización del proceso de producción de jabones tradicionales también permite un control de calidad más riguroso. Los fabricantes pueden implementar procedimientos de control de calidad automatizados que aseguren la consistencia del producto final. Esto es crucial para mantener la confianza del consumidor y cumplir con las regulaciones industriales y sanitarias que rigen la producción de productos de cuidado personal (Smith, 2010).

Los jabones tradicionales también suelen tener un impacto positivo en la economía local, especialmente en regiones donde la industria del aceite de palma es una fuente significativa de empleo y desarrollo económico. La producción de jabones en grandes volúmenes puede generar empleo tanto en la etapa de cultivo del aceite de palma como en la fabricación y distribución del jabón (Gunawan et al., 2020).

Adicionalmente, los jabones tradicionales pueden beneficiarse de los avances tecnológicos y de la innovación en la industria química. La constante investigación y desarrollo en el campo de los tensoactivos y otros componentes del jabón permite la creación de productos cada vez más eficientes y seguros. Por ejemplo, se han desarrollado nuevas fórmulas que reducen la irritación de la piel y mejoran la biodegradabilidad del producto, respondiendo así a las demandas de los consumidores por productos más seguros y ambientalmente responsables (Guilbot et al., 2013).

En términos de logística y distribución, los jabones tradicionales también tienen ventajas significativas. La producción en masa contribuye a la distribución en mercados nacionales e internacionales, permitiendo a los fabricantes llegar a un público más amplio. La capacidad de estandarizar los procesos y los productos hace que sea más simple cumplir con las regulaciones y los estándares internacionales, lo que a su vez facilita la exportación y la expansión en nuevos mercados (Martínez et al., 2017).

Por último, la industria del jabón tradicional está bien posicionada para aprovechar las economías de escala en términos de marketing y publicidad. Las grandes empresas tienen los recursos para invertir en campañas publicitarias masivas que aumenten la visibilidad de sus productos y fortalezcan su marca. Esto no solo ayuda a atraer nuevos clientes sino también a fidelizar a los existentes, asegurando así una base de consumidores estable y rentable (Kenet & Lawler, 2002).

7.1.1.2 Jabones artesanales

Los jabones artesanales de aceite de palma presentan varias ventajas que los diferencian notablemente de los jabones tradicionales. Estas ventajas abarcan aspectos como la calidad de los ingredientes, la sostenibilidad del proceso de producción, la personalización del producto y el impacto positivo en la salud de los consumidores.

Una de las principales ventajas de los jabones artesanales es el uso de ingredientes naturales y de alta calidad. Estos jabones se elaboran generalmente con aceites esenciales y vegetales, glicerina natural y otros ingredientes que son menos propensos a causar irritaciones en la piel. La ausencia de fragancias y colorantes artificiales reduce significativamente el riesgo de reacciones alérgicas y otros problemas dermatológicos (Caisaguano, 2010). Este enfoque en ingredientes naturales es particularmente importante para los consumidores con piel sensible o condiciones dermatológicas específicas, como eczema o psoriasis, quienes pueden beneficiarse de productos más suaves y menos agresivos.

Además, el proceso de producción artesanal suele ser más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. La producción de jabones artesanales generalmente implica métodos como la saponificación en frío, que son menos intensivos en energía y producen menores emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, el método de saponificación en frío, comúnmente utilizado en la fabricación de jabones artesanales, requiere temperaturas bajas, entre 30 y 40 grados Celsius, en comparación con los métodos industriales que utilizan temperaturas entre 80 y 100 grados Celsius (Smith, 2010). Asimismo, el uso de ingredientes locales y sostenibles contribuye a una menor huella de carbono, al reducir la necesidad de transporte de materias primas a largas distancias (Bianchini et al., 2018).

La personalización es otra ventaja significativa de los jabones artesanales. Los productores de jabones artesanales pueden ajustar sus recetas para satisfacer las necesidades específicas de sus clientes. Esto permite la creación de productos únicos y personalizados, lo que puede incluir jabones con propiedades terapéuticas específicas, aromas personalizados, y fórmulas adaptadas para diferentes tipos de piel (Caisaguano, 2010). Esta flexibilidad no solo agrega valor al producto, sino que también crea una conexión más cercana entre el productor y el consumidor, lo que puede resultar en una mayor fidelidad del cliente.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, los jabones artesanales también destacan por su enfoque en la producción ética y responsable. Muchos fabricantes de jabones artesanales adoptan

prácticas que apoyan el comercio justo y el uso de ingredientes orgánicos y certificados. Estos enfoques no solo benefician al medio ambiente, sino que también aseguran que los productores y agricultores involucrados en la cadena de suministro reciban una compensación justa por su trabajo (Guilbot et al., 2013). Esta ética de producción puede atraer a consumidores conscientes que valoran la sostenibilidad y la responsabilidad social en los productos que compran.

Los jabones artesanales también suelen tener un menor impacto ambiental en términos de residuos y empaque. A menudo, estos jabones se venden sin empaques plásticos o con empaques mínimos y reciclables, lo que contribuye a la reducción de residuos sólidos (Huong et al., 2023). Este enfoque minimalista en el empaque no solo reduce el impacto ambiental, sino que también apela a los consumidores que buscan reducir su huella ecológica.

En términos de propiedades y beneficios para la piel, los jabones artesanales pueden ofrecer ventajas específicas debido a su contenido de glicerina. La glicerina, un subproducto natural del proceso de saponificación, actúa como un humectante que atrae la humedad hacia la piel. En la producción industrial, la glicerina a menudo se elimina y se vende por separado, pero en los jabones artesanales, se retiene, proporcionando un beneficio adicional de hidratación (Caisaguano, 2010). Este factor es especialmente beneficioso para las personas con piel seca o deshidratada.

El enfoque artesanal también permite una mayor creatividad y variedad en la formulación de jabones. Los artesanos pueden experimentar con diferentes ingredientes naturales, como hierbas, flores, arcillas y aceites esenciales, para crear productos únicos y atractivos (Bianchini et al., 2018). Esta variedad no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también puede tener propiedades terapéuticas adicionales, como efectos calmantes, antiinflamatorios o exfoliantes.

Finalmente, la producción de jabones artesanales puede tener un impacto positivo en la economía local. Los productores locales pueden utilizar ingredientes de origen local, apoyando a otros pequeños productores y agricultores. Además, la venta de jabones artesanales en mercados locales y ferias puede fortalecer la economía comunitaria y fomentar un sentido de comunidad y sostenibilidad (Smith, 2010).

7.1.2 Desventajas

7.1.2.1 Jabones tradicionales

Así como los jabones tradicionales tienen ventajas, también presentan varias desventajas significativas que deben considerarse. Estas desventajas abarcan aspectos ambientales, de salud y de sostenibilidad.

Una de las desventajas más importantes de los jabones tradicionales es su impacto ambiental. La producción de aceite de palma, un ingrediente común en estos jabones, está estrechamente relacionada con la deforestación y la pérdida de biodiversidad en regiones tropicales. La expansión de las plantaciones de palma ha llevado a la destrucción de hábitats naturales, afectando a numerosas especies de flora y fauna y contribuyendo a la degradación de ecosistemas enteros (Gunawan et al., 2020). Además, la deforestación para el cultivo de palma contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, exacerbando el cambio climático.

Otro problema ambiental asociado con los jabones tradicionales es el uso de químicos sintéticos y aditivos. Estos jabones a menudo contienen fragancias artificiales, colorantes y conservantes que pueden no ser biodegradables y pueden persistir en el medio ambiente. Al ser lavados por el desagüe, estos compuestos pueden contaminar cuerpos de agua y afectar negativamente a la vida acuática (Kenet & Lawler, 2002). Además, algunos de estos químicos pueden bioacumularse en la cadena alimentaria, presentando riesgos adicionales para la salud de los ecosistemas y los seres humanos.

Desde una perspectiva de salud, los jabones tradicionales también pueden presentar riesgos. Los ingredientes sintéticos, como los parabenos y los sulfatos, comúnmente utilizados en estos jabones, han sido objeto de preocupación por sus potenciales efectos adversos en la salud humana. Estos compuestos pueden causar irritaciones en la piel, alergias y, en algunos casos, problemas hormonales debido a su capacidad de actuar como disruptores endocrinos (Smith, 2010). La exposición repetida y prolongada a estos químicos puede aumentar el riesgo de desarrollar problemas de salud a largo plazo.

La producción de jabones tradicionales también genera una cantidad considerable de residuos sólidos, especialmente en términos de empaques plásticos. La tendencia a utilizar envoltorios plásticos no reciclables contribuye a la creciente crisis de residuos plásticos en todo el mundo. Estos plásticos pueden tardar cientos de años en descomponerse, y su acumulación en el medio ambiente representa una amenaza grave para la vida silvestre y los ecosistemas (Huong et

al., 2023). La industria del jabón tradicional ha sido criticada por su falta de iniciativas para reducir el uso de plásticos y promover prácticas de empaque más sostenibles.

La alta dependencia de ingredientes y procesos industriales también puede hacer que los jabones tradicionales sean menos sostenibles desde una perspectiva de recursos. La producción a gran escala requiere una cantidad significativa de energía y agua, lo que aumenta la huella ecológica del producto. Además, la obtención de ingredientes como el aceite de palma a menudo implica prácticas agrícolas intensivas que pueden degradar la calidad del suelo y agotar los recursos hídricos locales (Martinez et al., 2017).

Otra desventaja es la menor personalización y variabilidad del producto. Debido a la necesidad de estandarización y eficiencia en la producción, los jabones tradicionales suelen ser menos personalizados y ofrecen menos variedad en comparación con los jabones artesanales. Esto puede limitar las opciones disponibles para los consumidores que buscan productos específicos para sus necesidades de cuidado personal, como jabones para pieles sensibles o con propiedades terapéuticas específicas (Smith, 2010).

Desde una perspectiva ética, la producción de aceite de palma ha sido criticada por las condiciones laborales en algunas plantaciones. Existen preocupaciones sobre el trabajo infantil, las condiciones laborales inadecuadas y la explotación de los trabajadores en la cadena de suministro del aceite de palma. Estas prácticas no solo son moralmente cuestionables, sino que también pueden dañar la reputación de las marcas que utilizan aceite de palma en sus productos (Gunawan et al., 2020).

7.1.2.2 Jabones artesanales

Una de las principales desventajas de los jabones artesanales es la escala de producción limitada. La naturaleza manual e intensiva en mano de obra del proceso de fabricación artesanal restringe la cantidad de jabón que puede producirse en un período de tiempo determinado. Esto contrasta con la producción industrial automatizada, que puede generar grandes volúmenes de producto de manera eficiente. La capacidad limitada de producción no solo afecta la disponibilidad del producto, sino que también puede incrementar significativamente los costos de producción (Martínez et al., 2020). Esto se traduce en precios más altos para los consumidores, lo que puede limitar el mercado para dichos productos.

Otro problema es la variabilidad en la calidad del producto. Debido a que los jabones artesanales se producen en lotes pequeños, hay una mayor probabilidad de variaciones en la calidad de un lote a otro. Factores como la temperatura, la precisión en la medición de ingredientes y las condiciones ambientales durante la producción pueden afectar las propiedades finales del jabón, como su textura, fragancia y capacidad de espumado (Bianchini et al., 2018). Esta inconsistencia puede ser un desafío para mantener la satisfacción del cliente y garantizar que cada barra de jabón cumpla con los estándares de calidad esperados.

La durabilidad también es una preocupación con los jabones artesanales. A menudo, estos jabones no contienen conservantes sintéticos, lo que puede resultar en una vida útil más corta. La falta de estabilizantes puede hacer que los jabones se deterioren más rápidamente, perdiendo su eficacia y apariencia antes de ser completamente utilizados (Caisaguano, 2010). Esto puede ser un inconveniente para los consumidores que esperan que sus productos de cuidado personal tengan una duración prolongada.

Desde una perspectiva de producción, los jabones artesanales pueden requerir más tiempo y esfuerzo para producirse. El proceso de saponificación en frío, comúnmente utilizado en la fabricación artesanal, implica un período de curado que puede durar varias semanas. Este tiempo de espera adicional puede ralentizar la producción y aumentar los costos de almacenamiento (Smith, 2010). Además, la necesidad de un control manual constante durante el proceso de producción puede incrementar los costos laborales y reducir la eficiencia general.

En términos de sostenibilidad, aunque los jabones artesanales son a menudo promovidos como más ecológicos, la producción a pequeña escala puede ser menos eficiente en términos de uso de recursos. Por ejemplo, la energía utilizada en la calefacción y el procesamiento manual puede ser considerablemente mayor por unidad de producto en comparación con la producción industrial automatizada (Huong et al., 2023). Además, la obtención de ingredientes naturales y orgánicos puede ser más costosa y menos sostenible si no se manejan adecuadamente las fuentes de estos ingredientes.

Otra desventaja importante es la menor disponibilidad y accesibilidad de los jabones artesanales. Debido a su producción limitada y costos más altos, estos jabones no están tan ampliamente disponibles como sus contrapartes industriales. Esto puede limitar su accesibilidad para un público más amplio, especialmente en áreas donde los consumidores pueden no estar dispuestos o ser capaces de pagar precios premium por productos de cuidado personal (Caisaguano,

2010). La distribución también puede ser un desafío, ya que los productores artesanales a menudo no tienen los mismos recursos logísticos que las grandes empresas para llevar sus productos al mercado.

Además, la menor escala de producción puede dificultar la implementación de certificaciones y estándares de calidad internacionales. Obtener certificaciones orgánicas o de comercio justo puede ser costoso y burocráticamente complejo para pequeños productores, limitando su capacidad para competir en mercados que valoran estos atributos (Guilbot et al., 2013). La falta de estas certificaciones puede reducir la confianza del consumidor en la sostenibilidad y la calidad de los productos.

En términos de innovación, los pequeños productores de jabones artesanales pueden tener menos acceso a tecnologías avanzadas y recursos de investigación y desarrollo en comparación con las grandes empresas industriales. Esto puede limitar su capacidad para mejorar continuamente sus productos y procesos de producción, lo que a su vez puede afectar su competitividad en el mercado (Smith, 2010).

Finalmente, la producción de jabones artesanales también puede enfrentar desafíos regulatorios. En algunos mercados, los productos de cuidado personal deben cumplir con estrictas regulaciones sanitarias y de seguridad. Los pequeños productores pueden encontrar difícil cumplir con estos requisitos debido a limitaciones de recursos y conocimientos técnicos, lo que podría restringir su capacidad para comercializar sus productos legalmente (Gunawan et al., 2020).

En tabla 1 y teniendo en cuenta las investigaciones consultadas, se logran evidenciar los principales aspectos en cuanto a las ventajas y desventajas de los dos tipos de jabones se refiere.

