

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL A TRAVÉS DE LA EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN PRODUCTOS PROCESADOS DEL SECTOR DE ALIMENTOS DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA

PROPUESTA DE MEJORA DE REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE HUELLA DE CARBONO, EN LA PRODUCCIÓN DEL ADEREZO DE MAYONESA BAJA EN CALORÍAS EN LA MICROEMPRESA “REY SABOR”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE LA PRODUCCIÓN

DAYANARA JACKELINE BURBANO FRAGA

dayanara.burbano@epn.edu.ec

DIRECTOR: ANTONIO ALEXANDER FRANCO CRESPO PHD

antonio.franco@epn.edu.ec

DMQ, agosto 2023

CERTIFICACIONES

Yo, DAYANARA JACKELINE BURBANO FRAGA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

DAYANARA JACKELINE BURBANO FRAGA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por DAYANARA JACKELINE BURBANO FRAGA, bajo mi supervisión.

ANTONIO FRANCO CRESPO
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

DAYANARA JACKELINE BURBANO FRAGA

ANTONIO FRANCO CRESPO

DEDICATORIA

A todos los ángeles que me han acompañado, a los que se transformaron en luz para protegerme y guiarme María Inés, Rosita, Guillermo y María Luisa y a los que en la tierra han sido motivación, soporte y amor incondicional Inés, César y Nathaly.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme fuerza, sabiduría, constancia y una familia maravillosa que creyó en mí siempre.

Gracias a Inés y César, mis padres y a mi hermana Nathy por ser ejemplo de superación, humildad y nobleza, por ser apoyo incondicional, refugio en tiempos difíciles y motivación para soñar en grande.

A Nathy, por estar de mi mano en todo este proceso, por escucharme, aconsejarme y abrazarme siempre que lo necesitaba.

A Fanisita, por la voluntad, el tiempo y el cariño puestos en casa cada semana.

A Michael por ser compañía, amor, paz y enseñarme a dar lo mejor de mí y soltar cuándo es suficiente.

A Darío, por ser ejemplo de paciencia y lealtad en toda la carrera universitaria.

A todos los amigos que conocí en el camino, especialmente a ese grupo que me hizo no querer dejar la etapa universitaria jamás. Eri, Dani, Emi, Darío y Michael, gracias por mostrarme que con confianza y el equipo correcto las cosas siempre fluyen.

Gracias a todas esas personas, que fueron empáticas y me acogieron en sus hogares cuándo extrañaba el mío.

A los profesores que me mostraron la realidad del mundo sin dejar que me quite el sueño, que ayudaron a formar mis ideales y creer que siempre se puede hacer algo al respecto, especialmente al promotor de la idea del trabajo, PhD Antonio Franco, muchas gracias por su orientación.

Finalmente, agradezco a la empresa “Rey Sabor” por recibirme en sus instalaciones y permitirme desarrollar este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance	3
1.4 Marco teórico	4
La ingeniería verde	4
El cambio climático y emisiones de gases de efecto invernadero.....	9
Huella de carbono	10
Huella de carbono de producto (HCP) e ISO 14607:2018.....	11
Análisis de Ciclo de vida del producto.....	12
1.5 La empresa	13
Productos	14
Aderezo de mayonesa baja en calorías Rey Sabor.....	15
2 METODOLOGÍA.....	15
2.1 Diseño metodológico	15
Enfoque de investigación.....	15
Tipo de trabajo	16
Técnica de recolección de información	16
Técnica de análisis de la información.....	17
2.2 Metodología de cuantificación de la HCP	17
Fase I: definición de objetivos y alcance	18
Fase II: Elaboración del inventario	19
Fase III: Evaluación del inventario.....	19
Fase IV: Interpretación.....	19
3 RESULTADOS	20
3.1. Aproximación a la huella de carbono del producto.....	20
Fase I: definición de objetivos y alcance	20
Fase II: Elaboración del inventario	33
Fase III: Evaluación del inventario.....	40

Fase IV: Interpretación.....	49
3.2 Propuesta de rediseño.....	55
Propuesta de rediseño para producción de materias primas	56
Propuesta de rediseño para transporte de materias primas.....	59
Propuesta de rediseño para etapas de la producción.....	60
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
4.1 Conclusiones.....	64
4.2 Recomendaciones	65
5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
4. ANEXOS.....	70
ANEXO I. Guía de observación de procesos.....	70
ANEXO II. Guía de entrevista.....	70
ANEXO III. Enlace a la hoja de cálculo de la huella de Carbono.....	70
ANEXO IV. Enlaces a la hoja de cálculo de la huella de Carbono con propuesta de rediseño.	70

RESUMEN

Esta investigación se centró en analizar el impacto ambiental del proceso de producción del aderezo "Mayonesa Baja en Calorías Rey Sabor" a través de la medición de su huella de carbono. Siguiendo las pautas de la norma ISO 14067, se calculó una huella de carbono de 16,034 Kg CO₂eq por unidad funcional, equivalente a una caja de 1500 sachets de 6g cada uno.

El enfoque metodológico adoptado se basó en el análisis de ciclo de vida, considerando el enfoque de análisis de ciclo de vida de la cuna a la puerta.

Los hallazgos indican que los procesos aguas arriba (62%), relacionados con la producción de materiales, contribuyen mayormente a las emisiones de carbono. Además, el transporte de materias primas (12%) y los procesos operacionales (26%) también influyen significativamente en la generación de emisiones. Estos factores se incorporaron en la propuesta de rediseño del producto basada en los principios de la ingeniería verde.

Dicha propuesta logró una reducción del 42% en las emisiones, obteniendo una nueva huella de carbono de 9,285 Kg CO₂eq por unidad funcional.

En resumen, esta investigación confirma la viabilidad de reducir el impacto ambiental en la producción mediante un rediseño congruente con la ingeniería verde. Estos resultados subrayan la importancia de considerar estos principios desde las etapas iniciales de los proyectos, promoviendo la sostenibilidad y la conciencia ambiental empresarial.

PALABRAS CLAVE: huella de carbono, emisiones, GEI, impacto ambiental, ingeniería verde, procesos.

ABSTRACT

This research focused on analyzing the environmental impact of the production process of the "Low-Calorie Mayonnaise Rey Sabor" dressing through the measurement of its carbon footprint. Following the guidelines of ISO 14067, a carbon footprint of 16.034 kg CO₂eq per functional unit was calculated, equivalent to a box containing 1500 sachets of 6g each.

The adopted methodological approach was based on life cycle analysis, considering the cradle-to-gate life cycle assessment framework. The findings indicate that upstream processes (62%), related to material production, contribute significantly to carbon emissions. Additionally, raw material transportation (12%) and operational processes (26%) also significantly influence emission generation. These factors were incorporated into the product redesign proposal based on green engineering principles.

This proposal achieved a 42% reduction in emissions, resulting in a new carbon footprint of 9.285 kg CO₂eq per functional unit.

In summary, this research confirms the feasibility of reducing environmental impact in production through a redesign aligned with green engineering principles. These results underscore the importance of considering these principles from the early stages of projects, promoting sustainability and environmental consciousness in business practices.

KEYWORDS: carbon footprint, emissions, GHG, environmental impact, green engineering, processes.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La explotación de recursos para la producción es una problemática medioambiental que tiene efectos negativos sobre las organizaciones y sus consumidores. Por esta razón, es cada vez más importante la reestructuración de los procesos y productos en las empresas, de manera que sean menores desmedidos y más compatibles con la ingeniería verde. Por tanto, va creciendo la necesidad de que las empresas incorporen procesos y productos verdes, ciclos cerrados y reduzcan el impacto ambiental que genera su operación. En vista de ello, es conveniente utilizar la huella de carbono para cuantificar el impacto ambiental de los procesos y productos de una empresa, porque esta herramienta permite medir el CO₂ equivalente durante el ciclo de vida de un producto o servicio.

La industria alimentaria es uno de los sectores más grandes a nivel mundial y, como tal, tiene un alto consumo de energía, es más, los sistemas alimentarios son responsables de un tercio de las emisiones antropogénicas mundiales gases de efecto invernadero (GEI) (Crippa et al., 2021). El uso intensivo de energía ha llevado a un notable aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que ha resultado en el calentamiento global, uno de los problemas más graves de la humanidad. Además, la producción, almacenamiento y distribución de alimentos requieren una cantidad significativa de energía, lo que contribuye a la emisión total de dióxido de carbono (CO₂). Por lo tanto, los consumidores demandan alimentos seguros y de alta calidad producidos con el menor impacto ambiental posible (Roy et al., 2009).

Comprender los componentes responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero, a través de la huella de carbono de un producto, es útil para el diseño e implementación de medidas de mitigación viables y eficientes.

En los últimos años, las empresas han adoptado, cada vez más, la práctica de incluir el valor de su huella de carbono en las etiquetas de sus productos. Esta información en las etiquetas les permite a los fabricantes mostrar el impacto ambiental de la producción de alimentos y ayuda a los consumidores a tomar decisiones más sostenibles (Inaba et al., 2016).

Para las empresas ecuatorianas es conveniente inmiscuirse en proyectos de rediseño de sus productos y procesos para ir acorde a los intereses del consumidor, como el presentado en el Estudio Primario de Percepción sobre Consumo Responsable en el Ecuador, desarrollado por CERES junto al Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) determinó que la nueva generación de consumidores (41% de los encuestados)

deciden sus compras según criterios de sostenibilidad y ecoetiquetas del producto (El Universo, 2022). Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Adicionalmente, estos estudios permiten a las empresas participar en los programas propuestos por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición para reducir emisiones que ofrecen beneficios como empresa. Por ejemplo, en mayo del presente año, el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica con apoyo del PNUD socializaron el Programa Ecuador Carbono Cero – PECC, buscando promover la acción climática en el sector productivo del país que trae como beneficios no solo la reducción de emisiones, sino reducción de costos operativos, unido a una mejor imagen corporativa y por ende el reconocimiento y valoración de sostenibilidad en el mercado, consiguiendo además, el acceso a incentivos tributarios y laborales y por otro lado el uso de la marca Punto Verde. El principal beneficio de la certificación Ecuatoriana Ambiental Punto Verde es el posicionamiento competitivo en el mercado nacional y el uso del logo, que es un indicador visible ante los ojos del consumidor del compromiso empresarial con la producción limpia y el mejoramiento del desempeño ambiental (PNUD Ecuador, 2023).

En consecuencia, a la problemática mencionada, se propuso el rediseño de un producto y de sus respectivos procesos pertenecientes al sector de alimentos, utilizando los principios de la ingeniería verde, para reducir la huella generada y reducir el impacto sobre el ambiente y los consumidores. Así pues, se ha seleccionado el caso particular el producto “aderezo de Mayonesa baja en calorías Rey Sabor” como producto alimenticio y como herramienta la norma ISO 14067 dado que es el estándar con mayor proyección de expansión y uso internacional a futuro y es la norma reconocida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización en el país.

1.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de rediseño del proceso de elaboración del producto, que permita minimizar el impacto ambiental generado por el producto “Aderezo de mayonesa baja en calorías” de la microempresa “Rey Sabor” utilizando los principios de la ingeniería verde y el análisis de la huella de carbono.

1.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar el producto “Aderezo de mayonesa baja en calorías Rey Sabor” mediante su proceso de elaboración, ciclo de vida y flujo de materiales y energía.

2. Evaluar la huella de carbono generada por el producto “Aderezo de mayonesa baja en calorías Rey Sabor” y su proceso de elaboración y sus efectos sobre el impacto ambiental.
3. Diseñar una propuesta de mejora para el producto “Aderezo de Mayonesa baja en calorías Rey Sabor” y su proceso de elaboración que combine los principios de la ingeniería verde y el análisis de huella de carbono.

1.3 Alcance

Se realizará una propuesta de rediseño para reducir el impacto ambiental del producto “Aderezo de Mayonesa baja en calorías” de la empresa “Rey Sabor” perteneciente al sector de la industria de alimentos en la provincia de Pichincha, utilizando como herramienta de evaluación del impacto ambiental la huella de carbono de producto. Se ha escogido el “Aderezo de Mayonesa baja en calorías” porque es un producto de gran consumo en el país, dado que se utiliza como acompañamiento en multitud de platos internacionales. Especialmente en el Ecuador, es consumida por el 71,6% de las familias según datos del Sistema Integrado de Consulta de Clasificaciones y Nomenclaturas (SIN, 2008). El impacto ambiental que genera este producto está asociado a todo su ciclo de vida, puesto que se pueden asociar emisiones a la producción y comercialización del producto. La evaluación de la huella de carbono es un requisito necesario para ingresar a varios mercados internacionales, donde se considera el factor ambiental como una variable importante en la decisión de los consumidores (Frohmann & Olmos, 2013). La evaluación de la huella de carbono del producto alimenticio “aderezo de Mayonesa baja en calorías”, fabricados en la empresa “Rey Sabor” de la provincia de Pichincha, permitirá a través de la propuesta de mejora, optimizar recursos, minimizar los costos a largo plazo y mejorar la imagen empresarial ante sus clientes. Adicionalmente, este trabajo permitirá generar una base para una cultura empresarial responsable con el medio ambiente. Finalmente, la evaluación del impacto ambiental con sus respectivos planes de mejora es información útil para la empresa que tendrá futuras aplicaciones prácticas y que podrá servir como inicio para rediseñar el resto de sus productos y procesos.

La metodología contemplará y considerará a) una fase de revisión bibliográfica, b) una fase de levantamiento de la información del producto para definir su proceso de fabricación, ciclo de vida y flujo de materiales y energía, c) una fase de medición y evaluación de la huella de carbono de producto utilizando como guía la norma ISO 14067 y por último, d) una fase de análisis de resultados y de rediseño del producto a partir de la combinación de los hallazgos encontrados y de los principios de la ingeniería verde.

1.4 Marco teórico

La ingeniería verde

La ingeniería verde se define como “el diseño, la comercialización y el uso de procesos y productos que son factibles y económicos al mismo tiempo que reducen la generación de contaminación en la fuente y minimizan el riesgo para la salud humana y el medio ambiente” (US EPA, s/f). Dicho de otra manera, la ingeniería verde promueve el equilibrio entre la viabilidad económica y la eficiencia fomentando la sostenibilidad y la preservación del medio ambiente implementando la toma de decisiones sobre el impacto ambiental desde las etapas del diseño y desarrollo de un proceso o un producto.

La ingeniería verde solicita al diseñador que incorpore, en el proceso de diseño de productos, actitudes, valores y principios ambientalmente conscientes, combinados con la ciencia, la tecnología y la práctica profesional de la ingeniería, todos dirigidos a mejorar la calidad ambiental local y global. Sin embargo, el diseño también debe ser factible y debe cumplir con los fundamentos de la ingeniería: dar prioridad a la seguridad, la salud y el bienestar del público. La ingeniería verde sugiere como enfoque principal el reconocimiento de la importancia de la sostenibilidad (Jena et al., 2020).

Las nuevas perspectivas, metodologías y tecnologías de la ingeniería verde demuestran la capacidad de abordar algunos de los mayores desafíos de sostenibilidad. La ingeniería verde identifica métodos para usar materias primas renovables, minimizar el consumo de energía y disminuir los impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente para lograr estos objetivos al tiempo que aumenta la eficiencia, la productividad y la rentabilidad, este doble objetivo de los beneficios ambientales y económicos es esencial para cualquier enfoque hacia la sostenibilidad (Anastas et al., 2001).

Graedel y Allenby en su libro *Ecología Industrial e Ingeniería sostenible*, proponen a la ingeniería verde como el diseño e implementación de soluciones de ingeniería que tienen en cuenta los problemas ambientales a lo largo del ciclo de vida del diseño. La ingeniería verde busca conseguir los objetivos de un diseñador de procesos industriales y prevenir la contaminación, reducir el riesgo ambiental y realizar el diseño del proceso desde una perspectiva del ciclo de vida. Sumado a esto, proponen que la filosofía de la ingeniería verde se puede emplear en cualquier lugar donde los ingenieros estén transformando materiales y usando energía, es decir, sugiere que la ingeniería verde puede usarse en combinación con cualquier otra área de la ingeniería (Graedel & Allenby, 2010).

La ingeniería verde se formuló en base a 12 principios y aparece en el 2003 como una extensión de los principios de la química sostenible o química verde siendo formulados por Anastas y Zimmerman en torno a dos conceptos principales: inherencia y consideraciones de ciclo de vida (Gómez, 2008). A continuación, se detalla cada concepto:

- a) Inherencia: Hace referencia al uso de técnicas tecnológicas de control que disminuyan la probabilidad de fallas en el diseño del producto, por ejemplo, a través del tratamiento de efluentes de aguas residuales o de depuradores de aire, minimizando el impacto de los productos.
- b) Consideraciones de ciclo de vida: Las decisiones ingenieriles tienen impacto a lo largo de todas las fases del ciclo de vida de un producto, desde la obtención de insumos y materia prima hasta la disposición final del producto agotado, desde el proceso hasta el desecho o desmantelamiento. Estas decisiones sobre el ciclo de vida se tienen que tomar en términos de uno de materiales y energía (Gómez, 2008).

En un artículo publicado en la revista “Química Verde” en 2008, se presentan los 24 Principios de La Ingeniería Verde y la Química Verde en términos de mejoras y productividad, dirigiendo los principios de la ingeniería verde hacia la mejora o “improvements” en inglés y se describen a continuación:

1. Intrínsecamente no peligroso y seguro
2. Minimizar la diversidad de materiales
3. Prevención en lugar de tratamiento
4. Entradas de material y energía renovables
5. Diseño dirigido por salidas
6. Muy simple
7. Uso eficiente de la masa, la energía, el espacio y el tiempo
8. Satisfacer la necesidad
9. Fácil de separar por diseño
10. Redes de intercambio de masa y energía locales
11. Probar el ciclo de vida del diseño.
12. Sostenibilidad a lo largo del ciclo de vida del producto (Tang et al., 2008).

Empero, todas las fuentes de información dirigen los doce principios entorno a las siguientes ideas comunes presentadas en forma de resumen:

1. “Esencial” mejor que “circunstancial”.
2. Prevención en lugar de tratamiento.

3. Diseñar para la separación.
4. Maximizar la eficiencia.
5. “Producción” mejor que “materias primas”
6. Conservar la complejidad.
7. “Durabilidad” mejor que “inmortalidad”
8. Afrontar la necesidad, minimizar el exceso.
9. Minimizar la diversificación de materias primas.
10. Integrar los flujos de materia y energía.
11. Diseño de un uso comercial de productos más allá de su vida útil.
12. “Renovable” mejor que “agotable” (García & Dobado, 2008).

En base a esta filosofía, Graedel & Allenby (2010) mencionan estos 12 principios de una forma amplia y con énfasis en el proceso y el producto final junto a la atención en todo el ciclo de vida, desde la extracción de materiales hasta la obsolescencia y el reciclaje del producto. Estos doce principios de la ingeniería verde ponen como objetivo la etapa de fabricación del producto considerando la prevención de la contaminación y serán los que se utilicen para la propuesta de rediseño, por lo tanto, se detallan a continuación:

1. “Los diseñadores deben esforzarse por garantizar que todas las entradas y salidas de materiales y energía sean tan intrínsecamente inofensivas como sea posible” (Graedel & Allenby, 2010). Esto implica que los diseñadores tienen la responsabilidad de asegurarse de que todos los materiales y la energía utilizados en un producto o proceso sean lo menos dañinos posible. Se les insta a considerar cuidadosamente las fuentes de materiales y energía utilizadas, así como los efectos que pueden tener en el medio ambiente y la salud humana. El objetivo es minimizar los impactos negativos y promover prácticas más sostenibles, buscando alternativas más seguras y respetuosas con el medio ambiente en el diseño y desarrollo de productos.

2. “Es mejor prevenir la formación de desechos que tratarlos después de que se hayan formado” (Graedel & Allenby, 2010). En vez de centrarse en la gestión y el tratamiento de los desechos cuando se generen, es más eficiente y beneficioso adoptar medidas preventivas para evitar su formación en primer lugar. Esto implica tomar decisiones conscientes y adoptar prácticas que reduzcan la generación de residuos, como el uso de materiales reciclables, la reutilización de productos, la minimización del consumo y la adopción de prácticas de producción más sostenibles. Al prevenir la formación de desechos, se reducen los impactos ambientales y se promueve un enfoque más sostenible hacia la gestión de los recursos.

3. "Las operaciones de separación y purificación deben diseñarse para minimizar el consumo de energía y el uso de materiales" (Graedel & Allenby, 2010). Esto implica, buscar alternativas que reduzcan la cantidad de energía necesaria para llevar a cabo las operaciones de separación y purificación, así como optimizar el uso de materiales, evitando desperdicios innecesarios. Al minimizar el consumo de energía y el uso de materiales, se reducen los impactos ambientales asociados y se promueve la eficiencia en el proceso industrial.

4. "Los productos, procesos y sistemas deben diseñarse para maximizar la eficiencia de masa, energía, espacio y tiempo" (Graedel & Allenby, 2010). Maximizar la eficiencia de masa implica utilizar la menor cantidad de materiales posibles y puede lograrse mediante el diseño de productos más ligeros y la reducción de empaques innecesarios. Además, se puede lograr maximizar la eficiencia energética mediante el uso de tecnologías más eficientes, la implementación de prácticas de conservación de energía y la utilización de fuentes de energía renovable. Con respecto a la maximización de la eficiencia, puede lograrse mediante un diseño compacto, la optimización del espacio de almacenamiento y la planificación eficiente de las instalaciones. Y, por último, maximizar la eficiencia de tiempo puede lograrse mediante la optimización de flujos de trabajo, la automatización de tareas repetitivas y la mejora de la logística.

5. "Los productos, los procesos y los sistemas deben ser "extraídos de la salida" en lugar de "impulsados por la entrada" mediante el uso de energía y materiales" (Graedel & Allenby, 2010). Se refiere a aprovechar al máximo los recursos y productos que ya están presentes en el sistema, reutilizándolos o reciclándolos en lugar de desecharlos, donde se busca cerrar los ciclos de materiales y energía para minimizar el desperdicio y maximizar la eficiencia.

6. "La entropía y la complejidad incrustadas deben verse como una inversión al tomar decisiones de diseño sobre reciclaje, reutilización o disposición beneficiosa" (Graedel & Allenby, 2010). Indica considerar a estos factores con una inversión, reconocer el valor potencial que aún pueden tener los productos o materiales incluso cuando se consideran como "residuos".

7." La durabilidad objetivo, no la inmortalidad, debe ser un objetivo de diseño" (Graedel & Allenby, 2010). Se refiere a diseñar productos con una vida útil suficientemente larga para cumplir con su propósito y satisfacer las necesidades del usuario, pero sin aspirar a que sean indestructibles o eternos.

8. “El diseño de soluciones de capacidad o habilidad innecesarias (p. ej., "talla única") debe considerarse un defecto de diseño” (Graedel & Allenby, 2010). Es decir, se debe priorizar el diseño centrado en el usuario y la adaptación a las necesidades individuales.

9. “La diversidad de materiales en los productos de múltiples componentes debe minimizarse para promover el desmontaje y la retención de valor” (Graedel & Allenby, 2010). O sea, utilizar materiales similares o compatibles en lo posible, reduciendo la cantidad de plásticos, metales u otros materiales presentes en el producto para que se recupere eficientemente recursos promoviendo una mejor gestión de recursos y facilita la transición hacia modelos de economía circular más eficientes y sostenibles.

10. “El diseño de productos, procesos y sistemas debe incluir la integración y la interconectividad con los flujos de energía y materiales disponibles” (Graedel & Allenby, 2010). En otras palabras, considerar cómo se relacionan y se integran con los recursos existentes, con el objetivo de lograr una mayor eficiencia, sostenibilidad y aprovechamiento de recursos en todas las etapas del ciclo de vida.

11. “Los productos, procesos y sistemas deben diseñarse para funcionar en una “vida después de la muerte” comercial” (Graedel & Allenby, 2010). Dicho de otra forma, se busca que sean diseñados de manera que puedan tener una segunda vida o ser reintegrados en nuevos ciclos comerciales.

12. “Los insumos de materiales y energía deben ser renovables en lugar de agotarlos” (Graedel & Allenby, 2010). Por ejemplo, es preferible utilizar fuentes de energía renovable, como la solar, eólica, hidroeléctrica o geotérmica que se renuevan de forma natural, a diferencia de los combustibles fósiles que son limitados y no sostenibles dado los impactos ambientales negativos asociados a su extracción y consumo.

Los principios de la ingeniería verde buscan encontrar el equilibrio entre sustentabilidad y producción y actualizar una nueva técnica de ingeniería. Se destaca el enfoque de productos basados en sistemas, que se centra en los impactos del producto, considerando todos los procesos a lo largo de su ciclo de vida desde la extracción de materia prima hasta su desecho, o en otros términos la evaluación del ciclo de vida del producto. Este enfoque, busca rastrear y medir el flujo de material y de energía relacionadas con empresas, procesos, productos, materiales y sustancias asociadas a la producción de un producto (Medina, 2022).

En resumen, la ingeniería verde busca generar el enfoque de desarrollo sostenible, generando una coexistencia entre la prosperidad y los límites de los sistemas ambientales.

Sin embargo, actualmente es difícil lograr esta coexistencia dados los niveles de consumo y producción inherentemente insostenibles de la actualidad, que colaboran al cambio climático y generan una fuerte presión sobre el medio ambiente.

El cambio climático y emisiones de gases de efecto invernadero

El cambio climático es un fenómeno que se evidencia a escala global que sugiere un proceso de variación a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Esto debido a que los principales emisores de gases de efecto invernadero como la industria, la energía y el transporte siguen realizando sus actividades como lo han venido haciendo los últimos 200 años (Naciones Unidas, 2023a). Cabe destacar que el cambio climático implica un aumento de la temperatura promedio de la Tierra y también impactos múltiples y variados en diferentes regiones, ecosistemas, ciudades y hábitats mundo, aumentando la vulnerabilidad de cada uno. Dicho de otra manera, el cambio climático no solo representa un desafío ambiental, sino también un desafío para el desarrollo, con posibles impactos significativos en la sociedad, la economía y los ecosistemas (Valderrama, 2018).

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son sustancias emitidas como un subproducto no intencional de diversas actividades económicas, que atrapan el calor en la atmósfera y contribuyen al calentamiento global teniendo consecuencias negativas sobre la población afectando a la salud, a las actividades económicas y por ende al bienestar general (Abdón Cifuentes, 2022). Es fundamental comprender que, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2018), define que un gas de efecto invernadero (GEI) es un componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación, y ocasiona el efecto invernadero. Entre los gases de efecto invernadero se encuentran el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃), el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (Masson et al., 2019).

En 2015, casi 200 países acordaron en el Acuerdo de París trabajar juntos para limitar el aumento de la temperatura global por debajo de los 1,5° centígrados (Cartes Mena, 2021). Este compromiso implica realizar cambios sostenibles en las actividades productivas, económicas y de consumo, así como implementar políticas climáticas efectivas para alcanzar los objetivos establecidos. La mayoría de los países, han iniciado proyectos para cuantificar los efectos de los GEI, que son los principales impulsores del cambio climático y el calentamiento global. De la misma forma, este acuerdo exigió que sea necesario reducir las emisiones para el 2030 alrededor de un 45% y en 2050 alcanzar el objetivo de

“cero netos”, que consiste en recortar las emisiones de GEI hasta hacerlas nulas (Naciones Unidas, 2023b).

El concepto gases de efecto invernadero (GEI) está estrechamente relacionado con la huella de carbono en el contexto de la crisis climática. Los GEI liberados atrapan el calor en la atmósfera, lo que contribuye al calentamiento global y los cambios climáticos. La huella de carbono, por otro lado, es una medida de la cantidad de emisiones de GEI liberadas directa o indirectamente por un individuo, una organización o un producto. Cuanto mayor sea la huella de carbono, mayor será la contribución al cambio climático y sus consecuencias. Por lo tanto, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es esencial para disminuir nuestra huella de carbono y mitigar el impacto negativo en el clima y el medio ambiente.

Huella de carbono

La huella de carbono es una herramienta clave para evaluar el impacto ambiental causado por las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el cambio climático. La Huella de Carbono (HdC) es el concepto que ha recibido mayor atención por parte de las organizaciones, principalmente debido a que su utilización se ha convertido en un factor competitivo importante y un acceso a los mercados (Valderrama, 2018).

La Huella de Carbono es un medidor que representa las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en términos de toneladas de dióxido de carbono equivalente generadas directa e indirectamente por una empresa o durante el ciclo de vida de un producto a lo largo de la cadena de producción, a veces incluyendo también su consumo, recuperación al final del ciclo y su eliminación (Espíndola & Valderrama, 2016).

La HdC considera los 6 GEI identificados en el protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) y se cuantifica en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO₂e). El CO₂e es el resultado del producto de las emisiones de cada uno de los 6 GEI por su potencial calentamiento global al cabo de 100 años (Frohmann, 2013).

Este indicador ha adquirido importancia y se ha popularizado, lo que ha llevado al desarrollo de varias metodologías para su cálculo, por ejemplo, el GHG Protocol que es la herramienta más extendida a nivel global y ampliamente empleado para la generación de informes voluntarios de emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, se tiene a la familia de las normas ISO 14060 enfocadas a brindar transparencia y consistencia en la cuantificación, seguimiento, informe, así como la validación o verificación de las

emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero, Ahora bien, esta familia incluye a normas como la ISO 14064-1, enfocada a la cuantificación de GEI para organizaciones, así como también incluye a la ISO 14067 que establece los principios, requisitos y pautas para la medición total o parcial de la huella de carbono de los productos (Wu et al., 2015).

Según la norma ISO 14064-1:2019, para realizar la cuantificación y reducción de la huella de carbono es indispensable definir correctamente los límites de la organización de manera que se puedan consolidar las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. Además, las organizaciones deben identificar por separado las emisiones directas e indirectas para evaluar la significancia de estas. Las emisiones se pueden separar en emisiones y remociones directas de GEI, emisiones indirectas de GEI por energía importada, emisiones indirectas de GEI por transporte, emisiones indirectas de GEI por productos utilizados por la organización, emisiones indirectas de GEI asociadas con el uso de productos de la organización y emisiones indirectas de GEI por otras fuentes.

Es pertinente profundizar los conceptos de huella de carbono de producto y de norma ISO 14067 dado que son la base para el desarrollo de este trabajo.

Huella de carbono de producto (HCP) e ISO 14067:2018

La huella de carbono de un producto es la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al ciclo de vida completo del producto, que contempla las emisiones desde la extracción de materias primas, transporte, fabricación, distribución y comercio, uso y gestión de residuos. Se expresa en toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) y se obtiene con un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y refleja el impacto ambiental del producto en cuanto al cambio climático. La huella de carbono de un producto es un indicador que permite evaluar y comparar su contribución a las emisiones de GEI, lo que ayuda a identificar oportunidades para reducir dichas emisiones y promover prácticas más sostenibles. Por ejemplo, las empresas pueden disminuir su huella de carbono mediante la optimización del transporte, la reducción del consumo de materias primas, así como el ahorro en servicios de energía y agua, entre otras actividades. Además, esta reducción de la huella de carbono proporciona ventajas competitivas, minimiza los costos operativos y garantiza el cumplimiento de los estándares internacionales requeridos (Diggle et al., 2013; Sanyé-Mengual et al., 2014).

La ISO14067 es la norma utilizada para la medición y comunicación de la Huella de Carbono de Producto, incluyendo bienes y servicios, dado que es clara específica y pertinente en las políticas, principios, requisitos y directrices para la cuantificación de los

GEI que son resultantes de la fabricación de un producto y a la vez indica pautas para la creación de un plan de reducción de los GEI (Santana et al., 2020).

Según la norma ISO 14067:2018, define la huella de carbono de producto HCP como la suma de emisiones de GEI y remociones en un sistema producto, expresadas como CO2 equivalente y con base en un análisis de ciclo de vida utilizando una sola categoría de impacto, la de cambio climático. Es importante considerar que el sistema producto es el conjunto de procesos unitarios en el que existen flujos de materia o energía (International Organization for Standardization, 2018).

Así, esta norma incluye el término Huella de Carbono de Producto Parcial, que se refiere a la suma de emisiones de gases de efecto invernadero y remociones de uno o más procesos seleccionados de un sistema producto, expresadas como CO2 equivalente y según las etapas o procesos pertinentes dentro del ciclo de vida.

La norma ISO 14067 es de utilidad para las organizaciones dado que a través del uso del análisis del ciclo de vida del producto ofrece beneficios para la evaluación de la HcP y la identificación de los principales impactos ambientales de un producto o proceso a lo largo de toda su historia, de forma que permite una mejor comprensión y la generación de estrategias y planes eficientes y coherentes para la reducción de la huella de carbono (Prasara & Gheewala, 2019).

La huella de carbono enfocada en el producto deriva del desarrollo científico y normativo del análisis del ciclo de vida (ACV). De esta forma es importante desarrollar en este trabajo dicho concepto.

Análisis de Ciclo de vida del producto

El ciclo de vida de un producto consiste en las etapas por las que atraviesa un producto desde la adquisición de recursos naturales o materia prima para su producción hasta su disposición. Por otro lado, el análisis de ciclo de vida implica evaluar los impactos ambientales de un producto, proceso o actividad, a través de la huella de carbono, a lo largo de toda su cadena de valor; esta evaluación contempla información acerca de las entradas, salidas e impactos ambientales asociados a las fases involucradas en la transformación del producto (Wohner et al., 2020).

El análisis de ciclo de vida (ACV) se define como un procedimiento para evaluar cargas energéticas y ambientales asociadas hacia un proceso o actividad, que incluye la identificación de materiales y energía utilizados y emitidos hacia el entorno. Esta herramienta metodológica es útil para medir el impacto ambiental potencial de un sistema

producto a lo largo de todo su ciclo de vida y mediante la recopilación y análisis de entradas y salidas del sistema permite desarrollar estrategias que reduzcan el impacto generado por las mismas (Álvarez, 2015a).

Ahora bien, el análisis de entradas y salidas debe considerar a detalle todo el conjunto de primeras fases relativas como por ejemplo la extracción de materias primas, la fabricación de componentes, el procesado de materiales necesarios, ensamblado, uso del producto y gestión final; así como también las fases de transporte, almacenaje, distribución y actividades intermediarias que puedan surgir (Crippa et al., 2022).

Las etapas fundamentales del Análisis de Ciclo de Vida que permiten comprender y evaluar los impactos ambientales de un producto o proceso a lo largo de su ciclo de vida completo contemplan:

1. Definición de objetivos y alcance: es importante establecer los objetivos que se persiguen con el ACV. Se deben exponer los motivos para llevar a cabo el análisis y definir su alcance.
2. Inventario del Ciclo de Vida: En esta fase, se identifican y cuantifican todas las entradas y salidas que pueden causar impacto potencial durante el análisis. Se recopilan los datos y se establecen los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar los efectos ambientales adversos asociados al proceso o producto estudiado.
3. Evaluación de los Impactos del Ciclo de Vida: Aquí se establece una relación entre las entradas y salidas identificadas en el inventario y los posibles impactos en el medio ambiente.
4. Interpretación de resultados: Después de realizar el ACV, se identifican las fases o elementos del ciclo de vida del producto que generan las principales cargas ambientales. Estos elementos clave serán fundamentales para implementar mejoras, ya que son los responsables de los mayores impactos ambientales (Santana et al., 2020).

1.5 La empresa

REY SABOR es una microempresa ecuatoriana, productora y comercializadora de alimentos, con casi 4 años de experiencia en el sector de alimentos que se dedica a la elaboración de distintos tipos de aderezos. Se encuentra ubicada en el sector Carcelén, cantón Quito de la provincia de Pichincha. Su actividad económica se basa en la elaboración de salsas líquidas: Mayonesa baja en calorías, salsas de tomate, mostaza, salsa BBQ, sucedáneo de vinagre, ají, etc. La empresa tiene como objetivo

principal satisfacer la demanda de los consumidores mediante la producción de aderezos y salsas de calidad, poniendo énfasis en los mejores e innovadores procesos de producción para hacer que sus productos otorguen una deliciosa experiencia en el consumidor al degustarlo.

Es importante recalcar que parte de su visión es ser una marca reconocida en el mercado a nivel nacional, mejorando la calidad mediante la aplicación de tecnología en forma continua.

Productos

REY SABOR produce diferentes productos de aderezos y salsas líquidas en distintos envases y presentaciones como se menciona a continuación en la Tabla 1.1.