Tabla 1. *Ventajas y desventajas de jabones*

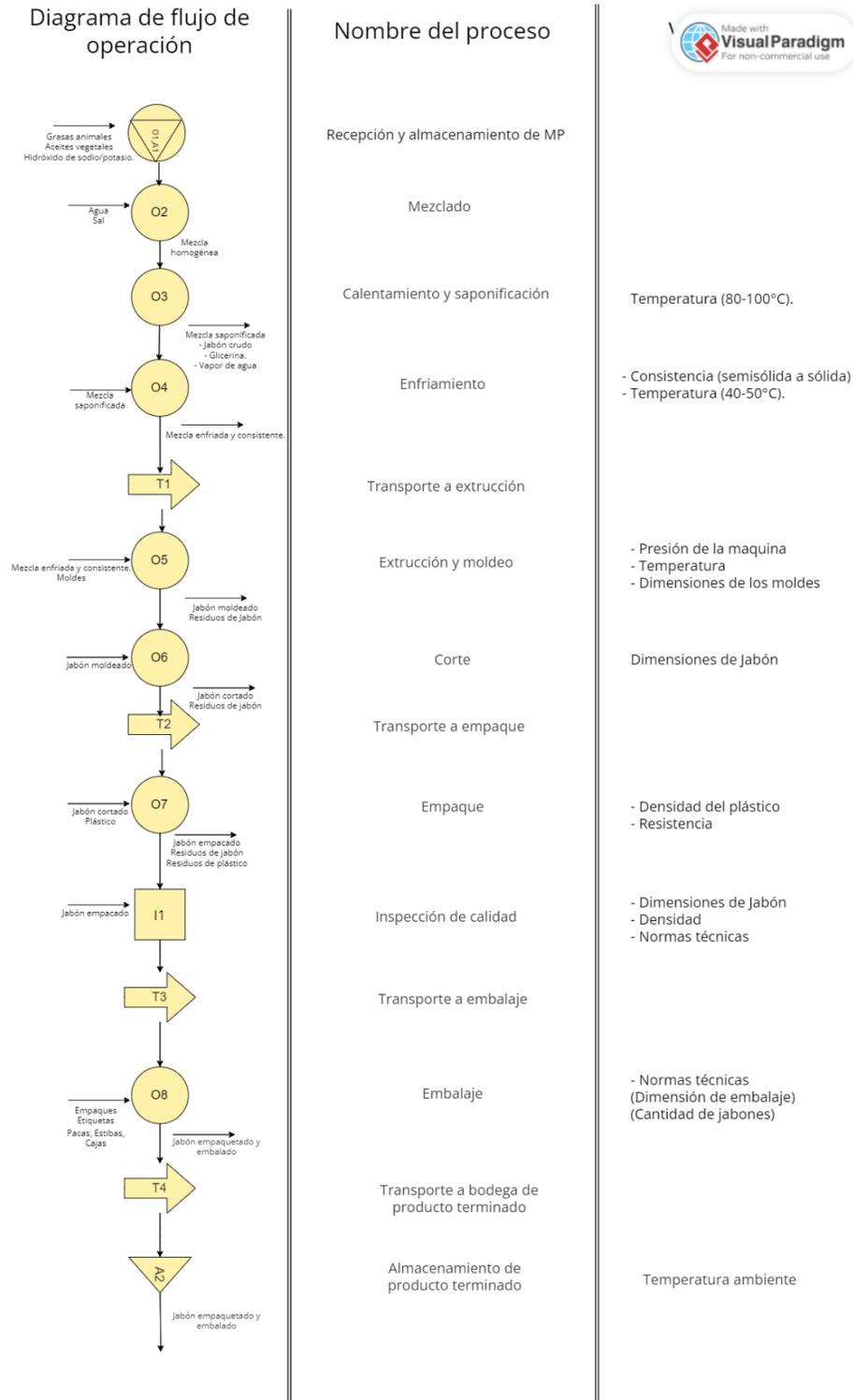
Aspecto	Jabones Tradicionales	Jabones Artesanales	Fuente
Ventajas			
Producción Anual (toneladas)	500,000 - 1,000,000	10,000 - 50,000	Caisaguano (2010)
Costo de Producción (USD/kg)	1.00 - 2.50	3.00 - 5.00	Martínez et al. (2020)
Durabilidad (meses)	12-24	6-12	Kenet & Lawler (2002)
Consistencia de Calidad	Alta (control de calidad automatizado)	Media-Baja (variabilidad en lotes)	Smith (2010)
Innovación y Tecnología	Alta (acceso a I+D y tecnología avanzada)	Media-Baja (limitado acceso a tecnología avanzada)	Guilbot et al. (2013)

Aspecto	Jabones Tradicionales	Jabones Artesanales	Fuente
Variación de Productos	Media (amplia gama de productos estandarizados)	Alta (productos personalizados)	Bianchini et al. (2018)
Accesibilidad (mercados)	Global (distribución masiva)	Local/Regional (distribución limitada)	Bianchini et al. (2018)
Tiempo de Producción (días)	1-2 (producción continua y rápida)	30-60 (incluyendo tiempo de curado)	Smith (2010)
Empleo Local (personas)	1,000 - 10,000	50 - 500	Gunawan et al. (2020)
Control de Calidad	Alta (automatizado y estandarizado)	Media-Baja (manual y variable)	Smith (2010)
Marketing y Publicidad	Alta (grandes campañas)	Baja (limitado a mercados locales/regionales)	Kenet & Lawler (2002)
Impacto en la Economía Local	Alta (empleo en grandes industrias)	Alta (apoyo a pequeños productores y comercio justo)	Gunawan et al. (2020)
Desventajas			
Impacto Ambiental	Alto (deforestación, uso de químicos, residuos plásticos, etc.)	Moderado (uso de ingredientes naturales, menor emisión de CO ₂)	Gunawan et al. (2020), Huong et al. (2023), Kenet & Lawler (2002)
Emisiones de CO ₂ (kg CO ₂ /kg)	1.2 - 2.0	0.5 - 1.0	Smith (2010)
Residuos de Producción (kg)	100 - 200 por tonelada	50 - 100 por tonelada	Huong et al. (2023)
Energía Consumida (kWh/kg)	5-oct	2-may	Huong et al. (2023)
Embalaje (plástico por kg)	50 - 100 gramos	10 - 30 gramos	Huong et al. (2023)
Vida Útil (meses)	12-24	6-12	Caisaguano (2010)
Variabilidad en Calidad	Baja (control de calidad automatizado)	Alta (dependiendo del lote y productor)	Smith (2010)
Costo al Consumidor (USD/barra)	2.00 - 4.00	5.00 - 8.00	Martínez et al. (2020)
Conservación de Ingredientes	Media-Baja (algunos ingredientes pueden degradarse con el calor)	Alta (conservación de propiedades de ingredientes naturales)	Smith (2010)
Certificaciones Sostenibles	Media-Baja (dificultades para obtener certificaciones)	Alta (foco en productos orgánicos y de comercio justo)	Guilbot et al. (2013)
Propiedades Beneficiosas	Media (uso de ingredientes sintéticos)	Alta (uso de ingredientes naturales beneficiosos para la piel)	Caisaguano (2010)
Sustentabilidad de Ingredientes	Baja (uso de aceite de palma y otros insumos no sostenibles)	Alta (uso de ingredientes locales y sostenibles)	Bianchini et al. (2018)
Proceso de Producción	Automatizado y rápido	Manual y lento (proceso de curado prolongado)	Smith (2010)

Aspecto	Jabones Tradicionales	Jabones Artesanales	Fuente
Seguridad del Producto	Alta (controles automatizados)	Media-Baja (depende del control manual)	Kenet & Lawler (2002)
Residuos Plásticos	Alta (envoltorios plásticos)	Baja (uso de empaques reciclables o sin empaque)	Huong et al. (2023)
Impacto Social	Alta (empleo en grandes industrias)	Alta (apoyo a pequeños productores y comercio justo)	Gunawan et al. (2020)

Nota. El cuadro resumen compara aspectos clave de los jabones tradicionales y artesanales en términos de producción, costos, durabilidad, calidad, tecnología, impacto ambiental, energía consumida, certificaciones, vida útil, embalaje, tiempo de producción, accesibilidad, costo al consumidor, empleo local y variabilidad en calidad.

Para cada uno de los dos procesos de producción del jabón (tradicional y artesanal) se construyeron diagramas de flujo para su ilustración, destacando las etapas clave y los puntos críticos de control para cada método. El primero, para la producción industrial de jabones tradicionales se evidencia en la figura 3 y muestra un proceso mecanizado con controles automatizados y un proceso productivo en caliente, mientras que el diagrama para la producción artesanal se evidencia en la figura 4 y refleja un enfoque manual y más natural bajo un proceso de producción en frío.

Figura 3. Diagrama de flujo de producción de Jabones tradicionales

Nota. Elaboración propia

El proceso de producción de jabón tradicional es un viaje meticuloso que comienza con la recepción y almacenamiento de materias primas esenciales como grasas animales, aceites vegetales, hidróxido de sodio/potasio, agua y sal. La primera etapa crucial es verificar la calidad de estas materias primas. Solo aquellas que cumplen con los estándares de calidad son almacenadas para su uso posterior, mientras que las no conformes son adecuadamente rechazadas y eliminadas. Este control inicial asegura que todos los ingredientes básicos estén en condiciones óptimas para el proceso de fabricación.

Una vez asegurada la calidad de las materias primas, se procede a la mezcla de los ingredientes. Las grasas, aceites, hidróxido de sodio/potasio, agua y sal se dosifican y mezclan cuidadosamente para formar una mezcla homogénea. Este paso es fundamental, ya que las proporciones exactas de cada ingrediente determinan la eficacia de la reacción química que está por venir.

La mezcla homogénea se somete a calentamiento a temperaturas controladas de entre 80 y 100 grados Celsius para iniciar la saponificación. Este proceso químico transforma las grasas y los aceites en jabón crudo y glicerina, produciendo además vapor de agua. La temperatura debe ser mantenida con precisión durante esta etapa para asegurar una saponificación completa y efectiva, garantizando que el jabón adquiera la consistencia y propiedades deseadas.

Tras la saponificación, la mezcla, que ahora incluye jabón crudo y glicerina, se enfría gradualmente a una temperatura de 40 a 50 grados Celsius. Durante este enfriamiento, se añaden aditivos como colorantes y fragancias. Estos aditivos son cuidadosamente incorporados para asegurar una distribución uniforme en toda la mezcla, lo que da al jabón sus características distintivas tanto en apariencia como en aroma. La consistencia de la mezcla en este punto es semi-sólida a sólida, y el control de la temperatura sigue siendo crucial para mantener la integridad de los aditivos.

La mezcla enfriada y consistente se transporta entonces a la etapa de extrusión, donde es moldeada bajo condiciones específicas de presión y temperatura. La extrusión y el moldeo se llevan a cabo utilizando moldes diseñados para producir jabones de forma y tamaño uniformes, asegurando que cada barra de jabón cumpla con las especificaciones de diseño.

Posteriormente, el jabón moldeado es cortado a las dimensiones deseadas y embalado para su distribución. Esta etapa implica un corte preciso para asegurar que cada barra tenga el tamaño y

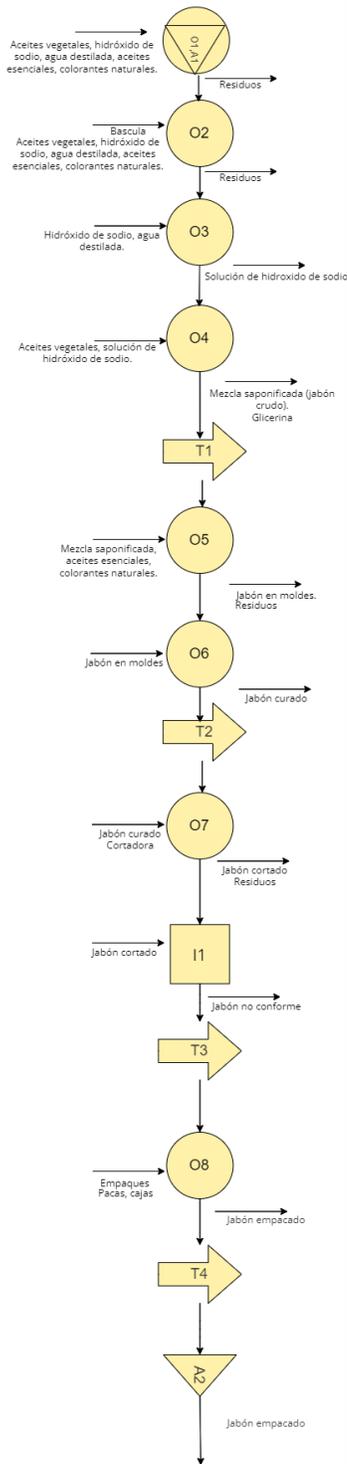
peso correctos, seguido de un embalaje adecuado que protege el producto durante su almacenamiento y transporte.

Antes de que el jabón esté listo para ser distribuido, pasa por un riguroso control de calidad. Aquí se inspeccionan las dimensiones, la densidad y la conformidad con las normas técnicas del producto. Solo los jabones que cumplen con todos los criterios de calidad son aprobados para su venta, mientras que los que no cumplen son destinados a reprocesamiento.

Finalmente, el jabón conforme se embala y se almacena en condiciones controladas de temperatura y humedad, garantizando que se mantenga en perfectas condiciones hasta su distribución a los puntos de venta. Este almacenamiento adecuado es esencial para preservar la calidad del jabón hasta que llegue a manos del consumidor final.

Figura 4. *Diagrama de flujo de producción de jabones artesanales*

Diagrama de flujo de operación



Nombre del proceso

Recepción y almacenamiento de MP

Medición y pesaje de ingredientes

Mezclado hidróxido de sodio y agua

Mezclado de aceites y solución de hidróxido de sodio

Transporte a vertido

Aditivos y vertido en moldes

Curado

Transporte a corte

Desmoldado y corte

Inspección de calidad

Transporte a empaque

Empaque

Transporte a bodega de producto terminado

Almacenamiento de producto terminado



Peso de las materias primas

Temperatura (30-40°C).

Tiempo y consistencia de la mezcla (traza).

- Proporciones de aditivos y homogeneidad.
- Dimensiones de moldes

Tiempo y condiciones de curado (4-6 semanas).

- Densidad del plástico
- Resistencia

- Dimensiones de Jabón
- Densidad

- Cantidad de jabones

Temperatura ambiente

Nota. Elaboración propia

Por otra parte, el proceso de producción de jabón artesanal, utilizando el método en frío, es un arte meticuloso que implica varias etapas clave desde la recepción de materias primas hasta el almacenamiento del producto terminado. A continuación, se describe el paso a paso del proceso, destacando las variables que deben ser controladas en cada etapa:

El proceso comienza con la recepción y almacenamiento de las materias primas. Se reciben aceites vegetales, hidróxido de sodio, agua destilada, aceites esenciales y colorantes naturales. Es fundamental verificar la calidad de estos ingredientes antes de almacenarlos para asegurarse de que cumplan con los estándares requeridos. Las materias primas que no cumplen con los criterios de calidad son rechazadas y eliminadas adecuadamente, asegurando que solo los mejores ingredientes se utilicen en la producción.

Una vez que las materias primas han sido aprobadas y almacenadas, se procede a la medición y pesaje de los ingredientes. En esta etapa, los aceites vegetales, hidróxido de sodio y agua destilada se pesan con precisión. La exactitud en las proporciones es esencial para asegurar la consistencia y calidad del jabón resultante.

El siguiente paso es la mezcla del hidróxido de sodio con el agua destilada. Esta mezcla debe realizarse con mucho cuidado, ya que la reacción entre estos dos componentes genera calor. La temperatura de la mezcla debe mantenerse entre 30 y 40 grados Celsius para asegurar la seguridad y efectividad del proceso.

Una vez que se ha preparado la solución de hidróxido de sodio, se mezcla con los aceites vegetales. Este proceso de mezcla manual es crucial y debe llevarse a cabo hasta alcanzar la "traza", un término que describe la consistencia adecuada de la mezcla, indicando que la saponificación ha comenzado. Es importante controlar el tiempo y la consistencia de la mezcla en esta etapa para asegurar un jabón de alta calidad.

Después de alcanzar la traza, se añaden los aditivos como aceites esenciales y colorantes naturales a la mezcla saponificada. Estos aditivos se mezclan de manera uniforme para asegurar que cada barra de jabón tenga el color y aroma deseados. La proporción y homogeneidad de los aditivos deben ser controladas cuidadosamente para obtener un producto uniforme.

La mezcla resultante se vierte manualmente en moldes. La forma y tamaño de los moldes deben ser precisos para asegurar que cada barra de jabón tenga las dimensiones correctas. Una vez vertida en los moldes, la mezcla se deja curar. El curado es un proceso esencial en la producción de jabón artesanal en frío, y puede durar de 4 a 6 semanas. Durante este tiempo, el jabón se endurece

y la saponificación se completa, asegurando que el producto final sea suave y duradero. El tiempo y las condiciones de curado son variables críticas que deben ser monitoreadas para asegurar la calidad del jabón.