Tabla 1 Productos de la marca “Rey Sabor”

PRODUCTOS	Presentaciones del producto
Mayonesa baja en calorías baja en calorías	Balde de 3.8 kg
	Balde de 3.5 kg
	Envase de 2kg
	Envase de 1kg
	Envase salsero de 400 mg
	Caja de 1500 unid de sachet de 6g
	Caja de 1000 unid de sachet de 6g
Salsa de tomate	Galón tiburón de 3.5 kg
	Galón de 2 kg
	Galón de 1 kg
	Envase salsero de 400 mg
	Caja de 1500 unid de sachet de 6g
	Caja de 1000 unid de sachet de 6g
Salsa BBQ	Galón tiburón de 3.5 kg
	Galón de 2 kg
	Galón de 1 kg
Mostaza	Balde de 3.8 kg
	Balde de 3.5 kg
	Envase de 2kg
	Envase de 1kg
Salsa de Ají	Envase de 1kg
Sucedáneo de vinagre sabor manzana verde Sucedáneo de vinagre sabor manzana Vinagre condimentado	Galón tiburón de 3.5L
	Galón de 2 L
	Galón de 1 L
	Envase PET 500 ml

Aderezo de mayonesa baja en calorías Rey Sabor

El aderezo de mayonesa es una salsa emulsionada ampliamente utilizada en la gastronomía, cuya producción industrial implica una cuidadosa combinación de ingredientes para obtener un producto de alta calidad y sabor consistente.

La mayonesa es una emulsión por la forma en que se combinan y se mantienen juntos dos líquidos inmiscibles, el aceite y el agua, para formar una mezcla uniforme y estable. Los principales componentes son el aceite, el agua y el huevo. La yema de huevo actúa como un agente emulsionante debido a su contenido de lecitina, una molécula que tiene una parte hidrófila (afinidad por el agua) y una parte lipófila (afinidad por el aceite). Cuando se bate el huevo con el aceite y otros ingredientes ácidos las moléculas de lecitina se alinean entre el aceite y el agua, creando una especie de puente que estabiliza las pequeñas gotas de aceite en la mezcla, lo que facilita la dispersión y la formación de la emulsión. A esta mezcla se le suelen añadir otros ingredientes como sabores artificiales, sal, azúcar, gomas estabilizadoras y conservantes que ayudan a aumentar la vida de la salsa.

Una vez que la mezcla alcanza la consistencia y textura adecuadas, se envasa en recipientes estériles, listos para su distribución y venta.

En el caso del aderezo de mayonesa baja en calorías, se añade almidón modificado de maíz como sustituto de la grasa, porque permite gelatinizar la mezcla y alcanzar una consistencia suave, reduciendo el contenido de aceite y manteniendo características similares a la mayonesa común.

2 METODOLOGÍA

2.1 Diseño metodológico

Enfoque de investigación

El componente desarrollado es de enfoque mixto, dado que según (Hernández & Mendoza, 2018) este método es apropiado cuando se desea obtener una “fotografía” más completa del fenómeno que se está investigando puesto que integra de forma sistemática el método cuantitativo y cualitativo. En esta investigación se busca obtener esa visión completa sobre el impacto ambiental que genera el aderezo de mayonesa baja en calorías.

El uso del método mixto permitirá recolectar datos cuantitativos referentes a las mediciones del proceso y del flujo de materiales y energía, necesarios para la cuantificación de la huella

de carbono, mientras que la información cualitativa permitirá reconocer los puntos problemáticos del proceso, realizar una interpretación de estos y generar soluciones para reducir el impacto ambiental.

El análisis cuantitativo de los datos se realiza en el apartado de cuantificación de la huella de carbono de producto y el análisis cualitativo es reflejado, en la propuesta de mejora para reducción del impacto ambiental.

Tipo de trabajo

El objetivo de la investigación es estudiar en profundidad una unidad de análisis específica comprendida como un sistema integrado que interactúa en un contexto específico con características propias. El estudio de caso se desarrolla mediante un proceso cíclico y progresivo, parte desde la definición de un tema relevante que se quiere investigar. Se estudia a detalle el tema en la unidad de análisis mediante la recolección de datos, los cuales se analizan, interpretan, validan y permiten redactar el caso a profundidad (Bernal C, 2006). La unidad de análisis de este estudio de caso es el proceso de elaboración del aderezo de mayonesa baja en calorías “Rey sabor” y el tema relevante es el impacto ambiental que genera dicho proceso.

Del mismo modo, es descriptiva seccional, porque reseña las características del objeto de estudio en un solo momento en el tiempo (Bernal C, 2006). En este caso, la investigación se enfoca en la medición de la huella de carbono de un producto en un momento específico. No se pretende realizar un seguimiento a lo largo del tiempo, sino obtener una instantánea de la situación para analizarla en ese punto particular y se busca caracterizar todos los datos referentes al proceso de elaboración del aderezo de mayonesa baja en calorías “Rey Sabor”.

Técnica de recolección de información

La recolección de información se realizó con la entrevista, la observación, la conversación informal, correspondiente a información primaria, dado que da información directa y proviene de la fuente original (Bernal C, 2006). El análisis de documentos y referencias bibliográficas se usó para encontrar especificaciones de la maquinaria y datos sobre los factores de emisión, siendo fuentes secundarias, ya que son fuentes referenciales indirectas.

Los instrumentos principales de recolección de información son guías. Principalmente se utilizó una guía de observación de procesos (Anexo I) para levantar el diagrama de flujo, registrar flujos de materiales y energía, descripción de actividades, registro de equipos y

especificaciones y medición de tiempos de proceso y fue aplicada directamente mientras se ejecutaba la elaboración del aderezo de mayonesa baja en calorías. Por otro lado, el otro instrumento de recolección utilizado fue la guía de entrevista (Anexo II) que fue útil para recolectar información sobre las materias primas e insumos, ciclo de vida, entre otros datos.

Técnica de análisis de la información

Para analizar y procesar la información recolectada se utilizará la metodología para la cuantificación de la HCP, usando como guía la norma ISO/TS 14067 y las bases de datos abiertas de factores de huella de carbono entre ellas el Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la calculadora online de Emisiones Eco-Calc de Hapag-Lloyd.

Así mismo, para realizar todos los cálculos de cuantificación y de evaluación se utilizó una hoja de cálculo de Excel “Cálculo HCP Aderezo de Mayonesa” (Anexo III).

Por último, para la evaluación de la propuesta de rediseño para reducción de la huella de carbono, se realizaron modificaciones en los cálculos de la huella de carbono inicial en base a los resultados esperados de mejora en cada área. Estos cálculos se pueden encontrar en “Cálculo HCP Aderezo de Mayonesa con propuesta de mejora” (Anexo IV).

2.2 Metodología de cuantificación de la HCP

Para el presente estudio de caso, se seleccionó la norma ISO/TS 14067 como guía para el cálculo de la huella de carbono del producto. La principal razón es que, al ser una norma con reconocimiento internacional, el Servicio Ecuatoriano de Normalización y Metrología, INEN, entidad competente en materia de Reglamentación, Normalización y Metrología, adoptó la Norma Internacional ISO 14067:2018 como la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 14067 GASES DE EFECTO INVERNADERO – HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTOS – REQUISITOS Y DIRECTRICES como estándar para el reporte de emisiones de gases de efecto invernadero.

La norma ISO/TS-14067, establece una serie de requisitos que deben seguirse para desarrollar de forma correcta la cuantificación y comunicación de la huella de carbono de un producto (HCP).

Un estudio de la huella de carbono del producto de acuerdo con la norma 14067 presenta cuatro fases de implementación que van alineadas a las mismas fases de la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV), estas frases se muestran en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Esquema metodológico para cuantificación de la HCP

Fuente: Elaboración propia basado en (Álvarez, 2015).

Estas fases se describen a continuación, según la “Guía práctica para la aproximación a la huella de carbono” que Sergio Álvarez Gallego en su libro "La huella de carbono de los productos" (2015). Esta guía, explica a detalle los puntos que se deben incluir en cada fase.

Fase I: definición de objetivos y alcance

En esta fase se establecen los apartados correspondientes a la declaración del objetivo y alcance del estudio de la HCP, se establecen los límites de sistema, la unidad funcional, así como también el análisis de flujos de entrada y salida dentro del ciclo de vida.

La definición del objetivo se debe acompañar de la especificación de la aplicación prevista, el propósito del estudio y el público objetivo.

Además, es aquí donde se determina si existe alguna Regla de Categoría de Producto (RCP) que pueda ser relacionada al producto del que se está desarrollando el estudio. Las Reglas de Categoría de Producto (PCR) son pautas estandarizadas que definen cómo evaluar el impacto ambiental de productos en una categoría específica, permitiendo una medición coherente y comparable de su desempeño a lo largo de su ciclo de vida (*PCR Library | EPD International, s/f*).

Fase II: Elaboración del inventario

En esta fase del análisis del ciclo de vida, se recopila información de datos cuantitativos y cualitativos referentes a los flujos de entrada y salida de cada proceso del sistema producto.

Además, se establecen criterios de calidad según el tiempo, contexto geográfico, relación tecnológica y exactitud y precisión.

Además, las fuentes de recopilación de datos de la actividad se clasifican y se especifica el origen de acuerdo con mediciones in situ, datos primarios o datos secundarios. Por último, se expresan como valores numéricos los flujos relacionados a entradas y salidas de cada proceso.

Fase III: Evaluación del inventario

En esta etapa el inventario de entradas y salidas se transforma a términos de impactos ambientales potenciales. Estos impactos ambientales potenciales estarán expresados en emisiones de CO₂eq.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂eq se utilizará la metodología que consiste en multiplicar los datos recolectados de la actividad, por el factor de emisión correspondiente, esto se puede representar con la siguiente fórmula:

$$Emisiones = \sum [Datos_{Actividad} * FE]$$

Donde:

- Emisiones: Emisiones totales expresadas en kgCO₂eq/unidad
- : cantidades referentes al consumo de la actividad
- Factor de emisión expresado en kgCO₂eq/unidad

En esta etapa, se debe mencionar el criterio de asignación utilizado para el reparto de las emisiones en el caso de existir un proceso con varios productos.

Fase IV: Interpretación

En esta etapa se realiza una interpretación de los resultados obtenidos en la fase 2 y fase 3 de acuerdo con el objetivo y el alcance que se comunicó inicialmente. Los resultados se detallan según las fases del ciclo de vida. Además, se indican los procesos más relevantes en la generación de emisiones GEI y oportunidades de mejora para generar una reducción de las mismas.

3 RESULTADOS

3.1. Aproximación a la huella de carbono del producto

Fase I: definición de objetivos y alcance

Objetivo del estudio de HCP

El objetivo del presente estudio es el cálculo de la contribución potencial del “Aderezo de mayonesa baja en calorías Rey Sabor” al calentamiento global expresado en unidades de CO₂ equivalente por medio de la cuantificación de todas las emisiones y remociones significativas durante el ciclo de vida del producto (huella de carbono del producto).

El uso proyectado de este análisis de la huella de carbono de producto (HCP) no se divulgará con el público. Esta aclaración se corresponde con la directriz establecida en la norma ISO/TS 14067, ya que esta información se considerará al presentar el informe de divulgación de la huella de carbono del producto.

Finalmente, se definen los principales motivos para la realización del presente estudio de HCP.

La microempresa Rey Sabor, reconociendo la creciente preocupación por las cuestiones ambientales, ha decidido tomar una iniciativa proactiva al respecto. La empresa se ha propuesto asumir su responsabilidad en términos ambientales y, en esta línea, ha optado por evaluar su huella de carbono. En una primera fase, se ha elegido uno de sus productos alimentarios para llevar a cabo esta medición, ya que la compañía produce una variedad de estos artículos.

Esta decisión marca el comienzo de un proceso más amplio para medir la huella de carbono de todos los productos fabricados por la empresa. La motivación detrás de este enfoque radica en la necesidad de comprender el impacto ambiental de los productos ofrecidos por Rey Sabor. Esta evaluación permitirá cuantificar estos impactos y llevar un registro sistemático de ellos en los años venideros. A través de este proceso, la empresa busca demostrar su compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental.

Al implementar este proceso de medición y seguimiento de la huella de carbono, Rey Sabor se esfuerza por mejorar continuamente su desempeño ambiental. Esta iniciativa representa un paso hacia adelante para posicionar a la empresa como líder en la industria, mostrando su compromiso no solo con la calidad de sus productos, sino también con la mitigación de los impactos ambientales asociados a su cadena de producción

Determinación de Reglas de Categoría de producto

Para el desarrollo de este estudio, se utilizará como guía la PCR para Salsas, condimentos mixtos y mostaza 2010:19 versión 4.0. Incluye en la categoría de productos salsas y condimentos producidas por la mezcla de productos fríos como la mayonesa, mostaza, etc. Pero el objetivo del trabajo no es proporcionar una Declaración Ambiental de Producto certificada (EDP), más bien busca una aproximación sobre los datos ambientales del ciclo de vida del producto y se ajustará el estudio a los requisitos e información suministrada cuando sea posible.

Definición del alcance del estudio de HCP

Para definir el alcance del estudio de HCP, es necesario establecer los siguientes puntos.

- ✓ Unidad funcional:

Caja de 1500 unidades de sachet de 6g de "Mayonesa baja en calorías Rey Sabor".

- ✓ Límites del sistema

El estudio involucra un HCP Parcial debido a que la divulgación pública del estudio de HCP no está contemplada, tal como se explica en el punto de definición del objetivo.

Se procederá a calcular la huella de carbono parcial del producto y para esto existen diferentes enfoques para la medición del impacto ambiental de un producto. La figura 2.2 muestra la diversidad de enfoques y las etapas del ciclo de vida que abarca cada uno.



Figura 2.2. Criterios para el establecimiento de los límites del sistema

Fuente: (Ihobe, 2009)

En esta evaluación parcial, se adoptará el enfoque denominado "De la cuna a la puerta", en el cual se considerarán las etapas de producción del aderezo de mayonesa baja en calorías, que incluyen la producción de materias primas e insumos, el transporte de estos productos hacia la planta de producción y proceso de producción, se excluyen las etapas de uso y disposición final. Al dejar fuera estas etapas, se posibilita que estas fases sean susceptibles de implementar medidas concretas para la disminución de emisiones y se evita la inclusión de emisiones de etapas del ciclo de vida que aún no han sido desarrolladas.

La figura 2.3 muestra las etapas del ciclo de vida del producto “Aderezo de Mayonesa baja en calorías Rey Sabor”, el enfoque a utilizar y los límites del sistema en cuanto a etapas del ciclo de vida para el presente estudio de HCP parcial.

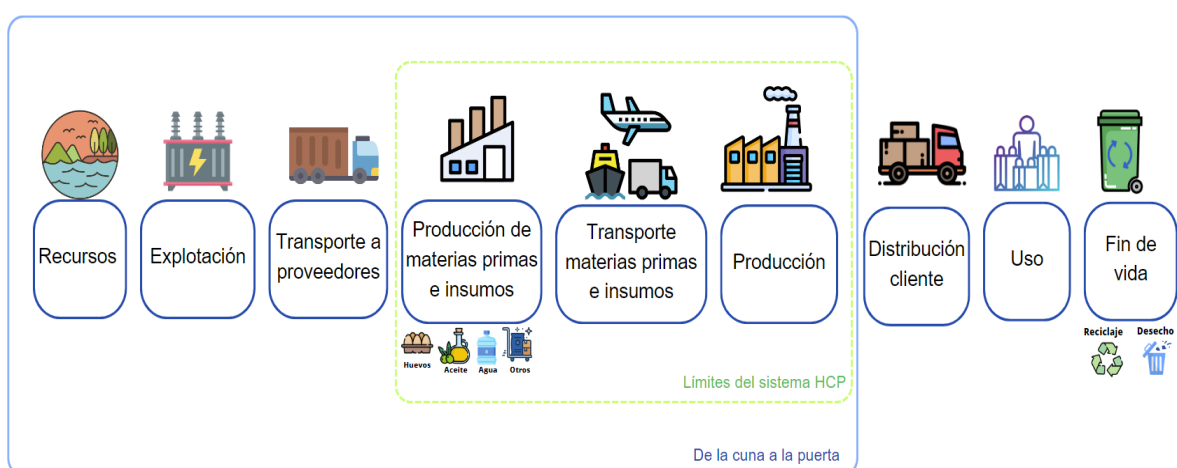


Figura 2.3 Etapas del ciclo de vida del producto, enfoque y límites del estudio HCP

Fuente: Elaboración propia

Según las directrices de la PCR para Salsas, condimentos mixtos y mostaza, a efectos de las reglas de calidad de datos y para la presentación de resultados, los procesos unitarios que forman parte del ciclo de vida del producto se deben agrupar en tres categorías: Procesos aguas arriba, procesos centrales y procesos aguas abajo. El desempeño ambiental de cada una de las categorías se debe reportar por separado y en forma agregada. A continuación, se mencionan algunos de los procesos unitarios principales que se incluyen en cada categoría, la lista completa puede consultarse en la PCR 2010:19 Salsas, condimentos mixtos y mostaza (4.0).

- ✓ Procesos aguas arriba: Agricultura; producción de plantas, semillas o esquejes para el cultivo, producción de fertilizantes en la fase de cultivo, producción de semiproductos, extracción y procesamiento de otras materias primas, entre otros.

- ✓ Procesos centrales: Transporte de materiales y componentes para la fabricación del producto en estudio, fabricación del producto en estudio, el tratamiento al final de la vida útil de los residuos de fabricación, generación de electricidad y producción de combustibles, vapor y otros portadores de energía utilizados en los procesos centrales.
- ✓ Procesos aguas abajo: transporte del producto al consumidor, uso del producto, tratamiento al final de la vida útil del producto usado y su embalaje, generación de electricidad y producción de combustibles, vapor y otros portadores de energía utilizados en los procesos posteriores.

En la tabla 2 se puede observar un resumen de los procesos que se incluirán en cada categoría en el presente estudio.

Tabla 2. Resumen de los procesos unitarios que se incluyen en el estudio por categoría

Etapas del ciclo de vida	Procesos aguas arriba	Producción de componentes de entrada
	Procesos centrales	Transporte de materia prima e insumos para la fabricación
		Fabricación del producto
		Generación de electricidad y producción de combustibles.
Procesos aguas abajo	No aplica	

Diagrama de flujo de los procesos unitarios para la elaboración del aderezo de mayonesa bajo en calorías Rey Sabor.

Una vez establecido que el alcance del estudio de la HCP contemplará únicamente los procesos asociados a las materias primas y al proceso de producción de la mayonesa, se presenta en la figura 2.4 el diagrama de flujo de procesos para la producción de aderezo de mayonesa que servirá como flujo de referencia para determinar las entradas y salidas que permitan cubrir la unidad funcional establecida.