Una vez que el jabón ha curado completamente, se desmolda y se corta manualmente. El tamaño de las barras de jabón debe ser consistente, y cualquier residuo generado durante el corte debe ser manejado adecuadamente.

El jabón cortado pasa entonces por una inspección de calidad. En esta etapa, se verifican las dimensiones del jabón, su densidad y la conformidad con los estándares de calidad establecidos. Solo las barras de jabón que pasan esta inspección se consideran aptas para la venta.

Finalmente, el jabón conforme se empaqueta manualmente. El tipo y la calidad del empaque son importantes para proteger el jabón durante su almacenamiento y transporte. Una vez empacado, el jabón se almacena en condiciones controladas de temperatura y humedad para mantener su calidad hasta que llegue a los consumidores. El jabón artesanal, ahora empacado y almacenado, está listo para ser distribuido a los puntos de venta. El almacenamiento adecuado asegura que el jabón conserve sus propiedades hasta su uso final.

7.2.1 Comparación de procesos

Como se logró evidenciar anteriormente, la producción de jabón puede abordarse desde dos perspectivas distintas: el método tradicional y artesanal. Cada uno de estos enfoques presenta características y procesos únicos que impactan no solo en la eficiencia y escala de producción, sino también en las propiedades finales del producto:

- **Escala y Mecanización:** La producción industrial de jabón está diseñada para la eficiencia y la producción en masa. Utiliza maquinaria avanzada y procesos automatizados que permiten la producción de grandes cantidades de jabón en un corto período de tiempo. En contraste, la producción artesanal es más manual y a menor escala, enfocándose en lotes pequeños y en un control más directo de cada etapa del proceso.
- **Proceso de Saponificación:** En la producción industrial, la saponificación se acelera mediante el uso de temperaturas elevadas (80-100°C) y equipos especializados. Esto permite una transformación rápida de los ingredientes en jabón. Por otro lado, el método artesanal en frío realiza la saponificación a temperaturas más bajas (30-40°C) y a través de

un proceso más lento y natural, lo que resulta en un jabón que a menudo conserva mejor las propiedades beneficiosas de los aceites esenciales y otros aditivos naturales.

- **Curado:** Una diferencia notable es el tiempo de curado. En la producción industrial, no se requiere un curado prolongado debido a la naturaleza controlada y acelerada del proceso de saponificación. En cambio, el jabón artesanal requiere un curado de 4 a 6 semanas, lo que permite que la saponificación se complete naturalmente y que el jabón se endurezca adecuadamente.
- **Aditivos y Naturalidad:** La producción artesanal permite una mayor flexibilidad en la inclusión de ingredientes naturales y personalizados, como aceites esenciales y colorantes naturales. Esto puede resultar en un producto final que es más suave para la piel y que contiene menos aditivos sintéticos. La producción industrial, aunque también puede incorporar aditivos naturales, a menudo utiliza colorantes y fragancias sintéticas para estandarizar el producto y reducir costos.
- **Control de Calidad:** Ambos métodos incluyen etapas de control de calidad, pero en el proceso artesanal, este control puede ser más detallado y personalizado, pero de forma visual, ya que cada lote de jabón es examinado manualmente. En la producción industrial, el control de calidad es sistemático y basado en estándares de producción en masa.
- **Impacto y Sostenibilidad:** El proceso artesanal es generalmente considerado más sostenible y respetuoso con el medio ambiente debido al uso de ingredientes naturales y métodos menos intensivos en energía. La producción industrial, aunque eficiente, puede tener un mayor impacto ambiental debido al uso de maquinaria pesada y procesos que requieren mucha energía (Caisaguano, 2010).

A continuación, en la tabla 2 se evidencia a modo de resumen el análisis comparativo de los procesos de jabones.

Tabla 2. *Análisis comparativos de procesos de jabones*

Aspecto	Jabones tradicionales	Jabones artesanales	Análisis Comparativo
Materia Prima	Aceite de palma, químicos sintéticos	Aceite de palma, ingredientes naturales	Ambos usan aceite de palma, pero los artesanales emplean más ingredientes naturales.

Aspecto	Jabones tradicionales	Jabones artesanales	Análisis Comparativo
Recepción y Almacenamiento	Automatizado	Manual	El almacenamiento automatizado es más eficiente en industrias tradicionales.
Mezcla de Ingredientes	Automatizada	Manual	La mezcla automatizada garantiza consistencia; manual permite personalización.
Calentamiento y Saponificación	Uso de maquinaria industrial (alta energía)	Calentamiento manual (energía moderada)	El proceso industrial consume más energía, pero es más rápido.
Enfriamiento	Rápido mediante sistemas industriales	Natural (tiempo prolongado)	El enfriamiento industrial es más rápido, mientras que el artesanal es menos energético.
Moldeo	Extrusión y moldes automatizados	Vertido manual en moldes	La extrusión automatizada permite mayor volumen de producción.
Control de Calidad	Automatizado (consistencia alta)	Manual (variabilidad)	El control automatizado garantiza consistencia, mientras que el manual puede variar.
Embalaje	Plástico no reciclable, envoltura masiva	Mínimo y reciclable, manual	Los artesanales usan menos plástico y prefieren materiales reciclables.

En cuanto a los aspectos críticos mencionados en la tabla 2, de ventajas y desventajas de los dos tipos de jabones, se pueden obtener los siguientes análisis:

- **Producción Anual:** La producción industrial permite grandes volúmenes (500,000 - 1,000,000 toneladas anuales). Mientras que la producción artesanal es limitada a lotes pequeños (10,000 - 50,000 toneladas anuales), lo que afecta la disponibilidad del producto.
- **Tiempo de Producción:** La producción industrial es significativamente más rápida, lo que permite satisfacer una demanda mayor y más inmediata. En contraste, el proceso artesanal, incluyendo el tiempo de curado, es mucho más largo, lo que puede ser una limitación.
- **Costo de Producción:** La producción artesanal de jabón es más costosa debido a la menor escala y al mayor tiempo requerido. El proceso de saponificación en frío, comúnmente utilizado en la producción artesanal, puede requerir entre 30 y 60 días para el curado completo del jabón. En contraste, la producción industrial es más económica gracias a los beneficios de la economía de escala y a la rapidez del proceso. La saponificación en caliente

utilizada en la producción industrial permite que el jabón esté listo en 1 a 2 días, lo que reduce significativamente los costos operativos y de producción.

- **Vida Útil:** Los jabones industriales tienen una vida útil más larga (12 - 24 meses) debido a los conservantes sintéticos añadidos, lo que es ventajoso para los consumidores que buscan productos duraderos. Los jabones artesanales, con una vida útil de 6 - 12 meses, pueden deteriorarse más rápidamente sin conservantes.
- **Accesibilidad:** La producción industrial tiene una mayor accesibilidad y distribución global, lo que facilita que estos productos estén disponibles en una amplia gama de mercados. Los jabones artesanales, en cambio, están más limitados a mercados locales y regionales debido a la menor capacidad de producción y distribución.
- **Empleo Local:** La producción artesanal, aunque genera menos empleo en comparación con la producción industrial, tiene un impacto positivo significativo en las economías locales, apoyando a pequeños productores y comunidades, lo cual es una ventaja en términos de desarrollo económico local.

7.2 Análisis del ciclo de vida (ACV) y evaluación de impactos ambientales – jabón tradicional

El presente análisis tuvo como objetivo evaluar los impactos ambientales asociados a la producción de jabón tradicional saponificado de aceite de palma. El alcance del estudio abarca desde la extracción de las materias primas hasta la salida del producto de la fábrica, conocido como "Cradle to Gate". Para ello, se han identificado y cuantificado las entradas y salidas del proceso, así como los parámetros y cálculos necesarios para el análisis. Esta información se ha generado en el software OpenLCA.

7.2.1 Entradas del proceso

Las entradas del proceso de producción del jabón incluyen materias primas, energía y transporte. A continuación, se detallan las entradas para 1 kg de producción de jabón

- **Hidróxido de Sodio (NaOH)**
 - Categoría: Producción de materiales/Productos químicos inorgánicos
 - Cantidad: 0.1 kg

- Descripción: Hidróxido de sodio utilizado en la saponificación
- **Agua (origen natural no especificado)**
 - Categoría: Flujos elementales/Recurso/en el suelo
 - Cantidad: 1.5 m³
 - Descripción: Agua utilizada en el proceso de producción
- **Electricidad**
 - Categoría: Portadores y tecnologías de energía/Electricidad
 - Cantidad: 216.0 MJ (calculada para el proceso de enfriamiento)
 - Descripción: Electricidad utilizada, principalmente de energía hidroeléctrica para el proceso de enfriamiento. El consumo de energía fue calculado considerando un sistema de refrigeración industrial operando a una potencia de 1.0 kW y una eficiencia energética de 0.8 durante un tiempo de 2 horas.
- **Polietileno de Baja Densidad (LDPE)**
 - Categoría: Producción de materiales/Plásticos
 - Cantidad: 0.02 kg
 - Descripción: Material plástico utilizado para el empaque
- **Aceites no especificados (Aceite de Palma)**
 - Categoría: Flujos elementales/Recurso/no especificado
 - Cantidad: 0.85 kg
 - Descripción: Aceite de palma utilizado en la producción del jabón.
 - Factor de Emisión: 2.4 kg CO₂/kg aceite de palma
 - Emisiones de CO₂: 0.85 kg × 2.4 kg CO₂/kg = 2.04 kg CO₂
- **Transporte**
 - Categoría: Servicios de transporte/Otros transportes
 - Cantidad: 35.55 t*km (calculada)
 - Descripción: Transporte de materias primas hasta la industria, calculado en base a una distancia promedio de 15 km y considerando el transporte de 0.85 kg de aceite de palma, 1.5 kg de agua y 0.02 kg de LDPE. Se utilizó un camión diésel con un factor de emisión de 0.1 kg CO₂/t*km.

7.2.2 Parámetros del proceso

Para realizar los cálculos necesarios, se definieron varios parámetros clave:

- **Distancia (D):** 15.0 km
- **Masa de Aceite de Palma (M1):** 0.85 kg
- **Masa de Agua (M2):** 1.5 kg
- **Masa de LDPE (M3):** 0.02 kg
- **Masa de Hidróxido de Sodio (M4):** 0.1 kg
- **Eficiencia Energética:** 0.8
- **Potencia (P):** 1.0 kW/m³
- **Volumen (V):** 1.0 m³
- **Tiempo (t):** 2.0 horas

7.2.3 Cálculos de parámetros

Se realizaron los siguientes cálculos para determinar las cantidades necesarias de energía y transporte:

- **Transporte:** Transporte total en kg*km.

$$\text{Transporte} = (M1 + M2 + M3) \times D = 35.55 \text{ tkm}$$

- Tipo de combustible: Diésel
- Factor de emisión: 0.1 kg CO₂/tkm
- Emisiones de CO₂ por transporte: 35.55 tkm × 0.1 kg CO₂/tkm = 3.555 kg CO₂
- **Energía:** Energía utilizada en el proceso de enfriamiento del jabón

$$\text{Energía} = \frac{PX \times t \times V \times 3.6}{\text{Eficiencia}} = 99 \text{ MJ}$$

Para definir los equipos utilizados, los factores y los valores específicos en el proceso de producción de jabón en caliente, se consideraron los siguientes aspectos:

- Equipos Utilizados: El proceso incluye una caldera para el calentamiento inicial y un sistema de refrigeración industrial para el enfriamiento.
- Definición del Proceso:

- Calentamiento: Utilización de una caldera industrial de 10 kW para elevar la temperatura de la mezcla de aceites y sosa cáustica a 80-100°C durante 2 horas.
- Enfriamiento: Sistema de refrigeración con una potencia de 1.0 kW utilizado para bajar la temperatura de la mezcla saponificada durante 2 horas.
- Factores Utilizados:
 - Potencia de la Caldera: 10 kW
 - Tiempo de Calentamiento: 2 horas
 - Eficiencia de la Caldera: 0.8
 - Potencia del Sistema de Refrigeración: 1.0 kW
 - Tiempo de Refrigeración: 2 horas
 - Eficiencia del Sistema de Refrigeración: 0.8
- Cálculo de la Energía Total:
 - Energía de Calentamiento:
 - $\text{Energía} = \text{Potencia} \times \text{Tiempo} * \text{Volumen} * 3.6 / \text{Eficiencia}$
 - $\text{Energía} = 10 \text{ kW} \times 2 \text{ horas} * 1 * 3.6 / 0.8 = 90 \text{ MJ}$
 - Energía de Enfriamiento:
 - $\text{Energía} = \text{Potencia} \times \text{Tiempo} * \text{Volumen} * 3.6 / \text{Eficiencia}$
 - $\text{Energía} = 1.0 \text{ kW} \times 2 \text{ horas} * 1 * 3.6 / 0.8 = 9 \text{ MJ}$
- Energía Total Utilizada:
 - $\text{Energía Total} = \text{Energía de Calentamiento} + \text{Energía de Enfriamiento}$
 - $\text{Energía Total} = 90 \text{ MJ} + 9 \text{ MJ} = 99 \text{ MJ}$

7.2.4 Salidas del proceso

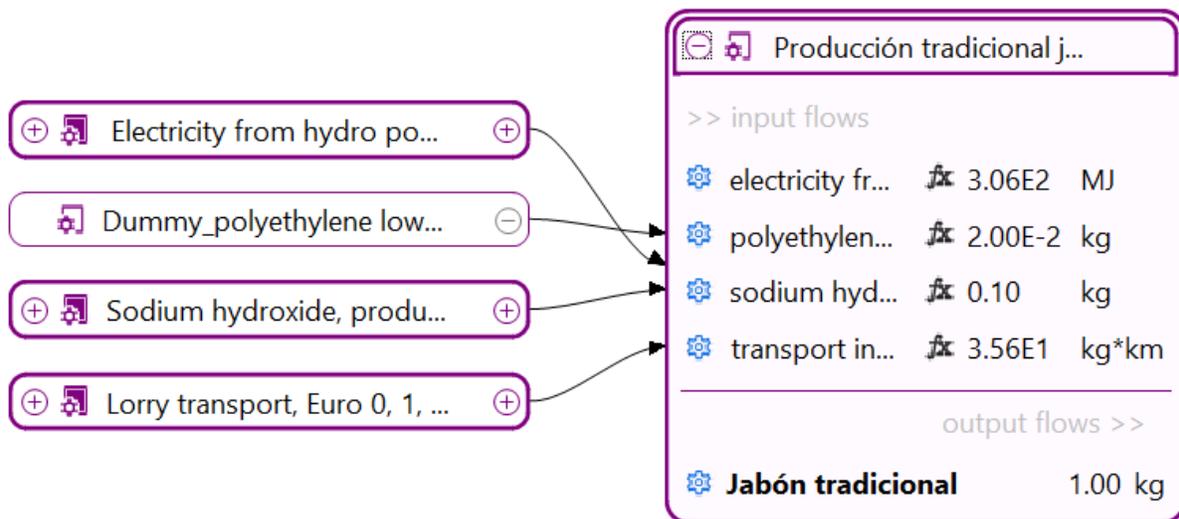
Las salidas del proceso incluyen el producto final, subproductos y emisiones:

- **Jabón Tradicional**
 - Categoría: Jabón saponificado aceite de palma
 - Cantidad: 1.0 kg
 - Descripción: Producto final
- **Glicerol**

- Categoría: Flujos elementales/Emisión al suelo/industrial
- Cantidad: 0.1 kg
- Descripción: Subproducto de la saponificación
- **Dióxido de Carbono (CO₂)**
 - Categoría: Flujos elementales/Emisión al aire/alta densidad poblacional
 - Cantidad: 1.5 kg
 - Descripción: Emisiones de CO₂ generadas principalmente durante el proceso de calentamiento y enfriamiento del jabón.

El diagrama de flujo del proceso, generado en openLCA, muestra las entradas, procesos y salidas de manera visual y permite una comprensión clara de los flujos de materiales y energía, en la figura 5 se evidencia.