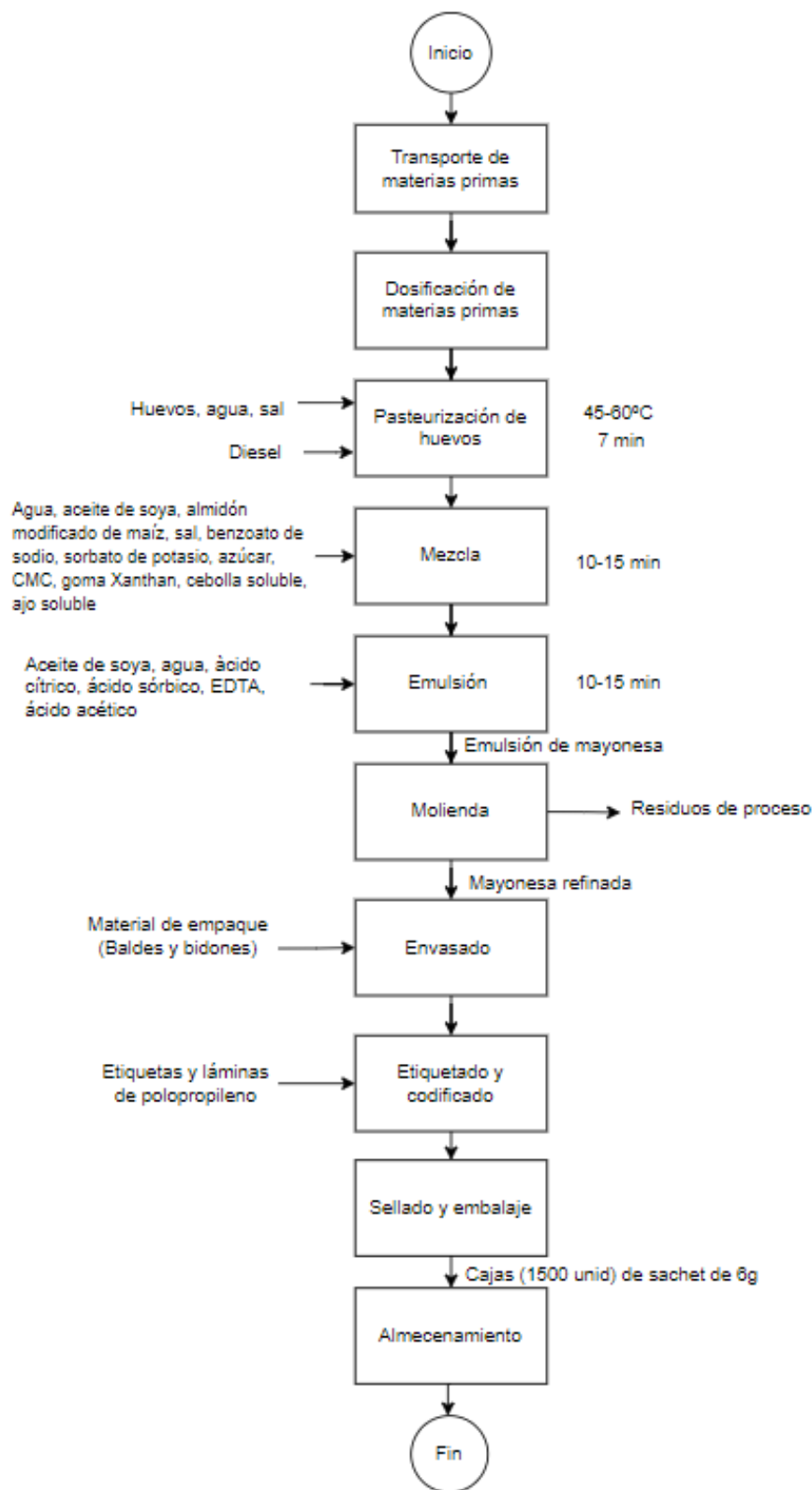


Figura 2.4. Diagrama de flujo de los procesos unitarios de la producción de aderezo de mayonesa

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los flujos de entrada y salida para los procesos unitarios

Para el análisis de los flujos de entrada y salida de los procesos unitarios, se utilizarán diagramas de flujo de materia y energía parciales, dado que se tiene la información para el balance del flujo de materia, pero no se conoce a exactitud la transformación de la energía. Además, se ha tomado como base para la descripción la información respecto a un lote de procesamiento (554.85 kg) de aderezo de mayonesa baja en calorías “Rey sabor”.

✓ Transporte de materias primas

Los proveedores locales son la fuente de obtención de las materias primas, y estos proveedores a su vez mantienen conexiones con otros proveedores a nivel nacional e internacional, como es el caso de los aditivos químicos.

En este proceso unitario, no existe un proceso de transformación de materias primas, sin embargo, existe transformación en los insumos necesarios para el transporte dado que el combustible genera emisiones de gases de efecto invernadero.

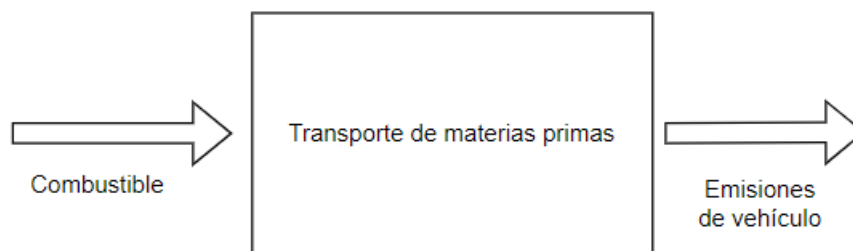


Figura 2.5 Diagrama de flujo de materia y energía proceso de transporte de materias primas

Fuente: Elaboración propia

El vehículo de la empresa compra y transporta las materias primas y se adquieren de distintos proveedores, luego, en la tabla 2.2 se presenta la lista de cada materia prima e insumos, los proveedores donde se adquirieron, su ubicación y la distancia que tuvo que viajar hasta llegar a la planta. De esta tabla, es pertinente resaltar que las materias primas que más viajan son el almidón de maíz, puesto que se produce en Alemania, pero se adquiere en una tienda de abastos cercana a la planta. Del mismo modo, el aceite de soya se produce en la provincia de Manabí, pero se adquiere en una bodega situada en Sangolquí y por último los huevos, son adquiridos en Píllaro.

Tabla 3 Proveedores de materias primas e insumos

Materia prima o insumos	Proveedor	Ubicación
Agua (20ltrs)	Yaku Vida	Jaime Roldós Aguilera y Río Cayambe
Aceite de soya (20 litros)	Goodmarcom S.A / Bodegas Sangolquí	Jaramijó- Manabí- Ecuador Sangolquí
Huevos Pasteurizados	Huevos Guamán Huevos Pillareños	El Atenson s/n y secundaria
Almidón de maíz modificado	Emsland Group Alemania	Alemania / EL merkato.com (7 km)
Azúcar	Distribuidora Alcívar	Frente al mercado de Carapungo
Sal	EMPROSAL	N13 Sebastián de Benalcázar
CMC	TOP Químicos	Río Chachavi OE12-173Y GALO PLAZA
Goma Xanthan	Solvesa Ecuador	Av. Casuarina ·100 y Km 9.5 Vía a Daule + viaje desde sucursal
Ácido acético	QSI Ecuador SA	Av. Galo Plaza Lasso 10640 y MANUEL
Ácido sórbico	3G PROVEEDORES QUIMICOS	AV. Padre Luis Vacari y Giovanni Calles
Cebolla soluble	La hormiguita de Oro	Juan Francisco Cevallos
Ácido cítrico	Harvesting	EL Arenal Lote 100 y Panamericana Norte
Sorbato de potasio	Quimatec	Ramón Borja OE2-201 y José Gole
Benzoato de sodio	Quimatec	Ramón Borja OE2-201 y José Gole
Ajo soluble	La hormiguita de Oro	Juan Francisco Cevallos
EDTA	3G PROVEEDORES QUIMICOS	AV. Padre Luis Vacaro y Giovanni Calles
Envases	Plastienvases	Bartolomé Sánchez
Diesel	COMDECSA	KIM 12 PANAMERICANA NORTE S/N
Cajas	Cartonera Pichincha	Fray Agustín León

Fuente: Elaboración propia

✓ Dosificación de materias primas

Cada materia prima debe ser medida y pesada de acuerdo con la receta. Esto se logra utilizando una báscula electrónica para pesaje preciso. La precisión en la dosificación es esencial para asegurar que se cumplan las proporciones correctas.

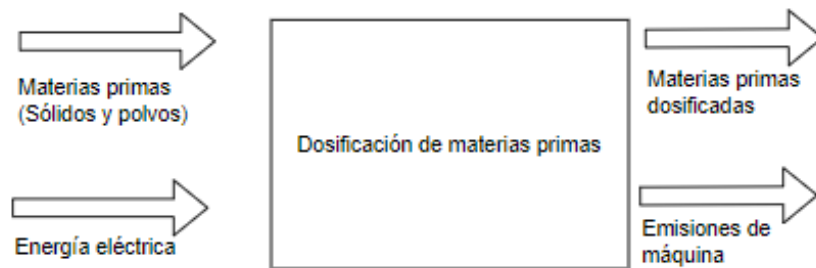


Figura 2.6 Diagrama de flujo de materia y energía proceso de dosificación de materias primas

Fuente: Elaboración propia

✓ Pasteurización de huevos

La pasteurización de huevos es un proceso esencial que aborda los desafíos de seguridad asociados con el consumo de huevos crudos o mínimamente procesados. Desde una perspectiva de ingeniería, este proceso implica la aplicación de técnicas de calentamiento controlado para eliminar los posibles patógenos presentes en los huevos. Esto se logra mediante la exposición de los huevos a temperaturas específicas durante un período determinado, seguido de un enfriamiento rápido para evitar la proliferación microbiana.

Para esto se separa y elimina manualmente las cáscaras y se somete la mezcla al proceso de pasteurización que consiste en una agitación y calentamiento en la marmita hasta que forme una mezcla homogénea y alcance una temperatura de 45°C a 60°C.

La pasteurización de huevos necesita de maquinaria como la balanza para el pesaje, el uso de una marmita para la agitación y el calor generado por un caldero de alimentación de Diesel, maquinaria que generan las emisiones de maquinaria.

Por otro lado, los huevos pasteurizados se congelan hasta que se realice la producción de mayonesa y esto ocurre normalmente dos o tres días después de la pasteurización, por la falta de creación de un plan de producción.

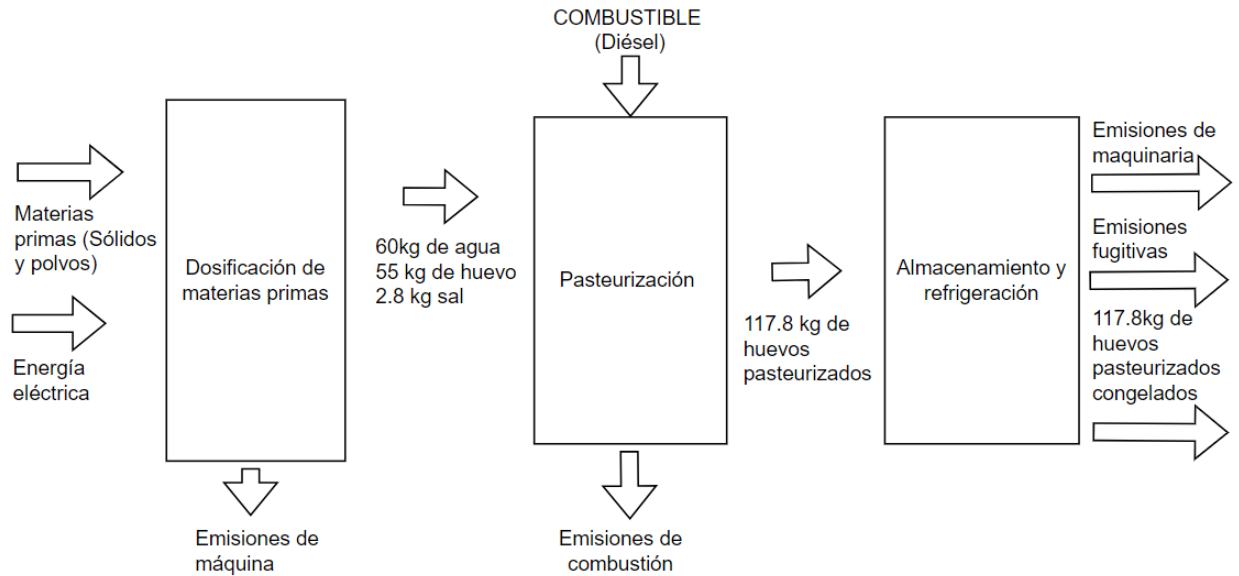


Figura 2.7 Diagrama de flujo de materia y energía proceso de pasteurización de huevos

Fuente: Elaboración propia

✓ Mezcla

Los ingredientes líquidos como el aceite, el agua y los huevos se dosifican en la marmita de agitación para mezclarse y garantizar una distribución uniforme de los ingredientes. A continuación, se adicionan los ingredientes secos y aditivos químicos. Los ingredientes secos se agregan a la mezcla en el momento adecuado dado que pueden influir en la textura, sabor y estabilidad de la mayonesa.

Para este proceso es fundamental el uso de una marmita de agitación eléctrica.

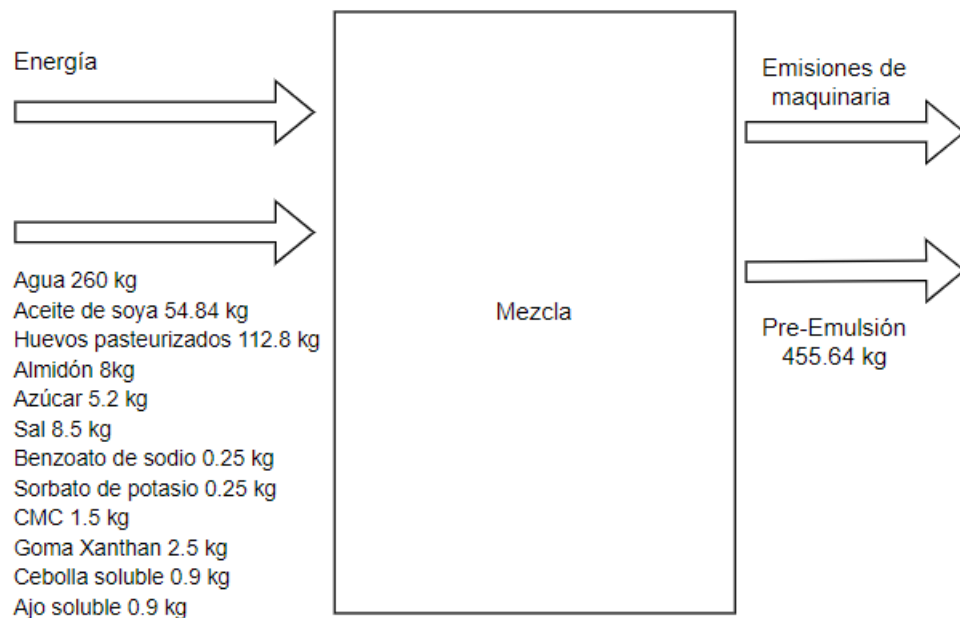


Figura 2.8 Diagrama de flujo de materia y energía proceso de mezcla

Fuente: Elaboración propia

✓ Emulsión

Una vez que todos los ingredientes están en el mezclador y se ha logrado homogenizar los ingredientes sólidos, se inicia el proceso de emulsificación añadiendo más agua y aceite junto al ácido cítrico, sórbico y acético par ayudar a la estabilidad de la emulsión de mayonesa. La emulsificación se logra mediante la agitación constante y controlada en la marmita.

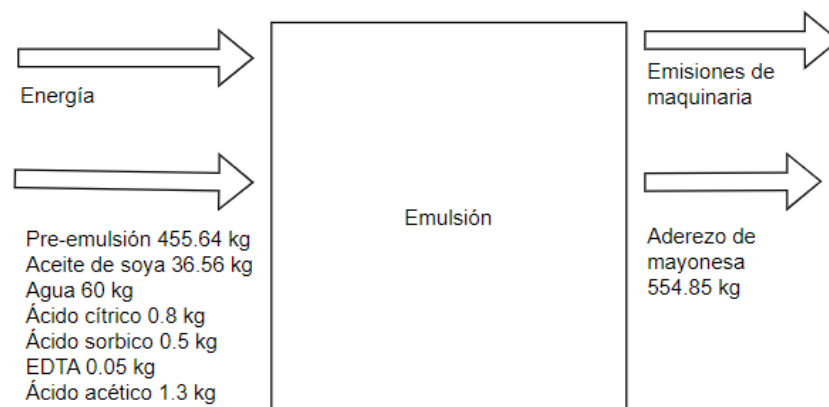


Figura 2.9 Diagrama de flujo de materia y energía proceso de emulsión

Fuente: Elaboración propia

✓ Molienda

Se somete la emulsión a un proceso en un molino coloidal, un dispositivo impulsado por un motor de alta velocidad y con espacios mínimos entre sus componentes, lo que permite la emulsión de dos líquidos. Así, se obtiene una distribución uniforme y minuciosa de las gotas de aceite y un aderezo de mayonesa mucho más fino y delicado al paladar.

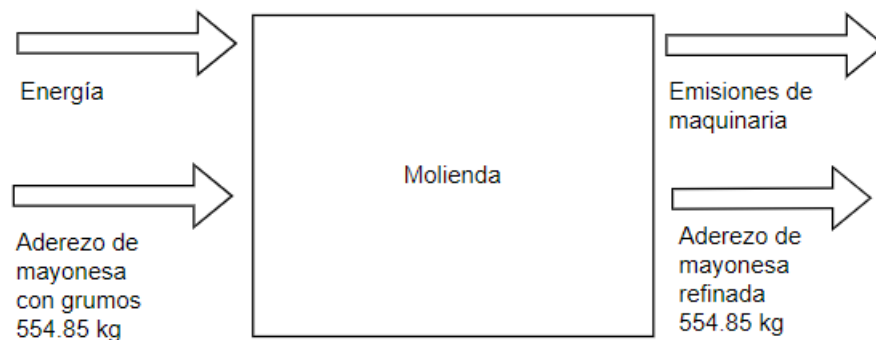


Figura 2.10 Diagrama de flujo de materia y energía proceso de molienda

Fuente: Elaboración propia

✓ Envasado

Una vez que se logra la consistencia y calidad deseada, la mayonesa se bombea o vierte en envases adecuados. Se dosifica a través del uso del molinocoloidal que bombea la mezcla y la balanza electrónica para el pesaje específico de cada envase. En este proceso se envasan en presentaciones de baldes de 3,8 kg, baldes de 3,5 kg, envases de 2 kg y 1 kg y además se dosifica en 2 bidones amarillos para almacenar la mezcla y alimentar a la máquina empacadora de sachets.

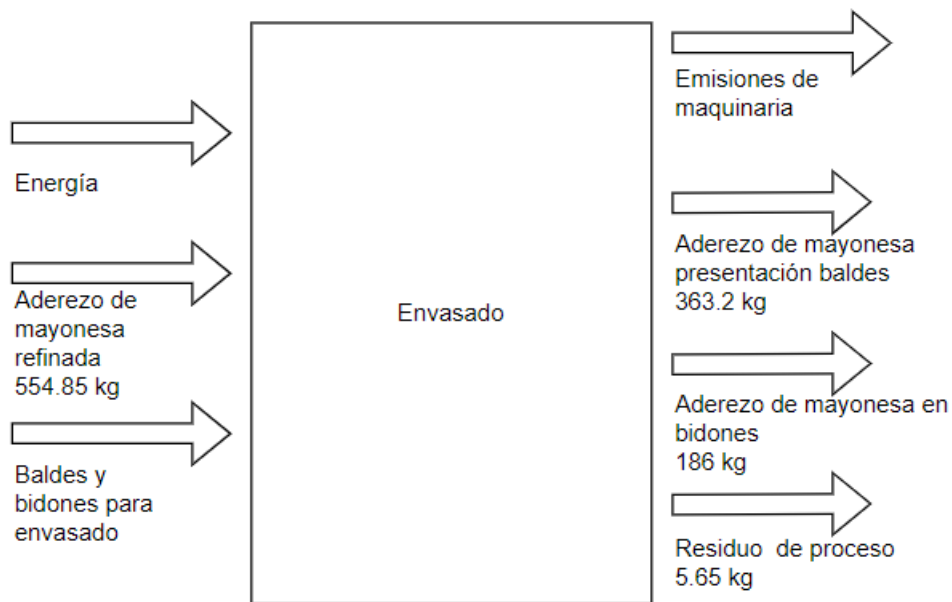
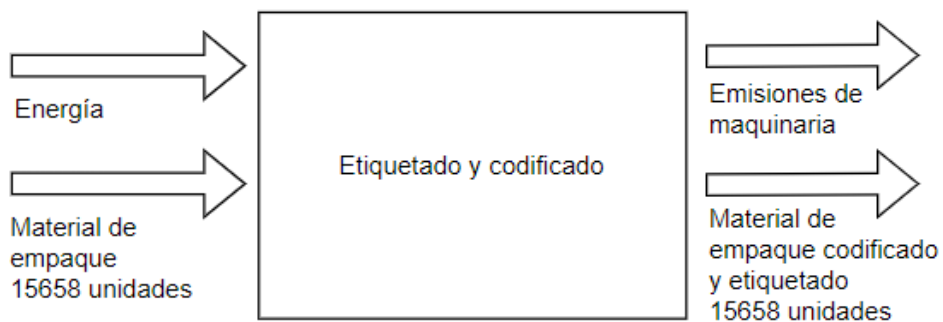


Figura 2.11 Diagrama de flujo de materia y energía proceso de envasado

Fuente: Elaboración propia

✓ **Etiquetado y codificado**

Los envases y el rollo de lámina para sachet se etiquetan con información respecto al lote y las fechas de elaboración y expiración, a través del uso de una máquina codificadora manual.



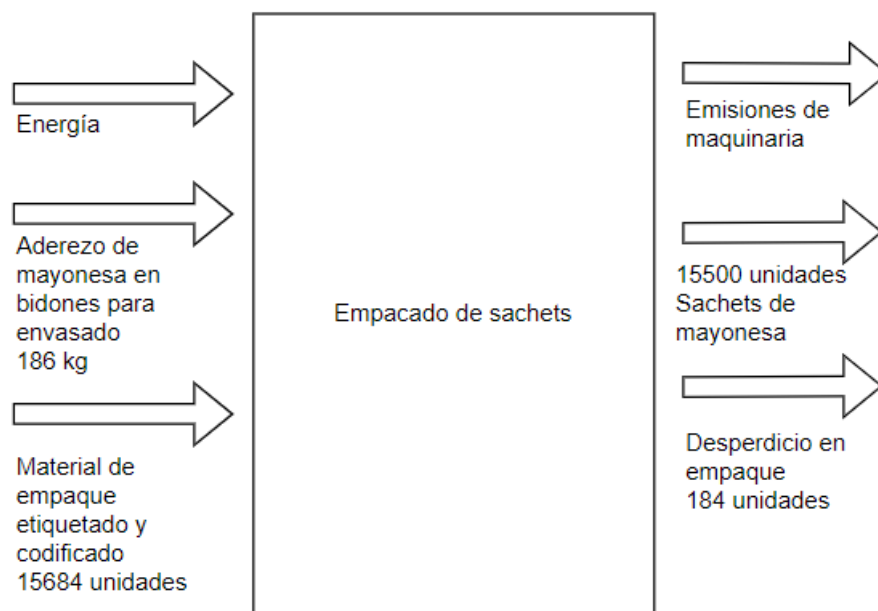
Fuente: Elaboración propia

Figura 2.12. Diagrama de flujo de materia y energía proceso de etiquetado y codificado

✓ Empacado de sachet

La mayonesa que fue almacenada previamente en los bidones es envasada en sachet pequeños y prácticos de consumo individual (6g) que permiten a los consumidores utilizar la cantidad deseada de mayonesa sin desperdiciar producto. Para que ocurra este proceso, se alimenta a la máquina empacadora con la mezcla y también con el rollo de láminas de empaque, la máquina dosifica de manera automática la cantidad adecuada de mayonesa en cada sachet. Después de este proceso se procede al sellado que involucra el uso de calor para fundir los bordes del sachet y crear un cierre hermético que mantenga la frescura y la integridad del producto.

La máquina es automática, sin embargo, inicialmente necesita de un proceso de calibración volumétrico que involucra tiempo, uso de energía y desperdicio de material de empaque.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.13 Diagrama de flujo de materia y energía proceso de empacado de sachets

✓ Sellado y embalaje

Los sachets llenos y sellados se agrupan en paquetes de cien unidades que se sellan en fundas plásticas con presión y calor a través de una selladora eléctrica.

A continuación, estos paquetes se agrupan en cajas y se embalan para su almacenamiento y distribución.

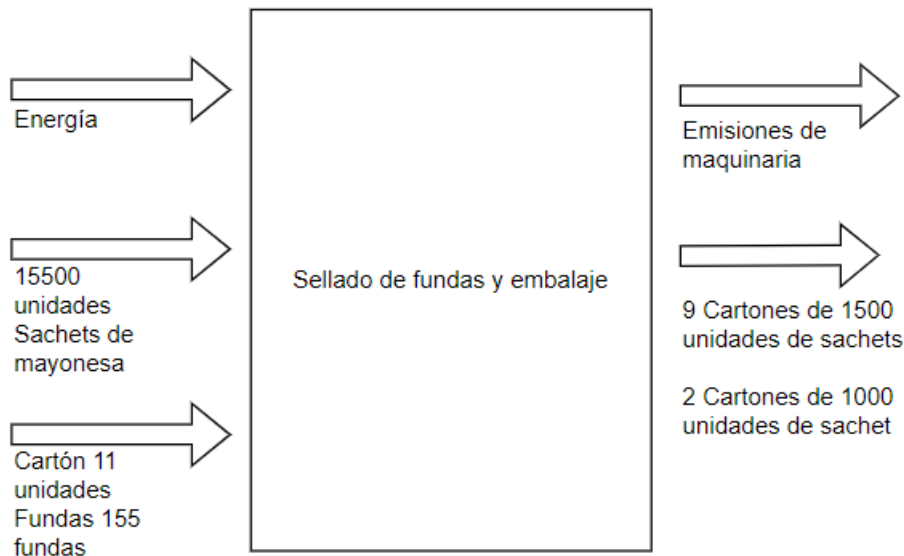


Figura 2.14 Diagrama de flujo de materia y energía proceso de sellado de fundas y embalaje

Fuente: Elaboración propia

✓ Almacenamiento

El almacenamiento consiste en estibar todas las presentaciones del aderezo de mayonesa en pallets, que se transportan a la bodega con transpaletas manuales hasta que llegue su distribución.

Dado que se hace se forma manual y consiste en un proceso de movimiento, no se realiza un diagrama de flujo de materia y energía.

Fase II: Elaboración del inventario

Para la elaboración del inventario se destacan los siguientes aspectos:

✓ Criterios de calidad

Tiempo: Los datos de las actividades de la operación se recogieron en junio del 2023, mediante una guía de observación donde se hacían las actividades de producción de mayonesa registraban tiempos y características de cada proceso.

Contexto geográfico: Los datos son recopilados de la microempresa “Rey Sabor”, ciudad Quito, provincia Pichincha, país Ecuador.

Relación tecnológica: en el proceso de producción de aderezo de mayonesa se utiliza tecnología baja, dado que es un proceso siempre que no requiere de tecnologías altamente avanzadas para lograr un producto de calidad.

Exactitud y precisión: Dado que los valores a analizarse pueden ser muy pequeños se manejarán hasta 3 unidades decimales.

- ✓ Fuentes para la recopilación de datos de actividad

Las mediciones realizadas para el detalle de las actividades, tiempos de producción, materiales, características de los equipos y demás, son datos recopilados *in situ*, propias del lugar.

- ✓ Recopilación de los datos de actividad

Todos los datos recolectados se midieron acorde a un lote de producción de aderezo de mayonesa baja en calorías (554,850 kg) para luego ser tratados de acuerdo con la unidad funcional declarada.

Se realizaron múltiples visitas en la instalación y, mediante la observación, identificaron las actividades predominantes en emisiones y los datos necesarios para cuantificarla, los cuales se detallan en la tabla 4.

Tabla 4 Fuentes de emisión de GEI del proceso

Fuentes de emisión	Origen	Datos necesarios para cuantificación
Producción de materias primas	Producción de agua embotellada Producción de aceite Producción de huevos	Kg empleados por materia prima
Transporte nacional de materias primas	Todas las materias primas en insumos	Distancia recorrida por materia prima Cantidades transportadas

Transporte internacional de materias primas	Almidón de maíz	Distancia recorrida por materia prima Cantidades transportadas Medios de transporte utilizados Lugares de partida y llegada
Consumo de energía eléctrica	Balanza Marmita Congelador Caldero Molino Coloidal Empacadora de sachet Codificadora Selladora	Especificaciones del equipo Potencia Tiempo de uso del equipo Consumo kW*h
Consumo de combustibles	Alimentación de gasolina caldero	Gasto de Diesel por unidad de tiempo
Generación de residuos	Residuos de desperdicio del proceso	Kg de residuos generados en el proceso

Fuente: Elaboración propia

- Producción de materias primas

En la tabla 5, se realizó un análisis sobre la composición de las materias primas, y se evidenció que las que más representan son la producción de huevos, la producción de agua embotellada y la producción de aceite acumulando casi el 94% del total.

Tabla 5 Contenido de materias primas

Mayonesa	Cantidad (kg)	Porcentaje	Acumulado
Agua	380	68,49%	68,49%
Aceite de soya	91,4	16,47%	84,96%
Huevos	50	9,01%	93,97%
Almidón	8	1,44%	95,41%
Azúcar	5,2	0,94%	96,35%
Sal	11,3	2,04%	98,39%
CMC	1,5	0,27%	98,66%
Goma Xanthan	2,5	0,45%	99,11%
Ácido acético	1,3	0,23%	99,34%
Ácido sórbico	0,5	0,09%	99,43%
Cebolla soluble	0,9	0,16%	99,59%

Ácido cítrico	0,8	0,14%	99,74%
Sorbato de potasio	0,25	0,05%	99,78%
Benzoato de sodio	0,25	0,05%	99,83%
Ajo soluble	0,9	0,16%	99,99%
EDTA	0,05	0,01%	100,00%
Total	554,85		

Fuente: Elaboración propia

- Transporte nacional de materias primas

La recolección de la data con respecto a la distancia recorrida por materia prima se obtuvo a través de la aplicación Google Maps, colocando como lugar de origen la dirección del proveedor y como lugar de destino la planta y las cantidades transportadas, se obtuvieron a través de las facturas de cada materia prima, los resultados se pueden observar en la tabla 5. Existen productos que se adquieren de los mismos proveedores, sin embargo, en las facturas se evidenció que se compran individualmente de acuerdo con la necesidad.

Tabla 6 Distancia recorrida por materia prima

Materia prima o insumos	Distancia recorrida (km)	Cantidad de compra
Agua (20ltrs)	2,8	19 galones
Aceite de soya (20 litros)	392	15 canecas
Huevos Pasteurizados	159	30 cubetas
Azúcar	2,9	50
Sal	4,8	50
CMC	14	25
Goma Xanthan	278	25
Ácido acético	10	63,58
Ácido sórbico	1,6	25
Cebolla soluble	75	10
Ácido cítrico	13	50
Sorbato de potasio	8,6	25
Benzoato de sodio	8,6	25
Ajo soluble	75	10
EDTA	1,6	25
Envases	13	Rollo 100000 unid
Diesel	14	40 galones
Cajas	8,3	100 cajas

Fuente: Elaboración propia

- Transporte internacional de materias primas

La única materia prima de la que se conoce realiza un viaje internacional es el almidón modificado de maíz que se moviliza por vía marítima y terrestre, por lo que se detalla el viaje realizado en la tabla 7.

Tabla 7 Recorrido del almidón de maíz

Desde	Hacia	Modo de transporte	Distancia en km
Emlichheim, Alemania	Hamburg, Alemania	Camión	266
Hamburg, Alemania	Guayaquil, Ecuador	Navegación marítima	11028
Guayaquil, Ecuador	Quito, Ecuador	Camión	432

Fuente: Elaboración propia

- Consumo de energía

En la tabla 8 se detallan los equipos que se utilizan en cada etapa del proceso con sus características y el consumo de energía respectivo. Para obtener el consumo eléctrico se calculó la potencia de cada equipo según la información disponible en los documentos de especificaciones técnicas que se encontraban en la empresa. A continuación, se convirtieron todas las unidades de potencia a kW y de la misma forma el tiempo de uso se transformó a unidades de tiempo en horas para tener una unidad de trabajo estándar (kWh).

Tabla 8 Consumo eléctrico por equipo

Actividad	Equipos necesarios	Tiempo	Potencia	Consumo eléctrico P*t (kWh)
Dosificación de materias primas	Báscula electrónica Modelo: MFQ20/MFQ40 Volt. Entrada adaptadora 100/ 240Vca 50/60 Hz	15 min	$P=V*I$ $P=6V*0,5A$ $P=3W$	0,001
Pasteurización de huevos	Báscula electrónica Modelo: MFQ20/MFQ40 Volt. Entrada adaptadora 100/ 240Vca 50/60 Hz Salida adaptador de corriente 6V/500mA	2 min	$P=V*I$ $P=6V*0,5A$ $P=3W$	0,000

	Marmita para elaboración de salsas Motor 3HP para agitación de grumos	7 min	3HP	0,261
	Caldero piro tubular de 2 pasos Capacidad 18 BHP Motor 1/2 hp en soplador Inyección Diesel por bomba interna de quemador Bomba de agua 3 hp	7 min	18 BHP 3HP bomba 1/2 HP Soplador TOTAL 21,5 HP	20,904
	Congelador Indurama CI-400-TM Capacidad del congelador de 400 litros Potencia 300W	50h	300W	15,000
Mezcla	Marmita para elaboración de salsas Motor 3HP para agitación de grumos Diámetro 100cm Altura 90cm Cubicaje en litros: 600 litros	15 min	3HP	0,559
Emulsión	Marmita para elaboración de salsas Motor 3HP para agitación de grumos Diámetro 100cm Altura 90cm Cubicaje en litros: 600 litros	15 min	3HP	0,559
Molienda	Molino Coloidal Potencia 5HP 3,7285 kW 2 válvulas y conexión de una pulgada	6 min	5HP	0,932
Envasado	Molino Coloidal Potencia 5HP 3,7285 kW 2 válvulas y conexión de una pulgada	65 min dosificación total 3,8 kg se dosifican en 22s	$P=V*I$ $P=6V*0,5A$ $P=3W$	0,003
	Báscula electrónica Modelo: MFQ20/MFQ40 Volt. Entrada adaptadora 100/ 240Vca 50/60 Hz	65 min dosificación total	5HP	4,039

Empacado de sachets	Máquina Empacadora de Pasta Marca: Brother Modelo: DXDL80C Ser No: bpm20T534 Voltaje: 220V/ 60 Hz Potencia 1 KW	30 min 1000 unid 0,03 min por sachet	1 kW	0,001
Etiquetado y codificado	Codificadora de cinta manual Modelo Dy-8 Voltaje 110V Potencia 40 W Número de serie 2021060098	3,25s por etiqueta	40 W	0,000
Sellado y embalaje	Selladora de película plástica Tipo fr-200 Potencia: 300 watts Alimentación 110C-AC 50/60 Hz	30 min	300W	0,150

Fuente: Elaboración propia

- Consumo de combustible

El proceso de pasteurización como se explicó previamente en la descripción implica el calentamiento de la mezcla de huevos agua y sal a una temperatura entre 45°-60°C y para esto se usa un caldero de consumo de Diesel. En la tabla 9 se puede observar el consumo total de Diésel durante el proceso, estos datos se obtuvieron análisis y mediciones en la planta.

Tabla 9 Consumo de Diésel del proceso

Actividad	Equipos necesarios	Tiempo	Consumo	Consumo total de Diesel en el proceso (gal)	Consumo total de Diesel en el proceso (ton)
Pasteurización de huevos	Caldero Marca: Standard skessel Duisburg Inyección: Diésel por bomba interna de quemador y electroválvulas Consumo: 3g/h	7 min	3 gal/ h	0,35	0,001

Fuente: Elaboración propia

- Residuos generados en el proceso

En el proceso de envasado de mayonesa, se enfrenta un desafío significativo en la eficiencia, ya que se registra un desperdicio promedio de 5,65 kg por lote debido a sedimentos acumulados en el fondo del tanque y en el proceso de molido. Además, también se experimentan pérdidas a causa de mediciones inexactas en la balanza. Estos factores combinados influyen negativamente en la optimización del proceso y en la reducción de residuos,

Tabla 10 Residuos generados en el proceso

Residuos generados	Cantidad	Tipo de residuo
Aderezo de mayonesa baja en calorías	5,650 kg	Orgánico
Material de empaque sachet (184 empaques * 0,5g)	0,092 kg	Inorgánico

Fuente: Elaboración propia

Fase III: Evaluación del inventario

Para el cálculo de las emisiones de CO₂eq se utilizará la metodología que consiste en multiplicar los datos recolectados de la actividad, por el factor de emisión correspondiente, esto se puede representar con la siguiente fórmula:

$$Emisiones = \sum [Datos_{Actividad} * FE]$$

Donde:

- Emisiones: Emisiones totales expresadas en kgCO₂eq/unidad
- $Datos_{Actividad}$: cantidades referentes al consumo de la actividad
- FE : Factor de emisión expresado en kgCO₂eq/unidad

En cuanto al criterio de asignación, por fines de facilidad en el seguimiento del cálculo de las emisiones, se calculará las emisiones para todo el lote (545.84 kg) de producción del aderezo de mayonesa baja en calorías. A partir de este valor se asignará la proporcionalidad de estas emisiones correspondientes a la unidad funcional (1 caja de sachets de 1500 unidades de 6g).