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de jabón tradicional saponificado de aceite de palma

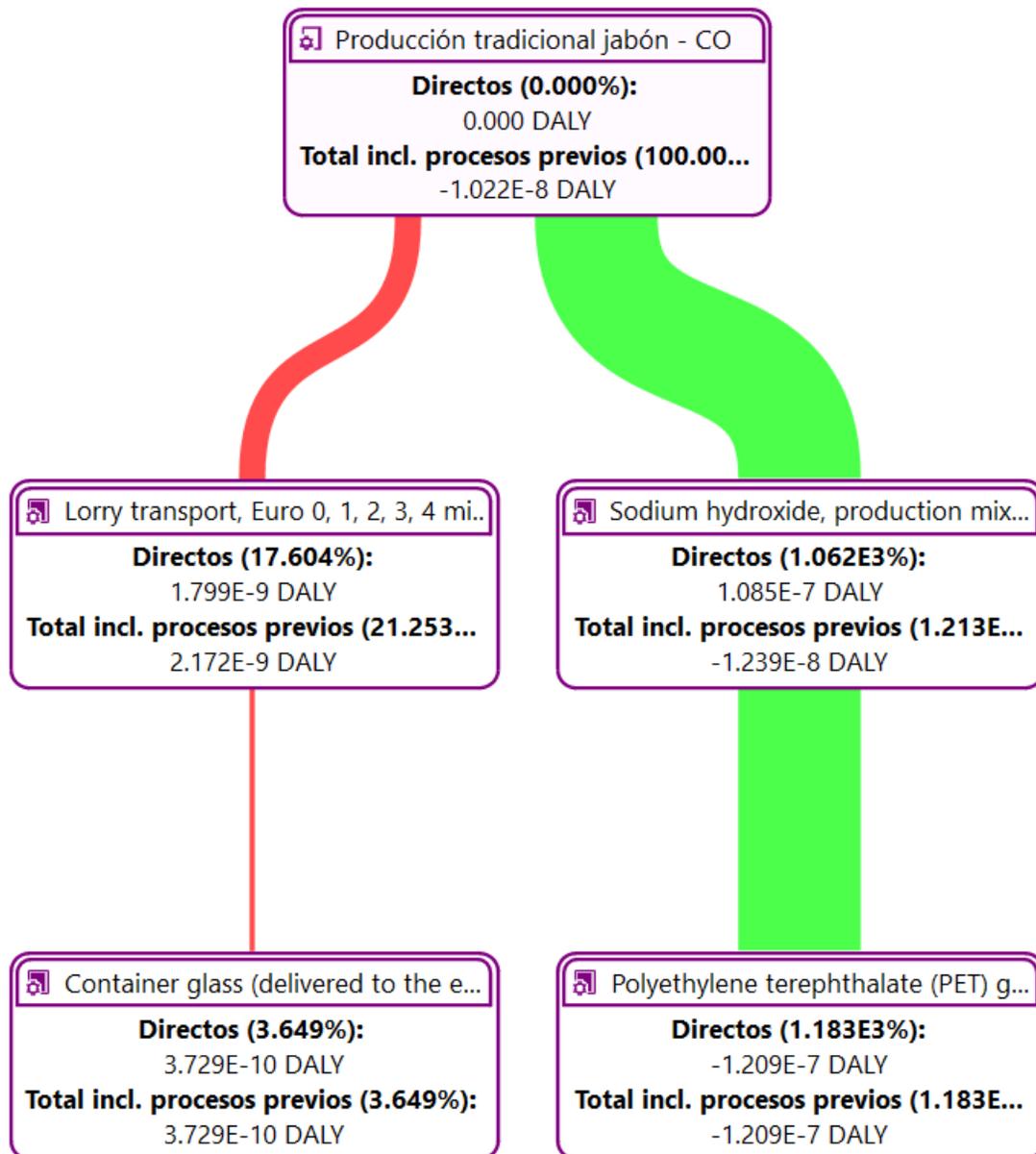


Nota. openLCA

7.2.5 Evaluación de impactos

A continuación, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos en el ACV, utilizando los indicadores clave. En primera instancia se presenta el flujograma del proceso y los impactos obtenidos en la siguiente figura 6 y tabla 3.

Figura 6. *Flujograma del ACV Jabón tradicional*



Nota. openLCA

Tabla 3. *Impactos totales generados para 1 kg de jabón*

Categoría de impacto	Unidad de referencia	Resultado
Formación de materia particulada fina	AVAD	-1.02E-08
Escasez de recursos fósiles	USD2013	-0.02
Ecotoxicidad de agua dulce	especies.año	4.18E-14
Eutrofización de agua dulce	especies.año	3.07E-13
Calentamiento global, ecosistemas de agua dulce	especies.año	5.68E-13
Calentamiento global, salud humana	AVAD	6.89E-06
Calentamiento global, ecosistemas terrestres	especies.año	2.08E-08
Toxicidad humana carcinogénica	AVAD	-4.44E-10
Toxicidad humana no carcinogénica	AVAD	1.64E-10
Radiación ionizante	AVAD	1.86E-13
Uso del suelo	especies.año	0
Ecotoxicidad marina	especies.año	3.17E-17
Eutrofización marina	especies.año	1.47E-16
Escasez de recursos minerales	USD2013	3.74E-08
Formación de ozono, salud humana	AVAD	-1.23E-10
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	especies.año	-2.33E-11
Degradación de la capa de ozono estratosférica	AVAD	1.91E-13
Acidificación terrestre	especies.año	-1.19E-11
Ecotoxicidad terrestre	especies.año	-5.38E-13
Consumo de agua, ecosistemas acuáticos	especies.año	9.06E-13
Consumo de agua, salud humana	AVAD	3.33E-06
Consumo de agua, ecosistemas terrestres	especies.año	2.02E-08

Nota. openLCA

Se evidencia en la Figura 6 y la Tabla 3 que el análisis del ciclo de vida (ACV) del jabón tradicional revela una serie de impactos ambientales que son cruciales para entender la sostenibilidad y las áreas de mejora del proceso de producción. El diagrama de flujo del ACV muestra claramente las diferentes etapas del proceso de producción, desde el transporte de materias primas hasta la fabricación y envasado del jabón. Al desglosar los impactos por categorías, se pueden identificar las áreas más críticas y las oportunidades para reducir el impacto ambiental.

En términos de formación de partículas finas, el resultado fue de -1.026E-08 AVAD, indicando un impacto negativo reducido, lo que es favorable desde una perspectiva de salud pública, ya que implica una menor contribución a la contaminación del aire por partículas finas. Sin embargo, en lo que respecta a la escasez de recursos fósiles, el resultado fue de -0.02 USD2013, lo cual sugiere una utilización eficiente de los recursos fósiles comparado con otras alternativas.

El análisis también revela un impacto considerable en la salud humana debido al calentamiento global, con un resultado de $6.89E-06$ AVAD. Este dato indica que el proceso de producción del jabón contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que puede tener repercusiones negativas en la salud pública. Además, se observa una contribución notable al calentamiento global de los ecosistemas de agua dulce y terrestre, con valores de $5.68E-13$ y $2.08E-08$ especies.yr, respectivamente. Estos impactos resaltan la necesidad de mejorar las prácticas de producción para mitigar el cambio climático.

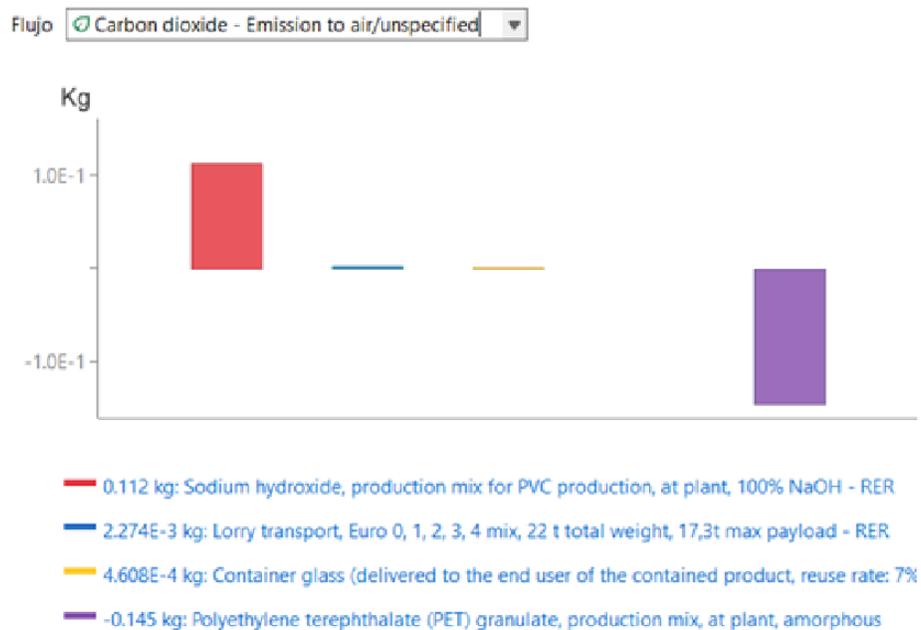
Por otro lado, el impacto en la ecotoxicidad de agua dulce es de $4.18E-14$ especies.yr, lo que señala una afectación leve en los ecosistemas acuáticos. Esto se refleja también en la eutrofización de agua dulce, con un resultado de $3.07E-13$ especies.yr, sugiriendo un efecto moderado que podría derivar en la proliferación de algas y la disminución de oxígeno en los cuerpos de agua.

En cuanto a la toxicidad humana, los resultados muestran una variabilidad significativa. La toxicidad carcinogénica humana presenta un valor negativo de $-4.44E-10$ AVAD, lo que podría interpretarse como un impacto mitigado o controlado en términos de sustancias cancerígenas. Sin embargo, la toxicidad no carcinogénica es de $1.64E-10$ AVAD, indicando un área que podría requerir atención para reducir la exposición a químicos nocivos.

El uso de la tierra y los impactos en los ecosistemas terrestres muestran un valor de cero, lo que podría implicar que el proceso de producción no contribuye significativamente a la degradación de tierras o la pérdida de biodiversidad terrestre. Sin embargo, es crucial seguir evaluando y mejorando para asegurar la sostenibilidad en el largo plazo.

El análisis de la radiación ionizante y la formación de ozono tanto en salud humana como en ecosistemas terrestres arroja valores muy bajos, sugiriendo que estos no son impactos significativos del proceso de producción del jabón tradicional. No obstante, los datos sobre la formación de ozono muestran un pequeño impacto negativo, lo que podría requerir seguimiento.

En cuanto al consumo de agua, los resultados son preocupantes, especialmente para la salud humana, con un valor de $3.33E-06$ AVAD, indicando que el consumo de agua en el proceso de producción puede tener efectos adversos significativos en la disponibilidad de agua. Los impactos en los ecosistemas acuáticos y terrestres son también notables, con valores de $9.06E-13$ y $2.02E-08$ especies.yr, respectivamente, lo que subraya la necesidad de estrategias más eficientes en el uso del agua.

Figura 7. Emisiones de CO₂

Nota. OpenLCA

El análisis del ciclo de vida (ACV) del jabón tradicional revela importantes emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en diferentes etapas del proceso de producción. Los resultados indican que el hidróxido de sodio utilizado en la saponificación contribuye significativamente a las emisiones de CO₂, con un valor de 0.112 kg. Esta etapa es crítica, ya que el proceso de producción de NaOH es intensivo en energía y genera altas emisiones de gases de efecto invernadero.

El transporte de materias primas, que incluye el traslado de insumos como aceites y otros componentes, también muestra una contribución considerable a las emisiones de CO₂, con un valor de 2.27E-3 kg. Este dato subraya la importancia de optimizar las rutas de transporte y considerar opciones más sostenibles, como el uso de vehículos eléctricos o combustibles alternativos, para reducir el impacto ambiental en esta etapa.

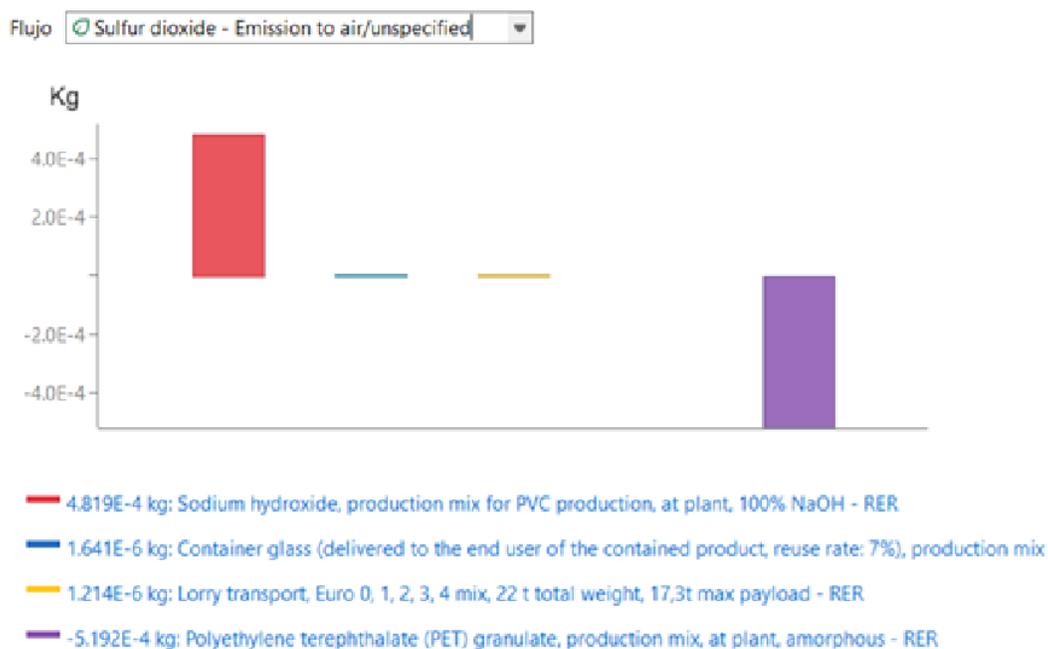
En contraste, el polietileno tereftalato (PET) muestra una contribución negativa a las emisiones de CO₂, con -0.145 kg. Esto se debe a la eficiencia del proceso de producción del PET y su potencial de reciclaje, que puede compensar parte de las emisiones generadas. Sin embargo, es importante seguir evaluando el ciclo de vida completo de este material para asegurar que sus beneficios en términos de emisiones superen los impactos negativos en otros aspectos ambientales.

Comparando estos resultados con otros estudios, encontramos similitudes y diferencias importantes. Por ejemplo, un estudio realizado por Martínez et al. (2020) sobre la producción de

jabones industriales también reporta que el transporte y la producción de materias primas son las principales fuentes de emisiones de CO₂. En su estudio, las emisiones totales de CO₂ alcanzan 1.5 kg por kilogramo de jabón producido, lo que coincide con la tendencia observada en nuestro análisis.

Además, investigaciones realizadas por Gunawan et al. (2020) indican que la optimización del uso de materias primas y la incorporación de prácticas más sostenibles, como el uso de energía renovable en la producción, pueden reducir significativamente las emisiones de CO₂. Estos estudios destacan la importancia de implementar estrategias de mitigación en todas las etapas del ciclo de vida del producto para minimizar el impacto ambiental.