Sin embargo, es importante asignar las emisiones a todos los productos de venta, es decir, no se asignan las emisiones resultantes al desperdicio de mayonesa que se generó en el proceso (5.65 kg).

Es así, que la cantidad real del lote que se considerará para la repartición son 549.2 kg de producto final de aderezo de mayonesa bajo en calorías.

a. Cuantificación de emisiones por uso de materias primas

$$Emisiones = \sum [Datos_{Activdad} * FE]$$

Para la producción de materias primas

- Emisiones: Emisiones totales expresadas en kgCO₂eq/unidad
- *Datos_{Activdad}*: kg de materia prima consumida en el proceso
- *FE*: Factor de emisión de producción de materias primas en kgCO₂eq/unidad

Tabla 11 Cuantificación de emisiones por producción de materias primas

Mayonesa	Cantidad empleada en el proceso	Unidad	Factor de emisión kg de CO ₂ eq	Emisiones de CO ₂ eq (kg)	Fuente del factor
Agua	380	kg	0.044 kg de CO ₂ /Kg agua	16,72	(Jern, 2023)
Aceite de soya	91,4	kg	4,25 kg de CO ₂ /kg de aceite de soya	388,45	(Alcock et al., 2022)
Huevos (30cubetas)	50	kg	2,7 kg de CO ₂ equivalente / docena de huevos	202,5	(Abin et al., 2018)
Total, de emisiones por producción de materias primas (lote de 549.200 kg)				607.67	

Asignación proporcional para la unidad funcional

Tabla 12 Asignación de emisiones por producción de materias primas por unidad funcional

Producto	Cantidad (kg)	Total, emisiones por producción de materias primas
Lote	549,200	607,670
1 caja de 1500 unid de 6g	9,000	9,958

Fuente: Elaboración propia

b. Cuantificación de emisiones por transporte de materias primas

$$Emisiones = \sum [Datos_{Activdad} * FE]$$

Para el transporte de materias primas

- Emisiones: Emisiones totales expresadas en kgCO₂eq
- *Datos_{Activdad}*: Distancia de transporte de materia prima (km)
- *FE*: Factor de emisión de transporte de materias primas en kgCO₂eq/km

El factor de emisión que se utilizará para este análisis es 0,07 kgCO₂eq/km.

Fuente; (Cepal, 2012) citado en (Guallasamin et al., 2018).

Tabla 13 Cuantificación de emisiones por transporte de materias primas

Llegada de materias primas	km	Emisiones CO ₂ eq(kg) por viaje	Cantidad que se transportó (unidades)	Emisiones Co ₂ eq (kg) por unidad transportada	Cantidad empleada en lote	Emisiones Co ₂ eq (kg) por lote	Emisiones Co ₂ eq (kg) por unidad funcional
Agua (20ltrs)	2,8	0,20	380 kg	0,001	380 kg	0,196	0,003
Aceite de soya	-	1,25	94,1 kg	0,013	94,1 kg	1,254	0,021
Huevos Pasteurizados	159	11,13	50 kg	0,223	50 kg	11,130	0,182
Almidón	-		25 kg	11,922	8 kg	95,376	1,563
Azúcar	2,9	0,20	50 kg	0,004	5,2 kg	0,021	0,000
Sal	4,8	0,34	50 kg	0,007	11,3 kg	0,076	0,001
CMC	14	0,98	25 kg	0,039	1,5 kg	0,059	0,001

Goma Xanthan	278	19,46	25	kg	0,778	2,5	kg	1,946	0,032
Ácido acético	10	0,70	63,58	kg	0,011	1,3	kg	0,014	0,000
Ácido sórbico	1,6	0,11	25	kg	0,004	0,5	kg	0,002	0,000
Cebolla soluble	75	5,25	10	kg	0,525	0,9	kg	0,473	0,008
Ácido cítrico	13	0,91	50	kg	0,018	0,8	kg	0,015	0,000
Sorbato de potasio	8,6	0,60	25	kg	0,024	0,25	kg	0,006	0,000
Benzoato de sodio	8,6	0,60	25	kg	0,024	0,25	kg	0,006	0,000
Ajo soluble	75	5,25	10	kg	0,525	0,9	kg	0,473	0,008
EDTA	1,6	0,11	25	kg	0,004	0,05	kg	0,000	0,000
Diesel	14	0,98	40	galones	0,025	0,35	gal	0,009	0,000
Envases	13	0,91	10000	unid	0,000	-	-		0,014
Cajas	8,3	0,58	100	cajas	0,006	-	-		0,006
Total, emisiones por Transporte de materias primas (kg)									1,839

Fuente: Elaboración propia

Para calcular las emisiones del transporte del aceite, se realizó un análisis por separado que se observa en la tabla 14, ya que esta materia prima se produce en una planta de Jaramijó, en la provincia de Manabí, y se distribuye en una bodega de Sangolquí. Para la primera parte del trayecto recorrido por el aceite de soya se trabajó con el supuesto de que desde la planta sale un camión completamente lleno de este producto, según las dimensiones de los camiones comunes de transporte de alimentos (4m x 2m x 2m) y conociendo que el material de la caneca soporta una estiba de 3 niveles se determinó que pueden viajar hasta 351 unidades y se divide el total de emisiones para esta cantidad. Para el segundo trayecto se conoce que la empresa adquiere 15 unidades cada vez que realiza una compra al proveedor, por lo tanto, las emisiones resultantes del segundo trayecto se reparten para estas 15 unidades. Por último, se calculan las emisiones resultantes para las 5 canecas empleadas en la producción.

Tabla 14. Emisiones por transporte de aceite de soya

Desde	Hacia	Km recorridos	Emisiones CO2eq(kg) por viaje	Unidades transportadas	Emisiones Co2eq (kg) por caneca transportada
Jaramijó	Sangolquí	392	27,44	351	0,078

Sangolquí	Rey Sabor	37	2,59	15	0,172
Total, por caneca					0,250
Total, por 5 canecas = 91,4 kg					1,254

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, dado que el almidón es una materia prima que se importa desde Alemania se realizó también un detalle de las emisiones en la tabla 17. Esta materia prima realiza transporte marítimo y terrestre, razón por la que se utilizó la página web Hapag-Lloyd Eco Calc, para el cálculo de las emisiones resultantes del trayecto desde la productora Emsland Group, ubicada en Emlichheim, Alemania hasta Quito Ecuador. Esta calculadora de emisiones considera las diferentes secciones de la cadena de transporte y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 15. Estos resultados mediante factores de conversión se transformaron a kg de CO₂eq como se muestra en la tabla 16.

De la misma, para este cálculo se tomó como supuesto el viaje de un container completo de 40 pies con una capacidad máxima de 28.590 kg en el que alcanzarían 1143 sacos de 25 kg de almidón modificado de maíz. Así mismo, para el segundo trayecto de viaje desde el proveedor a la planta se dividió el total de emisiones para las 2 unidades de sacos de 25 kg que fueron compradas y transportadas.

Tabla 15 Emisiones de CO₂ por transporte de almidón modificado de maíz

Desde	Hacia	Modo de Transporte	Distancia en Km	CO ₂ en Kg	NOx en Kg	SO ₂ en Kg
Emlichheim, Germany (DEEHH)	Hamburg, Germany (DEHAM)	Camión	266	471,53	1,81	0,51
Hamburg, Germany (DEHAM)	Guayaquil, Ecuador (ECGYE)	Navegación marítima	11026	1494,68	29,54	8,77
Guayaquil, Ecuador (ECGYE)	Quito, Ecuador (ECUIO)	Camión	432	838,76	8,41	3,18
Total			11725	2804,97	39,76	12,46

Fuente: (Eco Calc, 2023)

Tabla 16 Emisiones de transporte internacional del almidón

Emisión de gases (kg)	Cantidad	Factor de conversión Kg CO ₂ eq/ kg de gas	Emisiones Co ₂ eq (kg)	Fuente
CO ₂	2804,97	1	2804,97	
NO _x	39,76	265	10536,4	(US EPA, s/f-b)
SO ₂	12,46	0,44	5,4824	(Winnipeg, 2012)
Total, de Emisiones Co ₂ eq (kg)			13346,8524	

A continuación, el análisis de todas las emisiones por transporte hasta planta del almidón:

Tabla 17 Emisiones totales por transporte de almidón hasta planta

Desde	Hacia	Km recorridos	Emisiones CO ₂ eq(kg) por viaje	Unidades transportadas	Emisiones Co ₂ eq (kg) por costal de (25kg) transportado
Alemania	Proveedor	-	13346,8524	1143	11,67703622
Proveedor	Rey Sabor	7	0,49	2	0,245
Emisiones Co ₂ eq (kg) por costal de (25kg) transportado de Alemania a planta					11,92203622

Fuente: Elaboración propia

c. Cuantificación de emisiones por electricidad

$$Emisiones = \sum [Dato_{Activdad} * FE]$$

Para las emisiones por consumo eléctrico:

- Emisiones: Emisiones totales por consumo de electricidad expresadas en kgCO₂eq
- *Datos_{Activdad}*: Consumo eléctrico (kWh)
- *FE*: Factor de emisión de consumo eléctrico kgCO₂eq/kWh

El factor de emisión que se utilizará para este análisis es 0,1477 kgCO₂eq/kW.

Fuente: (Haro, 2022)

A continuación, el detalle de los datos tomados y los cálculos realizados:

Tabla 18 Cuantificación de emisiones por consumo eléctrico

Actividad	Consumo eléctrico (kWh)	Emisiones de CO ₂ eq (kg)	Unidades producidas	Cantidad	Emisiones por unidad funcional
Dosificación de materias primas	0,001	9,231E-05	Lote	549,2	0,000
Pasteurización de huevos	0,000	1,477E-05	Lote	549,2	0,000
	0,261	3,855E-02	Lote	549,2	0,001
	20,904	3,088E+00	Lote	549,2	0,051
	15,000	2,216E+00	Lote	549,2	0,036
	Mezcla	0,559	8,260E-02	Lote	549,2
Emulsión	0,559	8,260E-02	Lote	549,2	0,001
Molienda	0,932	1,377E-01	Lote	549,2	0,002

Envasado	0,003				
		4,000E-04	Lote	549,2	0,000
	4,039				
		5,966E-01	Lote	549,2	0,010
Empacado de sachets	0,001				
		7,385E-05	Sachet	1	0,111
Etiquetado y codificado	0,000				
		5,334E-06	Sachet	1	0,008
Sellado y embalaje	0,150				
		2,216E-02	Caja	15	0,022
Total, de emisiones por unidad funcional kgCO₂eq		6,264E+00			0,243

Fuente: Elaboración propia

d. Cuantificación de emisiones por combustibles

$$Emisiones = \sum [Consumo\ de\ Combustible_{Diesel} * FE_{Diesel}]$$

Para el consumo de combustible

- Emisiones: Emisiones de un gas de efecto invernadero (Kg de CO₂eq)
- Consumocombustible_{Diesel} = cantidaddecombustiblequemado(TJ)
- FE: Factor de emisión de emisión por tipo de combustible kgCO₂eq/TJ

Dado que en el proceso el único combustible que se usa es el Diesel para alimentación del caldero en proceso de pasteurización de huevos, se detalla la cuantificación realizada en

la tabla 19. Los factores de emisión se obtuvieron del Informe 2021 de Factor de Emisión de CO₂ Del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador (Haro, 2022).

Tabla 19 Cálculo de emisiones por consumo de combustible

Consumo total de Diesel en el proceso (ton)	Poder calorífico Neto (TJ/ton)	Cantidad de combustible quemado (TJ)	Factor de Emisión (kg CO ₂ /TJ)	Emisiones generadas kg de CO ₂
0,001	0,041	0,042	72600	3045,809

Fuente: Elaboración propia

Asignación proporcional para la unidad funcional:

Tabla 20 Asignación de emisiones por consumo de combustible a la unidad funcional

Producto	Cantidad (kg)	Total, emisiones por uso de combustible (kg de CO ₂ eq)
Lote	549,2	3,416
1 caja de 1500 unid de 6g	9	0,056

Fuente: Elaboración propia

e. Cuantificación de emisiones por residuos

$$Emisiones = \sum [Residuos\ generados_{tipo} * FE]$$

Para las emisiones por consumo eléctrico:

- Emisiones: Emisiones totales por generación de residuos expresadas en kgCO₂eq
- *Residuos generados_{tipo}*: Residuos generados (kg)
- *FE*: Factor de emisión de emisión por tipo de residuos kgCO₂eq/kg

Los factores utilizados para el cálculo se encuentran citados en el trabajo de huella del carbono del cultivo de rosas (Guallasamin et. al, 2018).

Tabla 21 Cálculo de emisiones por generación de residuos

Residuos generados	Tipo de residuo	Cantidad (kg)	Factor de emisión kg CO ₂ eq/Kg	Emisiones de CO ₂ eq	Fuente del Factor
Aderezo de mayonesa baja en calorías	Orgánico	5,65	0,19	1,0735	(IPCC, 2006)
Material de empaque sachet (184 empaques * 0,5g)	Inorgánico	0,09	2600	239,2	(ASIPLA, 2010)
Total, de emisión por generación de residuos (kg CO ₂ eq)				240,2735	

Fuente: Elaboración propia

Asignación proporcional para la unidad funcional:

Tabla 22 Asignación de emisiones por generación de residuos a la unidad funcional

Producto	Cantidad (kg)	Total, de emisiones por generación de residuos kg Co ₂ eq
Lote	549,2	240,274
1 caja de 1500 unid de 6g	9	3,937

Fuente: Elaboración propia

Fase IV: Interpretación

Finalmente, se ha estimado un valor de 16,034 KgCO₂eq por unidad funcional (1 caja de 1500 unidades de sachet de 6g) de aderezo de mayonesa bajo en calorías “Rey Sabor”. En la figura 3.1 se considera pertinente detallar el valor del GEI que genera un sachet de 6g en forma individual, así, si se publica el valor, el consumidor puede hacer concientiar que el producto que consume puede generar más gramos de contaminación que los

gramos que ingiere en su cuerpo y sensibilizarse ante el impacto ambiental de sus elecciones diarias.



Figura 3.1 Huella de carbono del producto por unidad funcional

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la tabla de 23, se detalla el resumen de los procesos unitarios con su respectivo cálculo de emisiones:

Tabla 23 Estimación de las emisiones de GEI de los procesos para la producción de aderezo de mayonesa bajo en calorías

Etapas del ciclo de vida		Proceso unitario	Emisiones Kg CO2eq	Total, emisiones
Procesos aguas arriba	Producción de materias primas	Producción de agua	0,274	9,958
		Producción de aceite	6,366	
		Producción de huevos	3,318	
Procesos centrales	Transporte de materias primas	Transporte de Agua	0,003	6,076
		Transporte de Aceite de soya	0,021	
		Transporte de Huevos	0,182	
		Transporte de Almidón de maíz	1,563	
		Transporte de Azúcar	0,000	
		Transporte de Sal	0,001	
		Transporte de CMC	0,001	
		Transporte de Goma Xanthan	0,032	
		Transporte de Ácido acético	0,000	
		Transporte de Ácido sórbico	0,000	

		Transporte de Cebolla soluble	0,008	
		Transporte de Ácido cítrico	0,000	
		Transporte de Sorbato de potasio	0,000	
		Transporte de Benzoato de sodio	0,000	
		Transporte de Ajo soluble	0,008	
		Transporte de EDTA	0,000	
		Transporte de Envases	0,000	
		Transporte de Diesel	0,014	
		Transporte de Cajas	0,006	
	Proceso de producción	Dosificación de materias primas	0,000	
		Pasteurización de huevos	0,144	
		Mezcla	0,001	
		Emulsión	0,001	
		Molienda	0,002	
		Envasado	0,027	
		Empacado de sachets	4,031	
		Etiquetado y codificado	0,008	
		Sellado y embalaje	0,022	
TOTAL			16,034	16,034

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.2 se puede evidenciar que los procesos aguas arriba, procesos asociados a la producción de materiales, generan mayor número de emisión de gases (62%) GEI y son emisiones indirectas que están fuera del control directo de la empresa para accionar en su reducción. No obstante, la empresa podría generar objetivos compartidos de reducción de emisiones GEI con sus proveedores y de esa manera conseguir la minimización del impacto ambiental que generan sus productos.

Por otro lado, con respecto al porcentaje de emisiones generadas por los procesos centrales (38%) se puede trabajar directamente para reducir, ya que constituyen emisiones directas de GEI que provienen de actividades operativas bajo el control de la entidad.

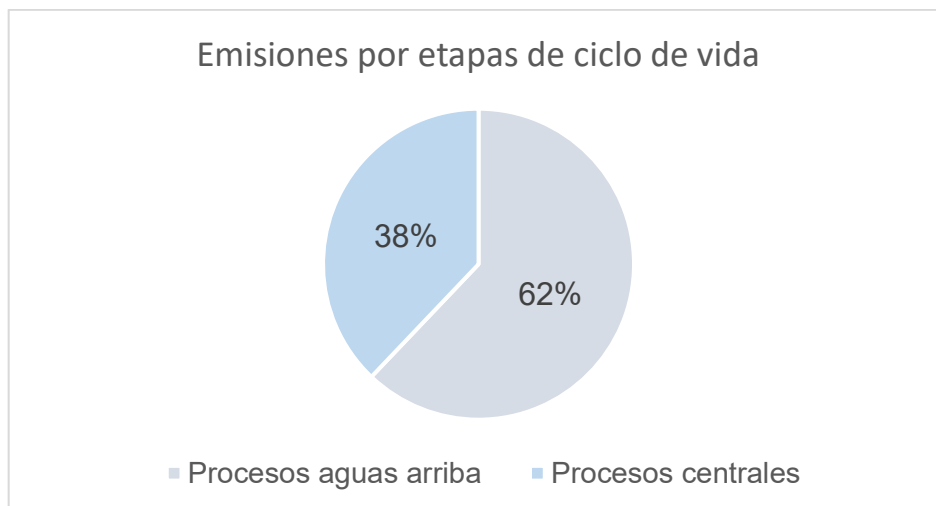


Figura 3.2 Emisiones por grupo de procesos de ciclo de vida

Fuente: Elaboración propia

El valor de la huella de carbono obtenido se desglosa en la tabla 24 según las fuentes de emisión que lo generan.

Tabla 24 Emisiones de GEI por fuente de emisión

Fuentes de emisión	Emisiones (kg de CO2 eq)	Porcentaje de contribución en la generación de emisiones
Producción de materias primas	9,958	62,1%
Transporte de materias primas	1,839	11,5%
Consumo de energía eléctrica	0,243	1,5%
Consumo de combustibles	0,056	0,3%
Generación de residuos	3,937	24,6%
Total de emisiones (kg de CO2 eq) por la elaboración de 1 caja de 1500 unidades de sachet de 6g.	16,034	

Fuente: Elaboración propia

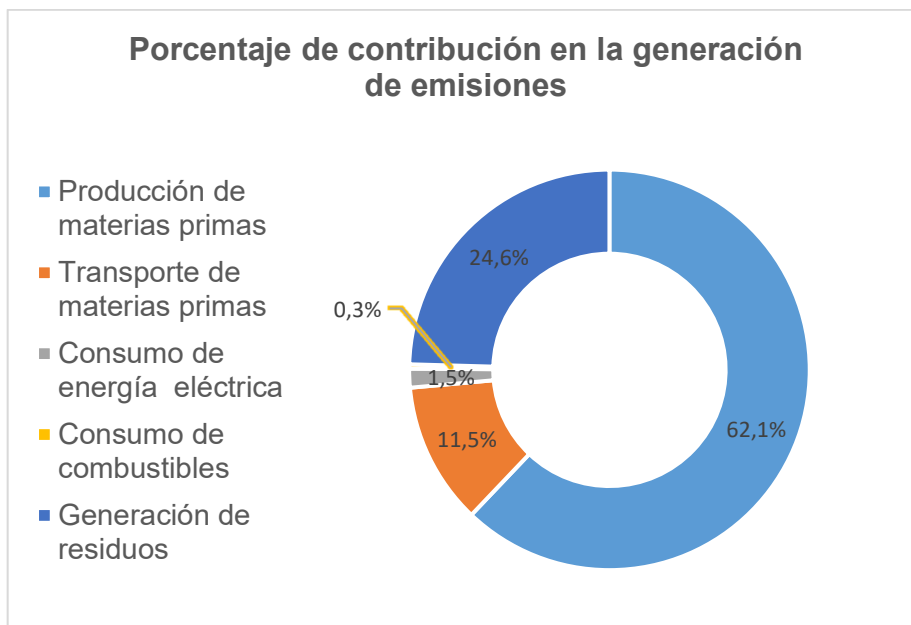


Figura 3.3 Emisiones por etapas del ciclo de vida

Fuente: Elaboración propia

Del gráfico 3.3 se puede concluir, que las fuentes que generan más emisiones de GEI son la producción de materias primas (62%), la generación de residuos (25%) y el transporte de materias primas (12%). Por lo tanto, constituyen las principales áreas en las que se debe trabajar para cumplir con el objetivo de reducción de HCP. Por otro lado, se puede evidenciar que el aporte de emisiones por consumo de energía eléctrica y combustibles es mínimo, pero son áreas en las que durante las observaciones sugirieron oportunidades para mejorar cuánto a reducción de emisiones.

En cuanto a las emisiones por producción de materias primas, el gráfico 3.4 revela que es la producción de aceite vegetal de soya, el proceso que genera más emisiones de GEI (64%), seguido por la producción de huevos (33%), mientras que el aporte de la producción de agua embotellada es mucho menor es comparación a los dos anteriores. Empero, una transformación en proceso de producción y transporte de agua embotellada sugiere una oportunidad visible y fácil con la que la empresa puede empezar su camino hacia la reducción del impacto ambiental a través del rediseño de sus procesos.

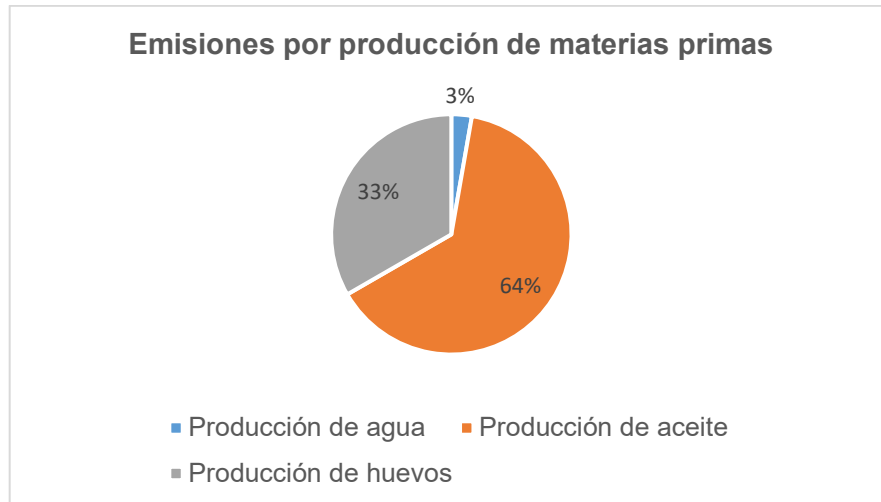


Figura 3.4 Emisiones por producción de materias primas

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, haciendo un análisis de la figura 3.5 acerca del transporte de materias primas, es posible identificar que el transporte de almidón de maíz y de huevos generan el (95%) de emisiones de GEI asociadas a esta fuente, seguido por el aceite de soya. Por su independencia respecto a sus proveedores y libertad respecto a la capacidad de adquisición de materias primas, esta fuente genera una oportunidad sencilla para reducir las emisiones, es la libertad de cambiar de proveedores o cómo se efectúa este transporte.

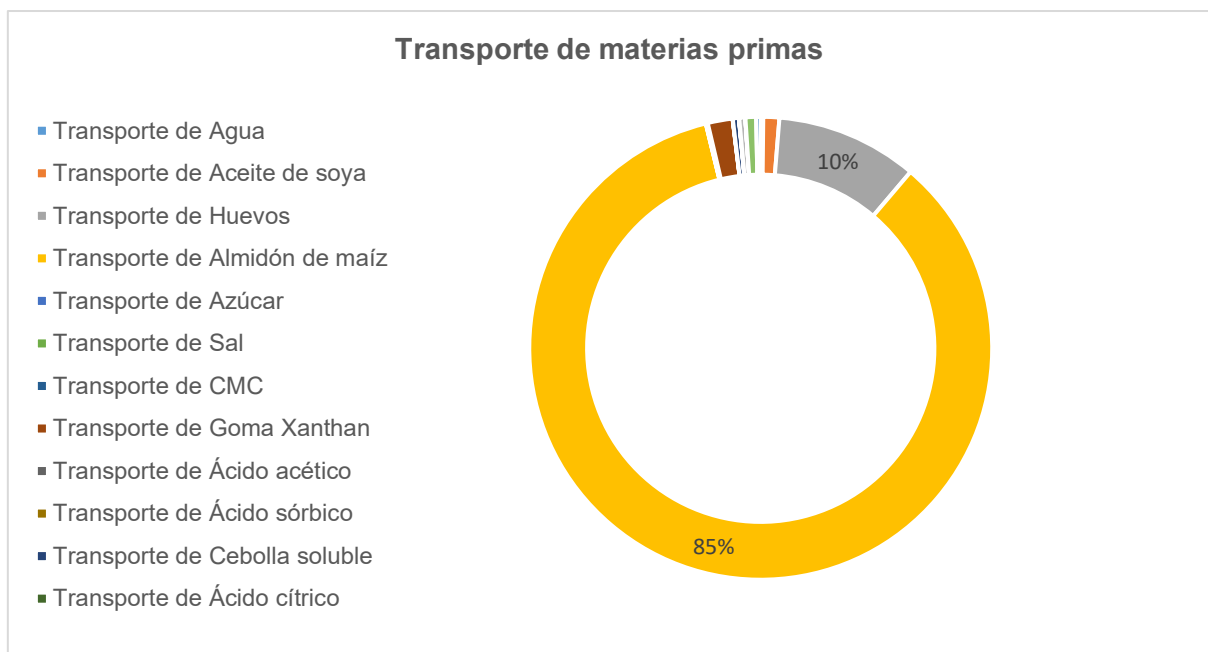


Figura 3.5 Emisiones por transporte de materias primas

Fuente: Elaboración propia

Por último, el gráfico 3.6 permite tener una visión clara de la generación de GEI en cada proceso unitario para la producción del aderezo de mayonesa bajo en calorías. Este gráfico muestra que el proceso de empaqueo de sachets y el proceso de pasteurización generan el 98% de las emisiones de GEI que se producen directamente de la actividad operativa. Por lo tanto, se puede rediseñar estos procesos para generar una reducción significativa de las emisiones de GEI asociadas al proceso de producción del aderezo.

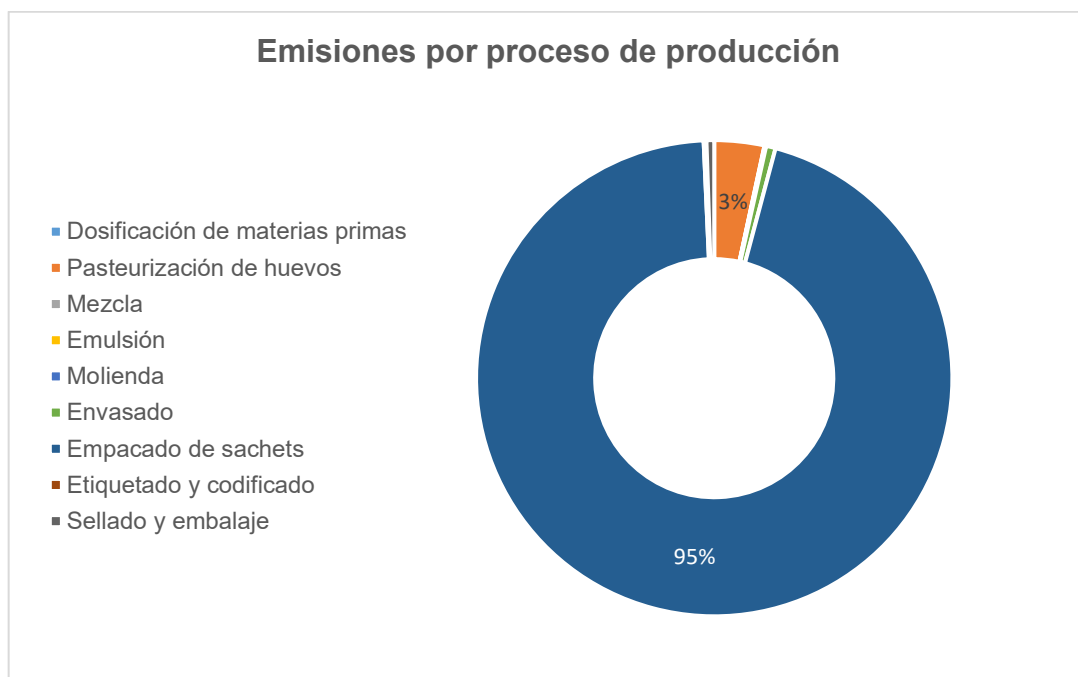


Figura 3.6 Emisiones por proceso operativo de producción

Fuente: Elaboración propia

3.2 Propuesta de rediseño

La propuesta de rediseño para reducir el impacto ambiental del producto “Aderezo de Mayonesa baja en calorías” de la empresa “Rey Sabor” se elaboró según las etapas del ciclo de vida, cabe recalcar que se ha buscado que las metas planteadas sean lo más realistas y alcanzables posibles. Para el establecimiento de las metas en porcentajes de reducción de emisiones en cada componente, se utilizó una copia de la hoja de cálculo de la huella de carbono del producto inicial y se realizaron simulaciones de las variaciones que genera la implementación de las estrategias en cada componente. Dicha variación se estableció como la meta en porcentaje de reducción de emisiones que genera cada estrategia para que sea posible la evaluación del plan en el futuro.

El cumplimiento de la propuesta de rediseño para reducir el impacto ambiental del producto “Aderezo de Mayonesa baja en calorías” de la empresa “Rey Sabor” permitirá, para el año 2024, generar una disminución del 42% de emisiones de GEI asociadas al ciclo de vida del producto. Es decir, conseguirá una reducción de la huella de carbono del producto “Mayonesa baja en calorías” de la empresa “Rey Sabor” de 16,034 KgCO₂eq a 9.29 KgCO₂eq por unidad funcional.

Propuesta de rediseño para producción de materias primas

El cálculo de la huella de carbono del producto aderezo de mayonesa “Rey Sabor” evidenció que la producción de las materias es la fuente más grande de generación de GEI, por lo tanto, se presenta propuestas de mejora relacionadas a cada una de las principales materias primas.

Se plantea en la Tabla 25 como primera propuesta la instalación de un purificador de agua en planta por la facilidad de ejecución a corto plazo.

Tabla 25 Propuesta de reducción de huella de carbono- Producción de materias primas:
Agua

PROPUESTA DE REDISEÑO PARA LA REDUCCIÓN DE HUELLA DE CARBONO		
Estrategia	1.1	Instalación de un purificador de agua en la planta de producción.
Área de actuación		Emisiones por producción de materias primas Emisiones por transporte de materias primas

ALCANCE:

La estrategia de reducción de huella de carbono aplica para la producción de aderezo de mayonesa baja en calorías "Rey Sabor"

RESPONSABLE:

Responsable del sistema integrado de gestión

DOCUMENTO DE REFERENCIA:

Cálculo de huella de carbono

OBJETIVO

Reducir las emisiones de GEI asociadas a los procesos de producción y transporte de agua purificada mediante la instalación de un sistema eficiente de purificación de agua.

DESCRIPCIÓN:

Esta estrategia consiste en la instalación de un sistema eficiente de purificación del agua necesaria para el proceso de elaboración de mayonesa. Se propone como opción un Generador de Ozono Industrial de desinfección, este equipo es ideal para tratamiento de agua dado que elimina los contaminantes del agua como bacterias, virus y sustancias. Esta máquina se recomienda especialmente para procesos industriales en la industria alimentaria.

BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA

1. Reducción de emisiones de transporte: Al eliminar la necesidad de transportar bidones de agua embotellada desde el proveedor a la planta, se disminuiría la cantidad de emisiones de carbono generadas por camiones utilizados en el transporte.
2. Ahorro energético: Un sistema eficiente de purificación podría requerir menos energía en comparación con la producción y el transporte de agua embotellada.
3. Menor consumo de materiales: La instalación de un sistema de purificación podría disminuir la necesidad de producir y desechar bidones de agua embotellada, lo que a su vez reduciría la cantidad de materiales plásticos utilizados en su fabricación.

SEGUIMIENTO Y CONTROL:

Mantener registros detallados de las operaciones del sistema de purificación, incluyendo el uso de recursos, la producción de agua purificada y el consumo de energía. Analiza los datos recopilados y compáralos con los valores de referencia previos a la implementación de la medida. Esto te permitirá evaluar el impacto real de la medida en la reducción de emisiones.

META:

Producir el 100% del agua requerida en el proceso de elaboración de aderezo de mayonesa mediante un sistema eficiente de purificación de agua hasta marzo 2024.

Alineación a principios de la ingeniería verde:

Principio 1: La instalación de un sistema eficiente de purificación podría ayudar a minimizar las entradas de materiales y energía al eliminar o reducir la necesidad de producción y transporte de agua embotellada.

Principio 2: Al evitar la producción de bidones de agua embotellada y reducir la necesidad de tratamiento de residuos plásticos, se previene la formación de desechos antes de que se formen.

Principio 3: La instalación de un sistema eficiente de purificación busca minimizar el consumo de energía y recursos.

Principio 4: La medida busca maximizar la eficiencia de masa, energía, espacio y tiempo. reducir el uso de recursos y la energía en el proceso de suministro de agua purificada.

Principio 7: La instalación de un sistema de purificación de agua busca crear una solución duradera y eficiente en lugar de depender de la producción continua de envases y transporte.

Principio 8: Al instalar sistemas de purificación según la demanda local, se evita el diseño de soluciones de capacidad innecesaria.

Principio 10: La instalación de sistemas de purificación en el lugar de consumo se integra con los flujos de agua y energía locales.

Principio 11: Al buscar soluciones duraderas y eficientes, esta medida se alinea con la idea de una vida útil prolongada y funcional.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, como medida general para reducir el impacto ambiental generado en la producción de todas las materias primas se detalla la propuesta en la Tabla 26.

Tabla 26 Propuesta de reducción de huella de carbono en la producción de materias primas

PROPUESTA DE REDISEÑO PARA LA REDUCCIÓN DE HUELLA DE CARBONO	
Estrategia	1.2
Área de actuación	Adquirir materias primas de proveedores con prácticas de sostenibilidad, políticas ambientales y esfuerzos para reducir las emisiones de carbono.
	Emisiones por producción de materias primas
ALCANCE:	
La estrategia de reducción de huella de carbono aplica para la producción de aderezo de mayonesa baja en calorías "Rey Sabor"	
RESPONSABLE:	
Responsable del sistema integrado de gestión	
DOCUMENTO DE REFERENCIA:	
Cálculo de huella de carbono	
OBJETIVO	
Reducir las emisiones de GEI asociadas a los procesos de producción de materias primas.	
DESCRIPCIÓN:	
La estrategia implica evaluar, seleccionar y colaborar con proveedores que tienen políticas ambientales sólidas y esfuerzos para disminuir emisiones de carbono. A través de auditorías, comunicación continua y apoyo, se fomenta la implementación de prácticas sostenibles. Es necesario que los proveedores se comprometan con realizar la medición y el reporte de su huella de carbono, junto con la búsqueda constante de mejoras, para asegurar que la cadena de suministro contribuya de manera efectiva a la sostenibilidad y a la reducción global de emisiones de carbono.	
BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducción de Huella de Carbono: se disminuye la cantidad de emisiones de carbono asociadas con la obtención de materias primas, lo que contribuye a la reducción global de gases de efecto invernadero. 2. Cumplimiento Regulatorio: Adoptar prácticas sostenibles y reducir emisiones puede ayudar a la empresa a cumplir con regulaciones y normativas ambientales cada vez más estrictas relacionadas con la sostenibilidad y las emisiones. 3. Reputación y Responsabilidad Social: La adopción de prácticas sostenibles y la colaboración con proveedores responsables mejoran la imagen de la empresa. 4. Impulso a la Economía Circular: Al considerar la sostenibilidad en la cadena de suministro, se fomenta la economía circular 	
SEGUIMIENTO Y CONTROL:	
Realizar auditorías regulares, solicitar reportes y mantener reuniones de seguimiento. Este proceso permite evaluar y garantizar el cumplimiento de los proveedores con los estándares de sostenibilidad y emisiones, así como identificar oportunidades de mejora y promover una relación colaborativa orientada hacia la mejora continua y la minimización del impacto ambiental.	
META:	
Reducir la huella de carbono asociada a la producción de materias primas en un 15% para el final del 2024 mediante la adquisición exclusiva de materias primas de proveedores certificados en prácticas sostenibles y con reducción de emisiones de carbono.	
Alineación a principios de la ingeniería verde:	
Principio 1: Al reducir la huella de carbono de las materias primas, se busca minimizar el impacto ambiental tanto en la entrada de materiales como en la salida de productos.	