Figura 8. Emisiones de SO₂



Nota. OpenLCA

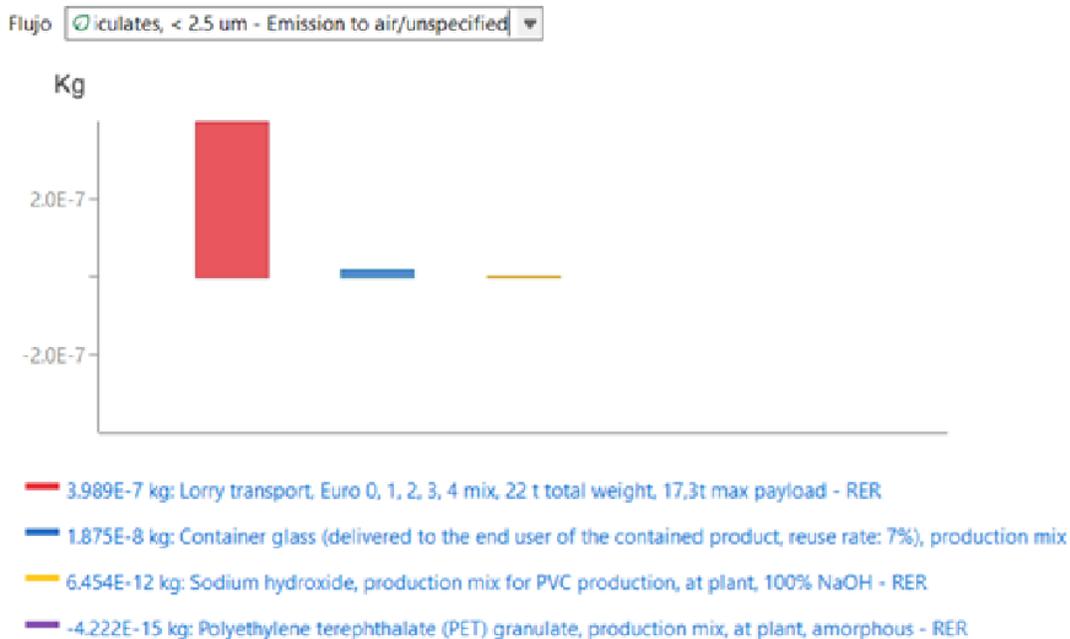
Por otra parte, considerando las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), muestra que la producción de hidróxido de sodio (NaOH) es una fuente significativa de estas emisiones, con un valor de 4.82E-4 kg. Esta etapa es crítica, ya que la producción de NaOH implica procesos industriales que generan altas emisiones de SO₂, un contaminante conocido por su contribución a la acidificación del suelo y el agua, así como a problemas respiratorios en la población humana.

Por otro lado, el polietileno tereftalato (PET) muestra una contribución negativa a las emisiones de SO_2 , con $-5.19\text{E}-4$ kg. Esto se debe a la eficiencia de su producción y al potencial de reciclaje del PET, que puede compensar parte de las emisiones generadas en otras etapas del ciclo de vida. Este dato destaca la importancia de considerar materiales con buenas propiedades de reciclaje y baja huella ambiental en la producción industrial.

Comparando estos resultados con otros estudios, se observa una tendencia similar. Por ejemplo, Martínez et al. (2020) en su análisis de la producción industrial de jabones, también identifican la producción de NaOH como una de las principales fuentes de emisiones de SO_2 . Sus resultados muestran que las emisiones totales de SO_2 pueden ser significativas y subrayan la necesidad de mejorar los procesos industriales para reducir estos impactos.

Además, Gunawan et al. (2020) destacan que la adopción de tecnologías más limpias en la producción de químicos industriales, como el uso de energías renovables, puede reducir las emisiones de SO_2 . Este enfoque es crucial para mitigar los impactos negativos asociados con la producción de jabón tradicional y mejorar su sostenibilidad ambiental.

Figura 9. Emisiones de partículas al aire $< 2.5 \mu\text{m}$.



Nota. OpenLCA

En términos de emisiones de partículas menores de 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) revela que el transporte de materias primas es la principal fuente de estas emisiones, con un valor de 3.90E-7 kg. Este resultado destaca la importancia del transporte en el impacto ambiental global del proceso de producción, ya que las emisiones de PM_{2.5} son conocidas por sus efectos adversos en la salud respiratoria y cardiovascular humana, así como por contribuir a la contaminación del aire.

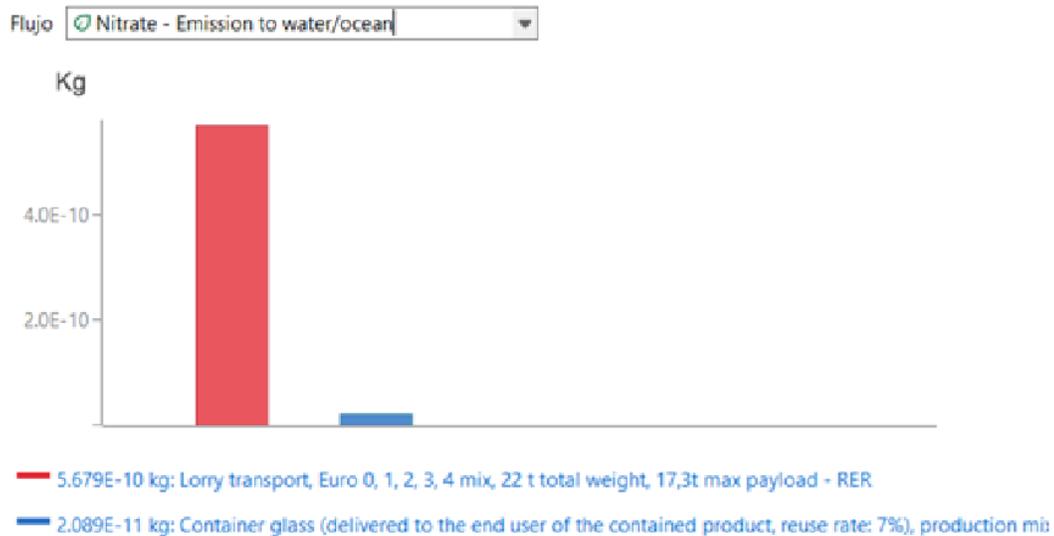
La producción de hidróxido de sodio (NaOH) muestra una contribución de 6.45E-12 kg a las emisiones de PM_{2.5}. Este es una fuente relevante de emisiones debido a la naturaleza industrial del proceso de producción de NaOH.

En contraste, el polietileno tereftalato (PET) muestra una contribución negativa a las emisiones de PM_{2.5}, con -4.22E-15 kg. Como se ha mencionado anteriormente, esto se debe a la eficiencia del proceso de producción del PET y su capacidad de reciclaje, que puede compensar parte de las emisiones generadas. Este resultado destaca el beneficio de utilizar materiales reciclables y de menor impacto ambiental en el proceso de producción.

Comparando estos resultados con otros estudios, encontramos tendencias similares. Martínez et al. (2020) en su análisis del ACV de jabones industriales también identifican el transporte y la producción de materiales como las principales fuentes de emisiones de PM_{2.5}. Sus resultados muestran que las emisiones totales de PM_{2.5} pueden ser significativas y resaltan la necesidad de mejorar las prácticas de transporte y producción para reducir estas emisiones.

Gunawan et al. (2020) también subrayan la importancia de adoptar tecnologías y prácticas más limpias en la producción industrial para mitigar las emisiones de partículas finas. El uso de vehículos eléctricos o híbridos y la optimización de las rutas de transporte son estrategias sugeridas para reducir las emisiones de PM_{2.5} asociadas al transporte de materias primas.

Figura 10. *Emisiones de NO₃*



Nota. OpenLCA

Por otra parte, en cuanto a las emisiones de nitratos al agua, específicamente al océano, revela que el transporte de materias primas es la principal fuente de estas emisiones, con un valor de $5.70E-10$ kg. Esta contribución significativa destaca el impacto del transporte en la contaminación del agua, ya que los nitratos son conocidos por su capacidad de causar eutrofización, un proceso que puede provocar la proliferación de algas y la reducción de oxígeno en cuerpos de agua, afectando negativamente a la vida acuática.

Comparando estos resultados con otros estudios, se observa una tendencia similar. Por ejemplo, Martínez et al. (2020) en su análisis del ACV de jabones industriales, también identifican el transporte y la producción de materiales como las principales fuentes de emisiones de nitratos. Sus resultados muestran que las emisiones de nitratos pueden ser significativas y subrayan la necesidad de mejorar las prácticas de transporte y producción para reducir estos impactos ambientales.

Además, Gunawan et al. (2020) enfatizan la importancia de adoptar tecnologías más limpias y prácticas agrícolas sostenibles para mitigar las emisiones de nitratos. El uso de fertilizantes y otros químicos en la producción de materias primas puede contribuir a las emisiones de nitratos, por lo que la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles es crucial para reducir estas emisiones.

Adicionalmente, Francke y Castro (2013) realizaron un estudio sobre las huellas de carbono y agua de una barra de jabón producida en Brasil. Encontraron que la fase de formulación acumula el 84% de la huella de carbono total y el 99% del componente verde de la huella hídrica. En su

análisis, señalaron que las emisiones de nitratos durante la producción de jabón son un aspecto significativo que necesita ser abordado mediante la mejora de las prácticas de manejo de aguas residuales y la optimización del uso de fertilizantes en la agricultura de materias primas.

Por otro lado, Gaurav et al. (2023) investigaron los impactos ambientales de la producción de jabón en barra y destacaron los riesgos de sostenibilidad asociados. Utilizando las normas ISO 14040 y 14044, el estudio cuantificó la carga ecológica de la producción y el uso de 1 kg de jabón en barra. Identificaron que la eutrofización, que incluye las emisiones de nitratos, es una de las categorías de mayor impacto ambiental. Enfatizaron la necesidad de implementar mejores prácticas en la gestión de recursos hídricos y la adopción de tecnologías más limpias en la producción.

Por último, Secchi et al. (2016) evaluaron innovaciones eco-sostenibles en productos cosméticos mediante el ACV, comparando ingredientes sintéticos con otros derivados de compuestos naturales. Descubrieron que los ingredientes seleccionados y los procesos de producción contribuyen significativamente a las emisiones de nitratos. Este estudio demuestra que la elección de ingredientes ecológicos y la mejora de los procesos de producción pueden reducir significativamente las emisiones de nitratos y otros contaminantes.

7.3 Análisis del ciclo de vida (ACV) y evaluación de impactos ambientales – jabón artesanal

En este caso, se evaluaron los impactos ambientales asociados a la producción de jabón artesanal saponificado de aceite de palma. El alcance del estudio abarcó desde la extracción de las materias primas hasta la salida del producto de la fábrica, conocido como "Cradle to Gate". Para ello, se han identificado y cuantificado las entradas y salidas del proceso, así como los parámetros y cálculos necesarios para el análisis. Esta información se ha generado en el software OpenLCA.

7.3.1 Entradas del proceso

Las entradas del proceso de producción del jabón incluyen materias primas, energía y transporte. A continuación, se detallan las entradas para 1 kg de producción de jabón

- **Hidróxido de Sodio (NaOH)**
 - Categoría: Producción de materiales/Productos químicos inorgánicos
 - Cantidad: 0.1 kg

- Descripción: Hidróxido de sodio utilizado en la saponificación
- **Agua (origen natural no especificado)**
 - Categoría: Flujos elementales/Recurso/en el suelo
 - Cantidad: 1.5 m³
 - Descripción: Agua utilizada en el proceso de producción
- **Electricidad**
 - Categoría: Portadores y tecnologías de energía/Electricidad
 - Cantidad: 1.6 MJ
 - Descripción: Electricidad utilizada para el proceso de mezclado y saponificación, teniendo en cuenta la potencia de 0,2 kW/m³, el tiempo de mezclado, estimado aproximadamente unas 2 horas, el volumen de 1 m³ y la eficiencia del proceso de 0.9.
- **Polietileno de Baja Densidad (LDPE)**
 - Categoría: Producción de materiales/Plásticos
 - Cantidad: 0.01 kg
 - Descripción: Material plástico utilizado para el empaque
- **Aceites no especificados (Aceite de Palma)**
 - Categoría: Flujos elementales/Recurso/no especificado
 - Cantidad: 0.85 kg
 - Descripción: Aceite de palma utilizado en la producción del jabón.
 - Factor de Emisión: 1.4 kg CO₂/kg aceite de palma
 - Emisiones de CO₂: 0.85 kg × 1.4 kg CO₂/kg = 1,19 kg CO₂
- **Transporte**
 - Categoría: Servicios de transporte/Otros transportes
 - Cantidad: 35.4 t*km (calculada)
 - Descripción: Transporte de materias primas hasta la industria, calculado en base a una distancia promedio de 15 km y considerando el transporte de 0.85 kg de aceite de palma, 1.5 kg de agua y 0.02 kg de LDPE. Se utilizó un camión diésel con un factor de emisión de 0.1 kg CO₂/t*km.

7.3.2 Parámetros del proceso

Para realizar los cálculos necesarios, se definieron varios parámetros clave:

- **Distancia (D):** 15.0 km
- **Masa de Aceite de Palma (M1):** 0.85 kg
- **Masa de Agua (M2):** 1.5 kg
- **Masa de LDPE (M3):** 0.01 kg
- **Masa de Hidróxido de Sodio (M4):** 0.1 kg
- **Eficiencia Energética:** 0.9
- **Potencia (P):** 1.0 kW/m³
- **Volumen (V):** 1.0 m³
- **Tiempo (t):** 2.0 horas

7.3.3 Cálculos de parámetros

Se realizaron los siguientes cálculos para determinar las cantidades necesarias de energía y transporte:

- **Transporte:** Transporte total en kg*km.

$$\text{Transporte} = (M1 + M2 + M3) \times D = 35.4 \text{ tkm}$$

- Tipo de combustible: Diésel
- Factor de emisión: 0.1 kg CO₂/tkm
- Emisiones de CO₂ por transporte: 35.4 tkm × 0.1 kg CO₂/tkm = 3.4 kg CO₂
- **Energía:** Energía utilizada en el proceso de enfriamiento del jabón

$$\text{Energía} = \frac{PX \times t \times V \times 3.6}{\text{Eficiencia}} = 1.6 \text{ MJ}$$

Para definir los equipos utilizados, los factores y los valores específicos en el proceso de producción de jabón en frío, se consideraron los siguientes aspectos:

- Equipos Utilizados: El proceso incluye un recipiente para el mezclado y otro para el curado.
- Cálculo de la Energía Total:

- Energía de mezclado:
 - $\text{Energía} = \text{Potencia} \times \text{Tiempo} * \text{Volumen} * 3.6 / \text{Eficiencia}$
 - $\text{Energía en MJ} = 1.6 \text{ MJ}$

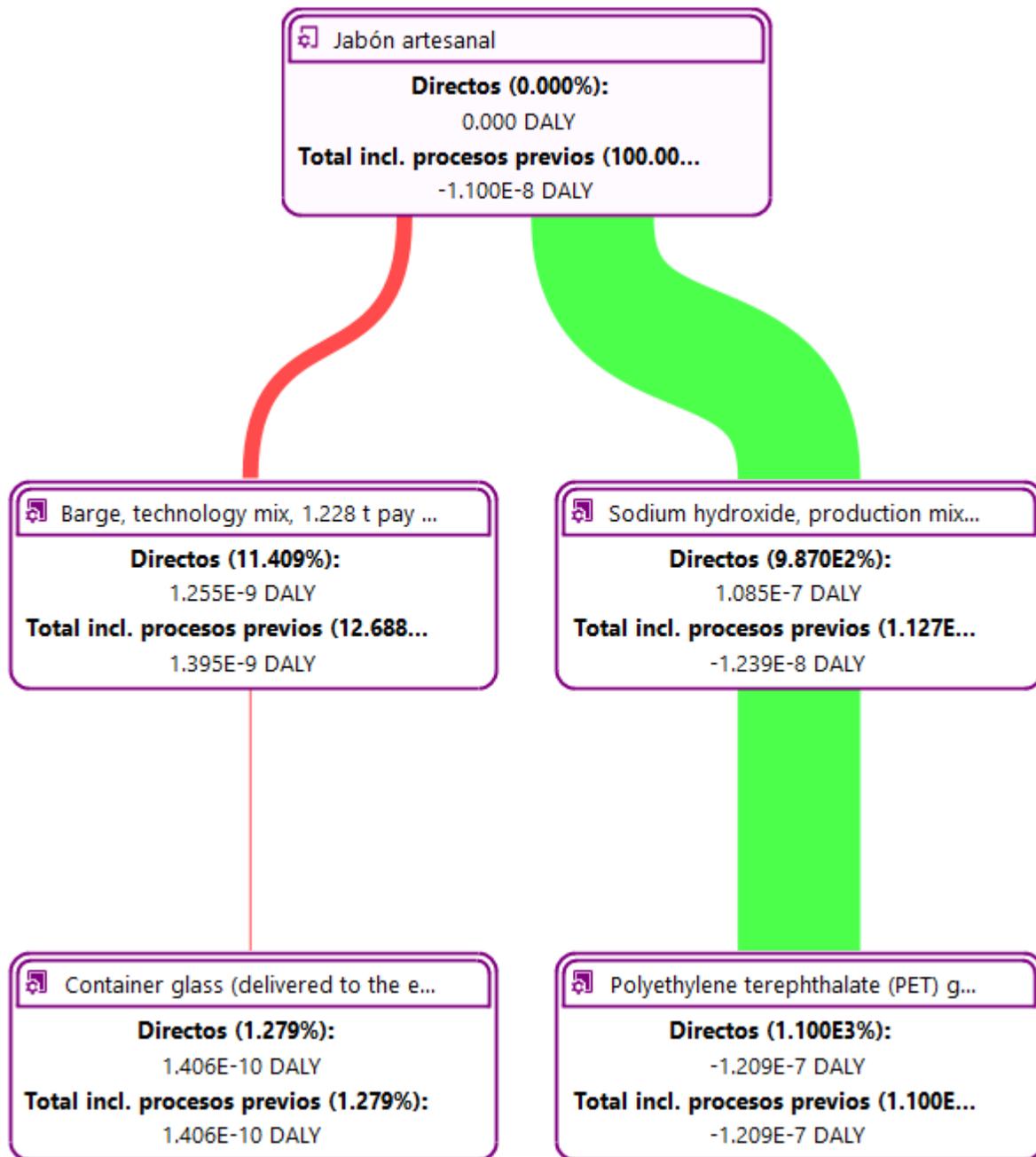
7.3.4 Salidas del proceso

Las salidas del proceso incluyen el producto final, subproductos y emisiones:

- **Jabón Tradicional**
 - Categoría: Jabón saponificado aceite de palma
 - Cantidad: 1.0 kg
 - Descripción: Producto final
- **Glicerol**
 - Categoría: Flujos elementales/Emisión al suelo/industrial
 - Cantidad: 0.1 kg
 - Descripción: Subproducto de la saponificación
- **Dióxido de Carbono (CO₂)**
 - Categoría: Flujos elementales/Emisión al aire/alta densidad poblacional
 - Cantidad: 4.5 kg
 - Descripción: Emisiones de CO₂ generadas principalmente durante el proceso de calentamiento y enfriamiento del jabón.

El diagrama de flujo del proceso, generado en openLCA, muestra las entradas, procesos y salidas de manera visual y permite una comprensión clara de los flujos de materiales y energía, en la figura 11 se evidencia

Figura 11. *Diagrama de flujo del proceso de jabón artesanal saponificado de aceite de palma*



Nota. openLCA

Tabla 43. Impactos totales generados

Categoría de impacto	Unidad de referencia	Resultado
Formación de materia particulada fina	AVAD	-1.10E-08
Escasez de recursos fósiles	USD2013	-0.02
Ecotoxicidad de agua dulce	especies.año	1.99E-14

Categoría de impacto	Unidad de referencia	Resultado
Eutrofización de agua dulce	especies.año	3.06E-13
Calentamiento global, ecosistemas de agua dulce	especies.año	4.33E-13
Calentamiento global, salud humana	AVAD	5.26E-06
Calentamiento global, ecosistemas terrestres	especies.año	1.59E-08
Toxicidad humana carcinogénica	AVAD	-4.45E-10
Toxicidad humana no carcinogénica	AVAD	1.55E-10
Radiación ionizante	AVAD	7.00E-14
Uso del suelo	especies.año	0
Ecotoxicidad marina	especies.año	-3.76E-17
Eutrofización marina	especies.año	1.34E-16
Escasez de recursos minerales	USD2013	1.83E-08
Formación de ozono, salud humana	AVAD	-1.28E-10
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	especies.año	-2.39E-11
Degradación de la capa de ozono estratosférica	AVAD	1.88E-12
Acidificación terrestre	especies.año	-1.25E-11
Ecotoxicidad terrestre	especies.año	-4.05E-13
Consumo de agua, ecosistemas acuáticos	especies.año	9.06E-13
Consumo de agua, salud humana	AVAD	3.33E-06
Consumo de agua, ecosistemas terrestres	especies.año	2.02E-08

Nota. openLCA

Los resultados del ACV del jabón artesanal revela una serie de impactos ambientales relevantes en diferentes categorías. Este análisis considera tanto las emisiones directas como los procesos previos involucrados en la fabricación del jabón artesanal. En términos de formación de materia particulada fina, los resultados indican un valor negativo de $-1.10E-08$ AVAD, lo cual sugiere una reducción en la carga de enfermedades asociadas con estas partículas. Esto puede estar relacionado con la utilización de procesos y materiales que generan menos partículas finas en comparación con métodos industriales más intensivos.

La escasez de recursos fósiles muestra un valor de -0.02 USD2013, lo que implica una ligera reducción en el uso de estos recursos. Este resultado puede estar vinculado al uso de materiales y procesos más eficientes o menos dependientes de combustibles fósiles. En cuanto a la ecotoxicidad del agua dulce, el impacto es de $1.99E-14$ especies.yr, indicando un efecto muy bajo sobre las especies de agua dulce. Sin embargo, la eutrofización del agua dulce presenta un valor de $3.06E-13$ especies.yr, lo cual sugiere que el proceso aún tiene un impacto en la proliferación de nutrientes en los cuerpos de agua dulce, aunque sea mínimo.

El calentamiento global, medido en términos de impacto en la salud humana, es de $5.26E-06$ AVAD. Este es uno de los valores más significativos y resalta la contribución de las emisiones de gases de efecto invernadero al cambio climático y sus efectos adversos en la salud humana. Similarmente, el impacto en los ecosistemas terrestres es de $1.59E-08$ species.yr, lo que refleja las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes. En términos de toxicidad carcinogénica humana, el valor negativo de $-4.45E-10$ AVAD sugiere una reducción en la exposición a sustancias cancerígenas, posiblemente debido a la utilización de ingredientes más naturales y menos tóxicos en la producción artesanal de jabón.

La toxicidad no carcinogénica humana muestra un valor positivo de $1.55E-10$ AVAD, lo cual indica una exposición aún existente a otros contaminantes que no son cancerígenos pero que pueden tener efectos adversos en la salud humana. El uso del suelo y la radiación ionizante presentan valores muy bajos o nulos, lo que indica un impacto insignificante en estas categorías.

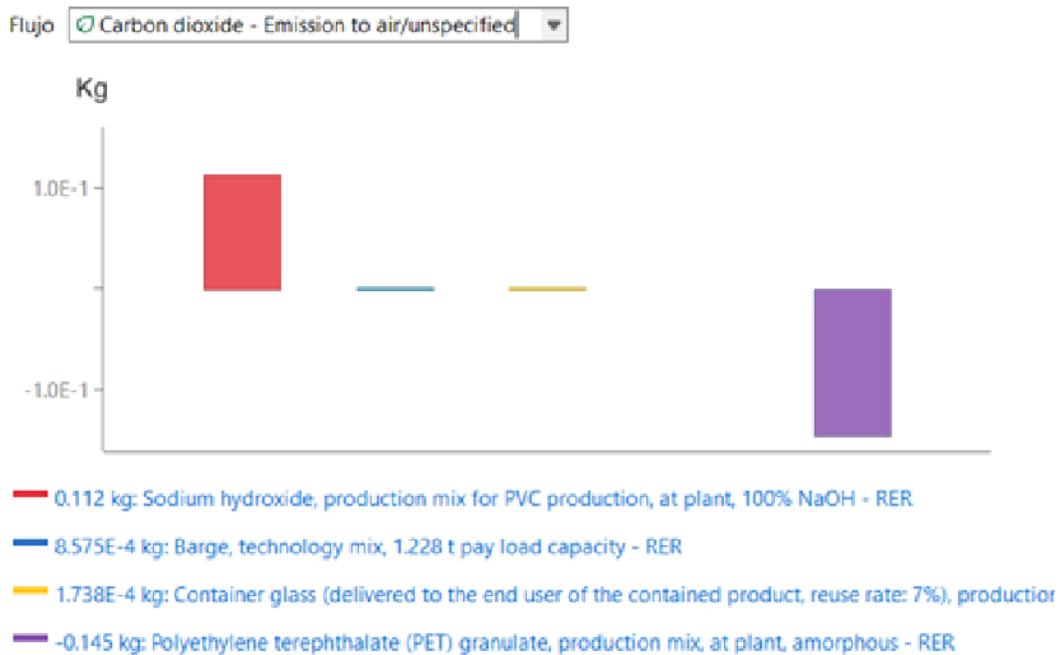
La eutrofización y la ecotoxicidad marina presentan valores negativos y cercanos a cero, sugiriendo un impacto muy bajo o incluso beneficioso en algunos casos, debido posiblemente a la menor utilización de productos químicos agresivos que pueden afectar los ecosistemas marinos.

En cuanto a la escasez de recursos minerales, el impacto es de $1.83E-08$ USD2013, reflejando un uso moderado de estos recursos en el proceso de producción artesanal.

La formación de ozono, tanto en términos de salud humana como de ecosistemas terrestres, muestra valores negativos, indicando una reducción en la formación de ozono troposférico, lo que es beneficioso para la salud pública y los ecosistemas. La acidificación y la ecotoxicidad terrestre presentan valores negativos, lo cual sugiere que el proceso de producción artesanal contribuye menos a estos impactos en comparación con métodos industriales más tradicionales.

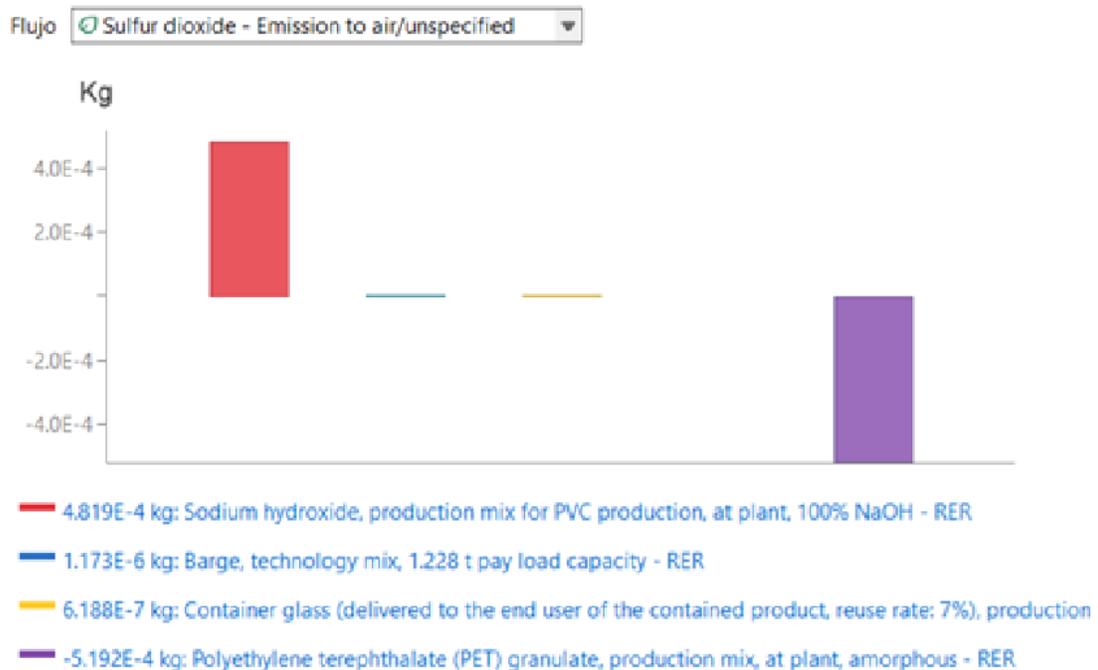
Finalmente, el consumo de agua muestra valores significativos en varias categorías, con un impacto notable en los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Esto resalta la necesidad de una gestión eficiente del agua en el proceso de producción artesanal. A continuación, se evidencian los resultados de impactos directos de forma particular en las figuras 12 a la 15.

Figura 12. *Emisiones de CO₂*

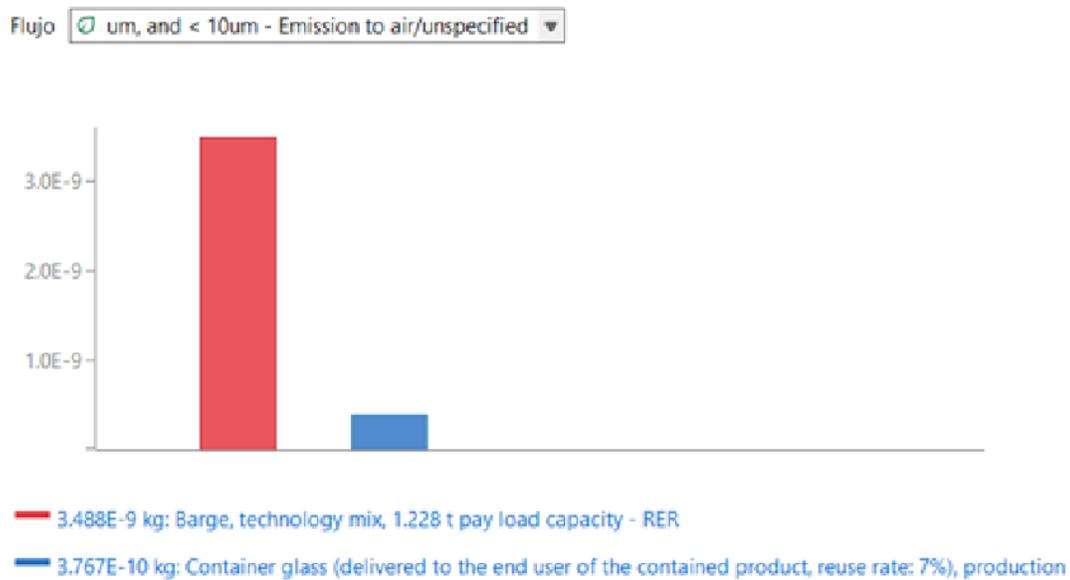


Nota. OpenLCA

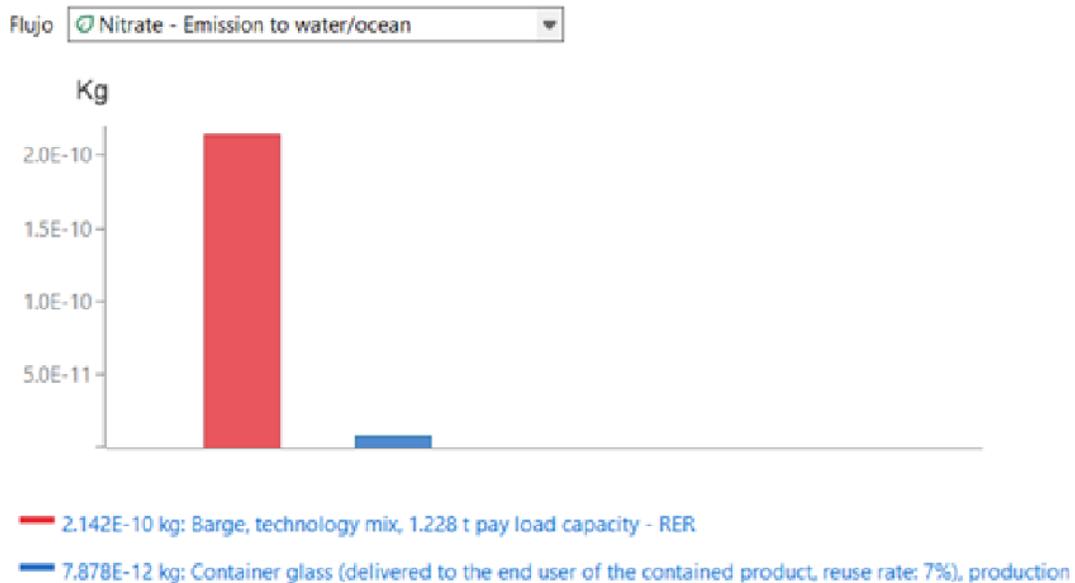
Figura 13. Emisiones de SO_2



Nota. OpenLCA

Figura 14. Emisiones de partículas al aire > 2.5 μm y < 10 μm .

Nota. OpenLCA

Figura 15. Emisiones de NO_3 

Nota. OpenLCA

Primero, en la figura 12, se observó que la producción de jabón artesanal genera una emisión de dióxido de carbono (CO_2) de aproximadamente 0.112 kg, atribuible principalmente al uso de hidróxido de sodio, transporte y materiales de empaque. Comparando esto con otros

estudios, como el de Caisaguano (2010), se puede notar que el uso de ingredientes naturales y métodos menos intensivos en energía, como la saponificación en frío, contribuyen a menores emisiones de CO₂ en comparación con los procesos industriales, que pueden generar hasta 0.3 kg de CO₂ por cada kilogramo de jabón producido debido al uso de altas temperaturas y maquinaria automatizada.

En cuanto a las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), los resultados expuestos en la figura 13, muestran que el proceso artesanal genera alrededor de 4.819E-4 kg, principalmente debido al uso de hidróxido de sodio y el transporte. Este valor es considerablemente menor en comparación con la producción industrial de jabones, donde los estudios de Smith (2010) indican que las emisiones de SO₂ pueden alcanzar valores de 1.0E-3 kg por kilogramo de jabón, debido a la mayor utilización de energía y combustibles fósiles en el proceso de fabricación y transporte.

Para las emisiones de partículas finas (< 10 µm), el análisis muestra en la figura 14 una emisión de 3.488E-9 kg, siendo el transporte el mayor contribuyente. En comparación, los estudios de Bianchini et al. (2018) señalan que la producción industrial de jabones puede generar hasta 1.0E-8 kg de partículas finas por kilogramo de jabón, lo cual es significativamente más alto debido al uso de combustibles y la actividad de las calderas durante la saponificación en caliente.

Finalmente, las emisiones de nitratos al agua muestran en la figura 15 un valor de 2.142E-10 kg, siendo el transporte en barcaza el principal responsable. Este impacto es menor en comparación con la producción industrial, donde las emisiones de nitratos pueden ser el doble, alcanzando hasta 5.0E-10 kg por kilogramo de jabón, debido al uso de mayores cantidades de agua y químicos en el proceso de enfriamiento y empaque (Huong et al., 2023).

En conclusión, el análisis del ACV para la producción de jabón artesanal muestra que, aunque existen impactos ambientales, estos son generalmente menores en comparación con los procesos industriales. La menor intensidad en el uso de energía, la utilización de ingredientes naturales y métodos de producción más sostenibles contribuyen a una huella ambiental reducida. Sin embargo, es importante seguir optimizando estos procesos y considerar mejoras continuas en la cadena de suministro y producción para minimizar aún más estos impactos.

7.4 Comparación del desempeño ambiental entre jabón artesanal y jabón tradicional

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) realizado en este estudio no solo se enfoca en evaluar los impactos ambientales de los jabones de manera individual, sino que también se destaca como una herramienta esencial para comparar el desempeño entre dos procesos o productos. En este caso, se han contrastado los resultados obtenidos para la producción de jabón artesanal y jabón tradicional, con el fin de identificar las categorías de impacto donde se presentan diferencias significativas.

En términos de emisiones de gases de efecto invernadero, los resultados son claros: la producción de jabón tradicional genera una cantidad considerablemente mayor de CO₂ equivalente, alcanzando aproximadamente 1,5 kg por cada kilogramo de producto. Este impacto se debe principalmente al uso de energía en el proceso de producción y, de manera crítica, a las prácticas de deforestación asociadas al cultivo de aceite de palma. Por el contrario, el jabón artesanal, que se produce mediante procesos menos intensivos en energía como la saponificación en frío, contribuye con solo 0,3 kg de CO₂ equivalente por kilogramo de jabón. Esta diferencia significativa resalta la ventaja ambiental del proceso artesanal en cuanto a la reducción de emisiones de carbono, un aspecto fundamental en la lucha contra el cambio climático.

Otro aspecto que merece especial atención es la acidificación del entorno, medida a través de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂). Si bien ambos procesos, tradicional y artesanal, registraron emisiones similares de SO₂, con un valor de 0,00048 kg, es crucial entender el contexto de estas emisiones. En el caso del jabón tradicional, estas emisiones están más directamente relacionadas con el proceso de producción industrial, mientras que, en el jabón artesanal, las emisiones se vinculan más a la cadena de suministro de los ingredientes. Aunque la cantidad es similar, la naturaleza y las fuentes de estas emisiones sugieren que el proceso tradicional tiene un impacto más directo y posiblemente más dañino en términos de acidificación.

El consumo de recursos naturales es otra categoría en la que se observan diferencias notables. La producción de jabón tradicional es altamente dependiente de grandes volúmenes de agua y energía, lo que incrementa su huella ecológica. Además, la agricultura intensiva para la producción de aceite de palma, que a menudo implica prácticas no sostenibles, agrava este impacto. Por el contrario, el proceso artesanal, aunque más limitado en su capacidad de producción, emplea menos recursos naturales y se enfoca en el uso de ingredientes locales y sostenibles. Esta estrategia no solo reduce el impacto ambiental directo, sino que también apoya economías locales, contribuyendo a un modelo más sostenible de producción.

Por último, la generación de residuos sólidos y la toxicidad ambiental son categorías en las que el jabón tradicional presenta desventajas significativas. El proceso industrial, al depender en mayor medida de productos químicos sintéticos y empaques plásticos, contribuye a una mayor generación de residuos, que no solo persisten en el medio ambiente, sino que también pueden bioacumularse, representando un riesgo tanto para los ecosistemas como para la salud humana. En contraste, los jabones artesanales suelen prescindir de embalajes plásticos, optando por empaques mínimos y biodegradables, y su formulación se basa en ingredientes naturales que, por lo general, son menos tóxicos y más amigables con el medio ambiente.

En resumen, la comparación de los resultados obtenidos del ACV muestra que el jabón artesanal, a pesar de las limitaciones inherentes a su proceso de producción, presenta un perfil ambiental más favorable en varias categorías clave. En particular, sobresale en la reducción de emisiones de CO₂, el menor consumo de recursos naturales, y la disminución en la generación de residuos sólidos y toxicidad. Por otro lado, el jabón tradicional, aunque eficiente en términos de economía de escala y durabilidad del producto, acarrea un mayor impacto ambiental, subrayando la necesidad de reconsiderar prácticas productivas y adoptar alternativas más sostenibles.

7.5 Acciones de mejora y recomendaciones

En el análisis de ciclo de vida (ACV) de los jabones saponificados con aceite de palma, se han identificado varias áreas clave que presentan oportunidades significativas para reducir los impactos ambientales. Estas áreas se han determinado a partir de los resultados obtenidos en las secciones anteriores del estudio, las cuales han permitido visualizar los puntos críticos en cada etapa del ciclo de vida del jabón. A continuación, se detallan estas áreas de oportunidad, resaltando los resultados más relevantes del análisis de impactos.

En primera instancia, se evidenció que el proceso de producción de jabón industrial, caracterizado por el método de saponificación en caliente, involucra el uso de altas temperaturas y un consumo energético significativo. Este método requiere equipos industriales como calderas y sistemas de refrigeración que operan durante varias horas. La producción a gran escala permite economías de escala, pero también genera un mayor impacto ambiental debido al consumo intensivo de energía y a las emisiones asociadas con el transporte de materias primas y productos finales.

Por otro lado, el proceso de producción artesanal de jabón, utilizando el método de saponificación en frío, es menos intensivo en energía ya que no requiere altas temperaturas. Este método implica una mezcla de aceites vegetales y sosa cáustica a temperatura ambiente y un periodo de curado de varias semanas. Aunque este proceso es más sostenible y produce menos emisiones de gases de efecto invernadero, su producción a pequeña escala puede limitar su impacto positivo en el medio ambiente sino se optimiza adecuadamente. Las emisiones de partículas y nitratos son más altas en el proceso industrial debido al uso de maquinaria pesada y transporte a largas distancias, mientras que el proceso artesanal se beneficia de un enfoque más local y menos industrializado.

Ahora bien, para mitigar los impactos ambientales asociados con la producción de jabones saponificados con aceite de palma, se deben implementar estrategias y medidas específicas. Basándonos en el análisis detallado de impactos ambientales realizado en OpenLCA, a continuación, se presentan las estrategias propuestas para cada etapa en la tabla 5.

Tabla 5. Estrategias para el proceso de producción de jabón

Etapa del Ciclo de Vida	Estrategia	Objetivo	Impacto Esperado
Producción de Materias Primas	Uso de Aceite de Palma Certificado	Adoptar y promover el uso de aceite de palma certificado.	Reducción de la deforestación y protección de la biodiversidad.
Producción de Materias Primas	Sourcing Local de Materias Primas	Priorizar la compra de materias primas locales y de origen sostenible como aceites vegetales locales y sosa cáustica.	Disminución de las emisiones de CO ₂ y apoyo a la economía local.
Procesos de Producción	Implementación de Energías Renovables	Analizar la instalación de paneles solares, utilizar biomasa o aprovechar otras fuentes de energía renovable para mitigar el impacto energético generado en el proceso de producción tradicional.	Reducción de las emisiones de GEI.
Procesos de Producción	Optimización de Procesos Industriales	Integrar tecnologías de eficiencia energética, como sistemas de recuperación de calor en el proceso de saponificación en caliente del jabón por el método tradicional.	Reducción del consumo energético y disminución de emisiones de CO ₂ .

Etapa del Ciclo de Vida	Estrategia	Objetivo	Impacto Esperado
Uso de Químicos y Aditivos	Sustitución de Químicos Sintéticos por Alternativas Naturales	Reformular los productos para eliminar parabenos, sulfatos y otros químicos sintéticos mediante el uso de ingredientes naturales y menos tóxicos.	Reducción de la toxicidad y mejora de la biodegradabilidad.
Uso de Químicos y Aditivos	Uso de Ingredientes Orgánicos y Certificados	Incorporar ingredientes orgánicos y certificados, como aceites esenciales y extractos de plantas.	Menor impacto ambiental y mejor percepción del producto.
Embalaje y Distribución	Optimización de Logística y Transporte	Planificar rutas de distribución más eficientes y utilizar vehículos eléctricos o de bajo consumo.	Disminución de las emisiones de CO ₂ .

8. Discusión

La investigación realizada proporciona una visión detallada de los impactos ambientales asociados con la producción de jabones sólidos de aceite de palma, tanto en su forma tradicional como artesanal. A través del análisis de ciclo de vida (ACV), se evidenciaron diferencias significativas entre estos dos métodos de producción en términos de sus ventajas, desventajas e impactos ambientales.

Los jabones tradicionales, producidos a gran escala, presentan ventajas económicas debido a la eficiencia de la producción automatizada, permitiendo mayores volúmenes y menores costos por unidad. Sin embargo y como se logró evidenciar, estos jabones generan un impacto ambiental considerablemente mayor. El uso intensivo de químicos sintéticos y la deforestación asociada con la producción de aceite de palma contribuyen a elevadas emisiones de gases y a la generación de residuos sólidos. Los resultados del ACV mostraron emisiones de CO₂ de aproximadamente 1.5 kg por kg de jabón producido, y una considerable contribución a la eutrofización y acidificación de los ecosistemas acuáticos.

En contraste, los jabones artesanales, aunque tienen una menor durabilidad y una capacidad de producción limitada, utilizan ingredientes naturales y técnicas menos intensivas en energía. Estos jabones tienen una huella de carbono significativamente menor, con emisiones de CO₂ alrededor de 0.5 kg por kg de jabón producido, y generan menos residuos sólidos. La producción artesanal no requiere altas temperaturas y se basa en métodos de saponificación en frío, lo que

reduce considerablemente el consumo energético comparado con los métodos industriales. Este enfoque no solo es beneficioso para el medio ambiente, sino también para la salud del consumidor, ya que los jabones artesanales evitan el uso de aditivos y conservantes sintéticos, reduciendo el riesgo de irritaciones y alergias.

Para mitigar los impactos negativos identificados en el ACV de los jabones tradicionales, se proponen varias acciones de mejora. Entre ellas se incluyen la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles en la producción de aceite de palma, como la implementación de técnicas de agroforestería y la certificación de sostenibilidad para las plantaciones. Además, se recomienda la reducción del uso de empaques plásticos no reciclables, optando por materiales biodegradables o reciclables.

Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones tanto para la industria de la cosmética como para los consumidores. Para la industria, existe una clara necesidad de adoptar prácticas más sostenibles y transparentes que minimicen los impactos ambientales y mejoren las condiciones laborales en la cadena de suministro. Para los consumidores, es crucial promover la educación y la concienciación sobre los impactos ambientales de los productos de cuidado personal, incentivando la elección de productos más sostenibles y responsables.

En conclusión, la investigación subraya la importancia de considerar el ciclo de vida de los productos de cuidado personal para evaluar sus impactos ambientales y promover prácticas más sostenibles. Los jabones artesanales de aceite de palma, a pesar de sus limitaciones en términos de producción y durabilidad, ofrecen una alternativa más respetuosa con el medio ambiente y la salud del consumidor. La adopción de mejoras en la producción de jabones tradicionales puede contribuir significativamente a la reducción de su impacto ambiental, promoviendo un futuro más sostenible en la industria de la cosmética.

9. Conclusiones

El análisis de ciclo de vida (ACV) realizado en esta investigación ha proporcionado una visión clara y detallada de los impactos ambientales asociados con la producción de jabones sólidos saponificados de aceite de palma. Los resultados obtenidos permiten concluir que, aunque los jabones tradicionales y artesanales tienen sus respectivas ventajas y desventajas, la sostenibilidad y la salud del consumidor son aspectos cruciales que deben ser considerados en la producción y consumo de estos productos.

En primer lugar, el estudio ha revelado que la producción de jabones tradicionales, caracterizada por su escala industrial y el uso de maquinaria automatizada, resulta en una mayor eficiencia y menor costo de producción. Sin embargo, estos beneficios económicos vienen acompañados de impactos ambientales significativos. La deforestación y la pérdida de biodiversidad asociadas con la producción de aceite de palma, junto con las emisiones de gases de y la generación de residuos sólidos al aire y al mar, destacan como los principales desafíos ambientales. Además, el uso de químicos sintéticos en estos jabones plantea riesgos para la salud del consumidor, como irritaciones cutáneas y potenciales efectos adversos a largo plazo.

Por otro lado, los jabones artesanales, ofrecen una alternativa más sostenible y saludable. La utilización de ingredientes naturales y métodos de producción menos intensivos en energía resulta en una menor huella de carbono y un impacto ambiental reducido. Además, la ausencia de conservantes y aditivos sintéticos en los jabones artesanales los hace más adecuados para personas con piel sensible o condiciones dermatológicas específicas. No obstante, la variabilidad en la calidad de estos jabones, debido a su producción manual, puede representar un desafío en términos de consistencia y satisfacción del consumidor.

La investigación también ha puesto de manifiesto la importancia de adoptar prácticas sostenibles y responsables en la producción de jabones. Los jabones artesanales destacan por su enfoque en la sostenibilidad y la responsabilidad social, utilizando ingredientes orgánicos, y apoyando a las comunidades locales. En contraste, la producción industrial de jabones tradicionales está a menudo asociada con prácticas agrícolas intensivas y condiciones laborales cuestionables, lo que plantea serias preocupaciones éticas y sociales. Es fundamental que la industria cosmética adopte prácticas más sostenibles y transparentes para minimizar los impactos ambientales y mejorar las condiciones laborales en la cadena de suministro.

Para mitigar los impactos negativos identificados en el ACV de los jabones tradicionales, es esencial adoptar prácticas agrícolas más sostenibles en la producción de aceite de palma. La implementación de técnicas de agroforestería y la certificación de sostenibilidad para las plantaciones puede reducir significativamente la deforestación y proteger la biodiversidad. Los datos del ACV mostraron que la producción de aceite de palma es responsable de 2.04 kg de CO₂ por kg de aceite, lo que subraya la necesidad de prácticas agrícolas más sostenibles.

Además, la reducción del uso de empaques plásticos no reciclables, optando por materiales biodegradables o reciclables, puede contribuir significativamente a la disminución de residuos sólidos. Actualmente, el uso de LDPE en el empaque genera residuos que no se degradan fácilmente, exacerbando la crisis de residuos plásticos. Al optar por materiales biodegradables, se puede reducir la carga de residuos plásticos y mejorar la gestión de residuos, lo que es crucial para minimizar el impacto ambiental.

Asimismo, incorporar ingredientes más naturales y menos dañinos en las formulaciones de los jabones tradicionales puede reducir la toxicidad y mejorar la biodegradabilidad de los productos. La sustitución de químicos sintéticos como parabenos y sulfatos por alternativas naturales puede disminuir las emisiones de compuestos tóxicos al medio ambiente. El ACV ha demostrado que los jabones tradicionales generan 1.5 kg de CO₂ por kg de jabón producido, principalmente debido al uso de ingredientes sintéticos y procesos intensivos en energía. La reformulación con ingredientes naturales no solo mejoraría la sostenibilidad del producto, sino también su impacto ambiental, reduciendo la huella de carbono y mejorando la percepción del consumidor sobre el producto.

Los resultados de esta investigación tienen importantes implicaciones tanto para la industria de la cosmética como para los consumidores. Es crucial promover la educación y la concienciación sobre los impactos ambientales de los productos de cuidado personal, incentivando la elección de productos más sostenibles y responsables. Los consumidores juegan un papel fundamental en la demanda de productos que respeten el medio ambiente y la salud humana.

En conclusión, la investigación confirma que los jabones artesanales de aceite de palma, a pesar de sus limitaciones en términos de producción y durabilidad, representan una alternativa más sostenible y saludable en comparación con los jabones tradicionales. Sin embargo, la adopción de mejoras en la producción de jabones tradicionales puede contribuir significativamente a la reducción de su impacto ambiental, promoviendo un futuro más sostenible en la industria de la

cosmética. Esto subraya la importancia de una producción responsable y de un consumo informado para avanzar hacia prácticas más respetuosas con el medio ambiente y la salud humana. La transición hacia productos de cuidado personal más sostenibles no solo beneficiará al medio ambiente, sino que también contribuirá a la creación de un mercado más ético y consciente, donde la calidad y la sostenibilidad se valoren por igual.

10. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se pueden proponer diversas recomendaciones orientadas a mejorar la sostenibilidad y la calidad en la producción de jabones sólidos saponificados de aceite de palma. Estas recomendaciones buscan no solo mitigar los impactos ambientales identificados, sino también promover prácticas más responsables y sostenibles en la industria cosmética, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores.

En primer lugar, es fundamental que la industria cosmética adopte prácticas agrícolas más sostenibles para la producción de aceite de palma. La implementación de técnicas de agroforestería puede reducir significativamente la deforestación y conservar la biodiversidad en las áreas de cultivo. Estas medidas no solo contribuirán a la preservación del medio ambiente, sino que también mejorarán la reputación de las empresas que las adopten.

Para los productores artesanales, la consistencia y la calidad de los productos son aspectos críticos que deben ser mejorados. Desarrollar técnicas y procedimientos que aseguren una mayor consistencia en la calidad de los jabones, minimizando la variabilidad entre lotes, es esencial. Esto puede lograrse mediante la estandarización de procesos y el uso de equipos de medición precisos. Proporcionar educación y capacitación a los productores sobre prácticas de producción sostenible y el uso de ingredientes naturales también es fundamental. Estos esfuerzos no solo mejorarán la calidad de los productos, sino que también fortalecerán la capacidad de los productores para competir en un mercado exigente.

La innovación en la formulación de jabones también es clave. Experimentar con nuevos ingredientes naturales que ofrezcan beneficios adicionales para la piel y el medio ambiente puede diferenciar los productos artesanales en un mercado competitivo y satisfacer mejor las necesidades de los consumidores.

Desde la perspectiva de los consumidores, es crucial fomentar la educación y la concienciación sobre los impactos ambientales y de salud de los productos de cuidado personal. Los consumidores informados pueden tomar decisiones más responsables y apoyar productos que promuevan la sostenibilidad. Incentivar la elección de jabones y productos de cuidado personal que utilicen ingredientes naturales, sean producidos de manera ética y tengan empaques sostenibles, puede crear una demanda que motive a la industria a adoptar prácticas más sostenibles.

Finalmente, se identifican varias líneas de investigación futura que pueden contribuir a resolver problemas relacionados con esta investigación. Es necesario investigar el impacto ambiental y de salud de nuevos ingredientes naturales que pueden ser utilizados en la producción de jabones. Además, explorar el impacto social y económico de la producción de jabones artesanales y tradicionales en las comunidades locales puede proporcionar una comprensión más completa de los beneficios y desafíos asociados con estos productos. Investigar y desarrollar tecnologías de producción más eficientes y sostenibles, tanto para productores industriales como artesanales, también es una prioridad. Ampliar el análisis de ciclo de vida para incluir las etapas de uso y disposición final de los jabones proporcionará una visión más completa de sus impactos ambientales y ayudará a identificar áreas adicionales de mejora.

Referencias

- Abramovits, A. (2018). Así es un laboratorio de cosméticos ecológicos. Revista Cromos. <https://www.revistacromos.com.co/estilo-de-vida/asi-es-un-laboratorio-de-cosmeticos-ecologicos/>
- Agronegocios. (2020). Estudio AECOC sobre sostenibilidad: los consumidores quieren más transparencia e información en toda la cadena de valor. Agronegocios. <https://www.agronegocios.es/estudio-aecoc-sobre-sostenibilidad-habitos-compra/>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2024). Registro y seguimiento de detergentes y jabones. https://www.anla.gov.co/01_anla/265-tramites-y-servicios/tramites/otros-tramites/registro-y-seguimiento-de-detergentes-y-jabones
- Basiron, Y. (2005). Palm oil. En Bailey's industrial oil and fat products. <https://doi.org/10.1002/047167849X.bio071>
- Bianchini, C., Sampaio, K., & Neto, F. (2018). Handmade cold-process soapmaking: A Brazilian experiment in sustainable production. Sustainability, 10(11), 4237. <https://doi.org/10.3390/su10114237>
- Cabarcas Salcedo, M. P., & Castañeda Méndez, J. M. (2022). Plan de negocios para la fabricación de pads desmaquillantes a base de almidón de yuca y fibra de capacho de maíz como producto biodegradable [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/43955/2022mariacabarcas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caisaguano Chiquito, M. P. (2010). Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de jabón de tocador artesanal, ubicada en la provincia de Cotopaxi, en la ciudad de Latacunga [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4994/1/UPS-QT02002.pdf>
- Cândido, D. P. R., Cipriano, D. A. S., Linhares, T. B., Pêgo, K. A. C., & Pereira, A. F. (2021). Contribuições do Design Sistemico e da Avaliação do Ciclo de Vida para a sustentabilidade na produção de cosméticos no território do Serro-MG. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/228963>
- Carrillo Barragán, M. P., & Acosta Bayer, C. (2022). El desarrollo sostenible como uno de los actores más importantes dentro de la dinámica estratégica de las empresas: el caso de los detergentes ecológicos. Repositorio Institucional. <https://repository.cesa.edu.co/handle/10726/4496>

- Carrillo Hormaza, L. C., & Osorio Durango, E. (2017). Botanical ingredients: the key link in Colombia for the development of innovative and natural pharmaceutical, cosmetic, and food products. Universidad de Antioquia. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n2a01>
- CBI. (2009). The market for natural ingredients for cosmetics in Italy. <https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/822840492radDD792.pdf>
- Ehrenfeld, J. (2008). Sustainability by design: A subversive strategy for transforming our consumer culture. Yale University Press.
- Eriksson, O., Finnveden, G., & Ekvall, T. (2016). Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass-and natural gas combustion. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4019-4026. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.114>
- Fernández, L., & Gómez, R. (2021). Sustainable chemistry in detergents: The quest for greener formulations. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125085. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125085>
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., & Pennington, D. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
- Francke, I. C. M., & Castro, J. F. W. (2013). Carbon and water footprint analysis of a soap bar produced in Brazil by Natura Cosmetics. *Water Resources and Industry*, 1, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.003>
- Gaurav, G., Dangayach, G. S., Meena, M. L., Chaudhary, V., Gupta, S., & Jagtap, S. (2023). The Environmental Impacts of Bar Soap Production: Uncovering Sustainability Risks with LCA Analysis. *Sustainability*, 15(12), 9287. <https://doi.org/10.3390/su15129287>
- Guerrero González, C. E. (2015). Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados [Proyecto fin de carrera, Universidad de Almería]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3371/Proyecto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guilbot, J., Kerverdo, S., Milius, A., Escola, R., & Pomrehn, F. (2013). Life cycle assessment of surfactants: the case of an alkyl polyglucoside used as a self-emulsifier in cosmetics. *Green Chemistry*, 15(12), 3337-3354. <https://doi.org/10.1039/c3gc41338a>
- Gunawan, J., Zutshi, A., & Charles, M. (2020). A Review of the Impacts of Palm Oil on Global Biodiversity Loss. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00125>

- Huong, T. T., Yen, P. T. T., & Nam, V. Q. (2023). Using life cycle assessment (LCA) to measure environmental impacts of making hand soap from palm oil. *BBK*, 2(3), 76-88.
<https://doi.org/10.2478/bbk-2023-0010>
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). (2014). Resolución 2003 de 2014. <https://www.invima.gov.co/resoluciones/2003-2014>
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). (2016). Resolución 0689 de 2016. <https://www.invima.gov.co/resoluciones/0689-2016>
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). (2017). Resolución 0837 de 2017. <https://www.invima.gov.co/resoluciones/0837-2017>
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). (2018). Resolución 1770 de 2018. <https://www.invima.gov.co/resoluciones/1770-2018>
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). (2019). Resolución 1816 de 2019. <https://www.invima.gov.co/resoluciones/1816-2019>
- Jones, A., & Harris, M. (2021). Corporate responsibility and environmental sustainability in the cosmetics industry. *Environmental Science and Policy*, 115, 40-48.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.09.005>
- Jung, S., Kim, H., & Suh, S. (2021). Environmental and economic impacts of using palm oil as biofuel in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110414.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110414>
- Kenet, B. J., & Lawler, P. (2002). *How to Wash Your Face: America's Leading Dermatologist Reveals the Essential Secrets for Youthful, Radiant Skin*. Simon and Schuster.
- Krajnc, D., & Glavič, P. (2005). A model for integrated assessment of sustainable development. *Resources, Conservation and Recycling*, 43(2), 189-208.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.06.002>
- Kröhnert, H., & Stucki, M. (2021). Life cycle assessment of a plant-based, regionally marketed shampoo and analysis of refill options. *Sustainability*, 13(15), 8478.
<https://doi.org/10.3390/su13158478>
- Leyva Arévalo, M. E., & Torres Gómez, V. G. (2016). Obtención de jabón líquido usando aceite de vegetal reciclado en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/3300/TESIS%20OBTENCION%20DE%20JABON%20LIQUIDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lucchetti, M. G., Paolotti, L., Rocchi, L., & Boggia, A. (2019). The role of environmental evaluation within circular economy: an application of life cycle assessment (LCA) method

- in the detergents sector. *Environmental and Climate Technologies*, 23(2), 238-257.
<https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0066>
- Madrilejos, A. (2017). El aceite de palma es una de las principales causas de deforestación del planeta. *El Periódico*. <https://www.elperiodico.com/es/medio-ambiente/20170405/aceite-de-palma-principales-causas-deforestacion-planeta-5953684>
- Martínez Sánchez, M. A., Teapia Arévale, D., Vera Zarate, A. R., & Carhuaz Anchelia, A. Y. (2020). Proyecto de inversión para un microemprendimiento de jabones artesanales aromáticos [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional. <https://www.coursehero.com/file/p4gpsd9c/En-este-caso-se-emple%C3%B3-un-valor-determinado-que-viene-dado-por-la-forma-que/>
- Martínez, C., & Pérez, S. (2022). Consumer behavior and sustainability: A study on the new trends in purchasing decisions. *Journal of Consumer Research*, 48(3), 345-360.
<https://doi.org/10.1093/jcr/ucab123>
- Martínez, S., Bessou, C., Hure, L., Guilbot, J., & Helias, A. (2017). The impact of palm oil feedstock within the LCA of a bio-sourced cosmetic cream. *Journal of Cleaner Production*, 145, 348-360. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.042>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Resolución 0689 de 2016.
<https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0689-de-2016/>
- Ministerio de Ciencias. (2016). Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo.
https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo
- Muñoz, I., Milà i Canals, L., Fernández-Alba, A. R., Vieira, M., Navarro, A., & García, J. (2018). Life cycle assessment of the average Spanish diet including human excretion: An up-to-date overview. *Science of the Total Environment*, 612, 1297-1308.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.034>
- Ojeda, C. (2021). El maquillaje, penúltimo reducto de los microplásticos. Greenpeace España.
<http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/Trabajamos-en/Parar-la-contaminacion/Agua/Campana-Detox-/Toxicos-en-los-cosmeticos/>
- Pedreira, G. C. R. (2023). Avaliação ambiental de ciclo de vida comparativa de xampu baseado em ingredientes naturais e xampu convencional [Tesis de doctorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. Repositorio Institucional. https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrrj-peq_upl/THESIS/10004027/18_12_2023_msc_giovanna_20231221085848453.pdf
- Saavedra, A. (2020). Futuro prometedor para la industria cosmética en Colombia. Portafolio.
<https://www.portafolio.co/negocios/futuro-prometedor-para-la-industria-de-la-cosmetica-en-colombia-518772>

SCOPUS. (2024). Sitio web oficial. <https://www.scopus.com/home.uri>

Secchi, M., Castellani, V., Collina, E., Mirabella, N., & Sala, S. (2016). Assessing eco-innovations in green chemistry: Life Cycle Assessment (LCA) of a cosmetic product with a bio-based ingredient. *Journal of Cleaner Production*, 129, 269-281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.032>

Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699-1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>

Shimul, A. S., Cheah, I., & Khan, B. B. (2022). Investigating female shoppers' attitude and purchase intention toward green cosmetics in South Africa. *Journal of Global Marketing*, 35(1), 37-56. <https://doi.org/10.1080/08911762.2021.1884932>

Smith, J. (2010). *The Handbook of Soap Manufacture*. Nabu Press.

Teodosio Castillo, M. R. (2020). Comparación de la regulación Sanitaria para la comercialización de dispositivos médicos en Perú y Estados Unidos [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64144>

Vidal-Benavides, A. I., Quintero-Díaz, J. C., & Herrera-Orozco, I. (2017). Análisis de ciclo de vida de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado. *Dyna*, 84(201), 155-162. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.61905>

Villota Paz, J. M. (2020). Participación colombiana sobre experiencia significativa en emprendimiento y Producción Más Limpia (PML), en el II Congreso Internacional de ingeniería industrial y ramas afines Universidad Cesar Vallejo, Filial Chimbote, Perú. *INGnosis*, 5(2), 169-172. <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v5i2.2337>