Principio 2: se está trabajando en prevenir la formación de desechos en el proceso de producción y en la cadena de suministro.

Principio 3: Al buscar proveedores con reducción de emisiones de carbono, se contribuye a minimizar el consumo de energía en las operaciones de separación y purificación, como parte del diseño de procesos más eficientes.

Principio 4: La reducción de la huella de carbono busca maximizar la eficiencia en términos de masa y energía en la producción de materias primas.

Principio 5: se opta por un enfoque de diseño "extraído de la salida", ya que se seleccionan insumos acordes al objetivo de minimizar el impacto ambiental.

Principio 6: La selección de proveedores certificados en prácticas sostenibles puede verse como una inversión en la reducción de entropía y complejidad en la cadena de suministro, ya que se priorizan insumos con menor impacto ambiental.

Principio 8: Se evita la adquisición de insumos innecesarios y se reduce el desperdicio de recursos.

Principio 9: La selección de proveedores certificados puede implicar una menor diversidad de materiales en las materias primas, lo que favorece el desmontaje y la retención de valor al final del ciclo de vida.

Principio 10: La adquisición de materias primas de proveedores sostenibles se relaciona con el diseño que incluye la integración y la interconectividad con flujos de energía y materiales disponibles.

Fuente: Elaboración propia

Propuesta de rediseño para transporte de materias primas

En la tabla 27, se considera una propuesta grupal con un conjunto de consideraciones que permite reducir el transporte innecesario de materias primas, especialmente al eliminar el transporte internacional del almidón modificado del maíz y la búsqueda de asociaciones con proveedores más cercanos.

Tabla 27 Propuesta de reducción de huella de carbono en el transporte de materias primas

PROPUESTA DE REDISEÑO PARA LA REDUCCIÓN DE HUELLA DE CARBONO		
Estrategia	2.1	Elaboración de un MRP (Material Requirements Planning) y un plan logístico para optimizar el transporte de materias primas.
Área de actuación		Emisiones por transporte de materias primas
ALCANCE:		
La estrategia de reducción de huella de carbono aplica para la producción de aderezo de mayonesa baja en calorías "Rey Sabor"		
RESPONSABLE:		
Responsable del sistema integrado de gestión		
DOCUMENTO DE REFERENCIA:		
Cálculo de huella de carbono		
OBJETIVO		
Reducir las emisiones de GEI asociadas al transporte de producción de materias primas.		
DESCRIPCIÓN:		

Un Plan de Requerimiento de Materiales (MRP) que optimice la planificación de la producción y minimice el transporte innecesario de materiales. El plan logístico para transporte de materias primas debe planificar las rutas de transporte óptimas considerando factores como la distancia, las restricciones de tráfico y la eficiencia.

Consideraciones del plan logístico:

Adquirir todos los componentes químicos de un solo proveedor.

Conseguir un productor nacional de almidón de maíz.

Conseguir un proveedor de huevos ecológico dentro de la provincia y cercano a la empresa.

Conseguir un productor de aceite cercano a la empresa (Ejemplo: Danec, producción más sostenible, ubicación a menor distancia).

Intentar maximizar la capacidad de carga de cada vehículo y, cuando sea posible, consolidar envíos para reducir la cantidad de viajes y, por lo tanto, las emisiones de carbono por producto transportado.

Planificar las rutas de transporte de manera eficiente para minimizar la distancia recorrida y reducir el tiempo de viaje

BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA

1. Reducción de costos y emisiones: se reducen los costos y las emisiones asociadas con el transporte excesivo, los proveedores locales pueden resultar en mejores precios y condiciones de compra.

2. Eficiencia en la cadena de suministro: Un MRP bien implementado y un plan logístico eficiente aseguran que las materias primas lleguen a tiempo y en la cantidad requerida para la producción y mejora la sincronización entre proveedores y producción.

3. Disminución de la huella de carbono y otros impactos ambientales relacionados con el transporte. La elección de proveedores locales y sostenibles también promueve prácticas más amigables con el medio ambiente.

4. Imagen de marca positiva: La búsqueda de proveedores locales, sostenibles y de calidad, así como la reducción del impacto ambiental, pueden mejorar la imagen empresarial y su compromiso con la responsabilidad social y ambiental.

SEGUIMIENTO Y CONTROL:

Es necesario establecer indicadores de desempeño específicos, registrar información con detalles de los viajes realizados y las materias primas adquiridas y mantener una comunicación constante entre los equipos de producción, logística y compras para asegurar la alineación y éxito de la estrategia a largo plazo.

META:

Reducir la huella de carbono asociada al transporte de materias primas en un 95% para el final del 2024.

Alineación a principios de la ingeniería verde:

Principio 4: El objetivo de minimizar el transporte innecesario y optimizar la producción se alinea directamente con el diseño de productos, procesos y sistemas que maximizan la eficiencia en masa, energía, espacio y tiempo.

Principio 10: La planificación de rutas de transporte óptimas considerando factores como la distancia y la eficiencia está en línea con el diseño que incluye la integración y la interconectividad con los flujos de energía y materiales disponibles.

Fuente: Elaboración propia

Propuesta de rediseño para etapas de la producción

En la Tabla 28, se presentan propuestas para rediseñar la parte operacional en el proceso de producción para minimizar el uso de recursos, optimizar la eficiencia y reducir los residuos y desperdicios en las etapas de producción.

Tabla 28 Propuesta de reducción de huella de carbono en las operaciones de producción

PROPUESTA DE REDISEÑO PARA LA REDUCCIÓN DE HUELLA DE CARBONO	
Estrategia	3.1
Área de actuación	Rediseño de los procedimientos para la producción y optimización de la eficiencia de la máquina. Emisiones al proceso operativo de producción
<p>ALCANCE: La estrategia de reducción de huella de carbono aplica para la producción de aderezo de mayonesa baja en calorías "Rey Sabor"</p> <p>RESPONSABLE: Responsable del sistema integrado de gestión</p> <p>DOCUMENTO DE REFERENCIA: Cálculo de huella de carbono</p> <p>OBJETIVO Reducir las emisiones de GEI asociadas a los procesos de producción.</p> <p>DESCRIPCIÓN: La estrategia incluye acciones sobre varios componentes del proceso:</p> <p>Dosificación de materiales: Encender la balanza únicamente para el pesado de los materiales y apagarla.</p> <p>Pasteurización de huevos: Construir un plan de producción y MRP, determinar el día de producción del aderezo, pasteurizar los huevos en la mañana, enfriar a temperatura ambiente durante 3 horas y producir el aderezo el mismo día para evitar el uso del congelador.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Optimizar el consumo del caldero de Diesel y energía: Utilizar un variador de velocidad para ajustar la velocidad del motor según la demanda, lo que reduce el consumo de electricidad. Además, instalar sistemas de recuperación de calor para aprovechar el calor residual del caldero y utilizarlo para precalentar el agua de entrada o para otras aplicaciones que requieran calor. Utilizar combustibles alternativos más eficientes y limpios. <p>Proceso de emulsión: Estandarizar y optimizar el tiempo de emulsión necesario para obtener la mezcla idónea.</p> <p>Empacado: Estandarizar el proceso de calibración de la máquina, para evitar los 12 minutos de calibración y el desperdicio de empaque.</p> <p>Codificado y etiquetado: Elaborar un plan de producción, para optimizar el tiempo de etiquetado.</p> <p>Sellado y embalaje: implementar embalaje en fundas Ziploc reciclables, que puedan ser usadas varias veces y eliminen la necesidad de fundas de un solo uso y de la selladora. Implementar el proceso de reciclaje de cajas de cartón. uso adecuado y minimizar el desperdicio de energía.</p> <p>Generación de residuos: Realizar un rediseño en los procesos de raspado de residuos que optimice el aprovechamiento del producto final. Implementar procesos de mezcla eficientes, limpieza exhaustiva y control de procedimientos para evitar la merma de producto (Material orgánico). Realizar una calibración eficiente de la empacadora para reducir el desperdicio de empaque (material inorgánico).</p>	

Mantenimiento y eficiencia de maquinaria:

- Realizar un estudio del estado de la maquinaria y del consumo eléctrico.
- Implementar prácticas de mantenimiento preventivo y predictivo para minimizar el tiempo de inactividad de las máquinas y equipos.
- Realizar protocolos y un plan de mantenimiento y limpieza de la maquinaria para aumentar la eficiencia y optimizar el consumo de energía.
- Implementar sensores y tecnologías de IoT para monitorear y optimizar el uso de energía en tiempo real. Estos sistemas pueden ajustar automáticamente el consumo de energía de las máquinas y equipos según la demanda y el rendimiento requerido.

Capacitación del personal:

Capacitar al personal encargado de operar la maquinaria en prácticas de eficiencia energética y buenas prácticas operativas para garantizar su uso adecuado y minimizar el desperdicio de energía.

BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA

Las estrategias de rediseño del proceso de producción tienen un enfoque holístico que aborda múltiples áreas para lograr una mayor eficiencia, reducción de residuos y uso responsable de recursos. Como resultado, generan beneficios ambientales significativos al disminuir la demanda de energía y materias primas, reducir las emisiones y mejorar la sostenibilidad general de la operación.

SEGUIMIENTO Y CONTROL:

El seguimiento y control efectivo de estas estrategias requiere una combinación de tecnología, análisis de datos, comunicación con el equipo y una mentalidad de mejora continua. Al mantener un enfoque constante en la medición y evaluación del desempeño, se garantiza que las estrategias estén generando los beneficios deseados y cumpliendo con los objetivos ambientales y operativos

META:

Reducir la huella de carbono asociada a la operación en el proceso de producción en un 77 % para el final del 2024.

Reducir la generación de residuos en un 80% para el final del 2024.

Reducir el consumo de Diesel en un 30% para el final del 2024.

Reducir el consumo de energía eléctrica en un 40% para final del 2024.

Alineación a principios de la ingeniería verde:

Principio 1: La optimización del consumo de energía, la reducción de residuos y la implementación de prácticas de eficiencia en todo el proceso contribuyen a garantizar que las entradas y salidas de materiales y energía sean lo más inofensivas posible para el medio ambiente.

Principio 2: El enfoque en la prevención de residuos a través de la optimización de procesos, la estandarización y la reducción de excesos está en línea con evitar la formación de desechos en primer lugar.

Principio 3: Las estrategias de optimización del consumo de energía y la minimización del uso de recursos en la operación, como el uso de sistemas de recuperación de calor y la optimización del proceso de dosificación de materiales, se relacionan con la minimización de consumo de energía y materiales.

Principio 4: el uso de variadores de velocidad y la estandarización de procesos busca maximizar la eficiencia energética y la eficiencia de masa.

Principio 5: se busca maximizar la salida de productos y minimizar la entrada de recursos.

Principio 6: La estrategia de implementar procesos de raspado eficientes y de mezcla eficiente se relaciona con este principio al considerar la inversión en la reducción de residuos y la maximización del aprovechamiento del producto final.

Principio 8: La estandarización de procesos y el uso eficiente de la maquinaria reflejan la consideración de evitar soluciones de capacidad innecesarias, optimizando los recursos utilizados.

Principio 9: la reducción de excesos contribuye a minimizar la diversidad de materiales, facilitando el desmontaje y la retención de valor.

Principio 10: el uso de sistemas de recuperación de calor y enfoque en la eficiencia energética se relacionan con la integración y la interconectividad con los flujos de energía y materiales disponibles.

Principio 12: La optimización del uso de recursos y la minimización del consumo de energía contribuyen a una mayor sostenibilidad por lo tanto a un interés en minimizar el agotamiento de recursos.

Fuente: Elaboración propia

Huella de carbono con implementación de la propuesta de rediseño.

A través de la aplicación de la propuesta de rediseño se puede reducir la huella de carbono inicial en un 42%, obteniendo un nuevo valor de huella de carbono de 9,285 KgCO₂eq por unidad funcional, esto se puede observar en la figura 3.7.

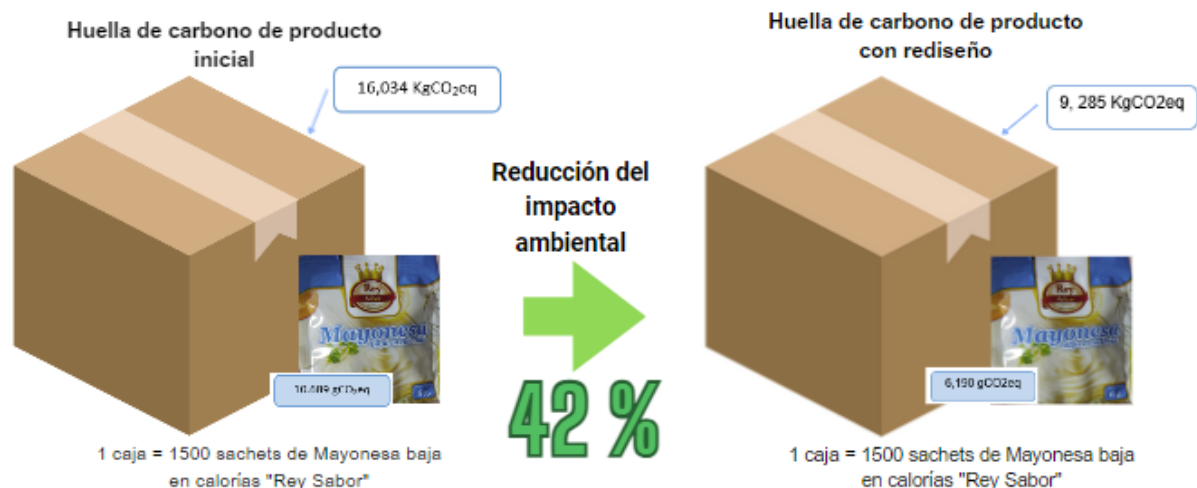


Figura 3.7 Huella de carbono por unidad funcional con propuesta de rediseño

Fuente: Elaboración propia

El número obtenido de huella de carbono de producto es el resultado de la reducción de emisiones en cada uno de los procesos del ciclo de vida. Esto se puede observar en la tabla 29, que detalla los valores de huella de carbono por cada una de las fuentes de emisión,

Tabla 29 Cálculo de huella de carbono de producto con rediseño

Fuentes de emisión	Emisiones 2024 (kg de CO2 eq)	Emisiones 2023 (kg de CO2 eq)	Reducción
Producción de materias primas	8,23	9,958	-17%
Transporte de materias primas	0,10	1,839	-95%
Consumo de energía eléctrica	0,15	0,243	-39%
Consumo de combustibles	0,039	0,056	-30%
Generación de residuos	0,770	3,937	-80%
Total, de emisiones (kg de CO2 eq) por la elaboración de 1 caja de 1500 unidades de sachet de 6g.	9,29	16,03	

Fuente: Elaboración propia

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se realizó la medición del impacto ambiental en términos de huella de carbono de producto correspondiente al proceso de producción de aderezo del producto “Mayonesa Baja en Calorías Rey Sabor”. La aproximación a la huella de carbono del producto se elaboró de acuerdo con la orientación proporcionada por la norma ISO 14067 y se obtuvo un resultado de 16,034 Kg CO₂eq por unidad funcional, es decir, por 1 caja de 1500 unidades de sachet de mayonesa de 6g.

La aproximación a la huella de carbono del producto se desarrolló en base a la metodología de análisis de ciclo de vida, para esto se detalló el ciclo de vida del producto y se limitó la evaluación de la huella de carbono al enfoque de la cuna a la puerta, incluyendo los procesos aguas arriba y centrales. El estudio de la huella de carbono de producto se desarrolló en 4 fases: definición y alcance del objetivo, elaboración del inventario, evaluación del inventario e interpretación. En esas etapas se profundizó en los procesos unitarios para elaborar el producto y el flujo de materiales y energía de cada uno.

Se encontró que los procesos que más contribuyen a la huella de carbono son los procesos aguas arriba (62%), relacionados a la producción de materiales, que están fuera del alcance directo de la empresa “Rey Sabor”. Sin embargo, estas emisiones pueden reducirse mediante alianzas estratégicas con proveedores y el traspaso de la producción de agua purificada a la planta, estas estrategias se incluyen en la propuesta de mejora para la reducción de la huella de carbono.

De la misma forma, se pudo determinar que el transporte de materias primas (12%) y los procesos operacionales (26%) aportaban en la emisión de gases de efecto invernadero, por lo que se consideraron estos factores para la propuesta de rediseño del producto.

Por último, se elaboró la propuesta de rediseño del proceso de elaboración del producto, que permita minimizar el impacto ambiental generado por el producto “Aderezo de mayonesa baja en calorías” de la microempresa “Rey Sabor” en base a los principios de la ingeniería verde y el análisis de los resultados de la huella de carbono. La propuesta permite reducir el 42 % de las emisiones asociadas a la elaboración del producto y así se logra un nuevo valor de huella de carbono de 9,285 Kg CO₂eq por unidad funcional.

En conclusión, se ha demostrado que es posible reducir el impacto ambiental que generan los procesos de producción de una empresa, a través, del rediseño alineado a los principios de la ingeniería verde. Por lo tanto, esta alineación debería ser un factor primordial que todo diseñador de procesos debería considerar en las fases iniciales de cualquier proyecto.

4.2 Recomendaciones

Dado que los procesos aguas arriba son la mayor fuente de emisiones de huella de carbono, la empresa debería considerar establecer alianzas estratégicas con sus proveedores para impulsar prácticas más sostenibles y objetivos comunes de reducción de emisiones. Esto puede incluir la adopción de estándares ambientales en la cadena de suministro y la colaboración para reducir el impacto ambiental conjunto.

La propuesta de rediseño del proceso de elaboración del producto, que promete una reducción significativa de las emisiones, debe ser implementada de manera gradual y monitorizada. Esto puede involucrar ajustes en los procesos, adquisición de nuevos equipos y la capacitación del personal para asegurar una transición exitosa.

La conclusión principal es que el rediseño alineado con los principios de la ingeniería verde puede tener un impacto significativo en la reducción de la huella de carbono. Se recomienda que estos principios se integren como una consideración esencial en todas las etapas del diseño de procesos y proyectos futuros.

Una vez implementadas las estrategias y el rediseño, es fundamental establecer un sistema de seguimiento continuo y medición del impacto ambiental. Esto permitirá realizar ajustes según sea necesario y garantizar que los beneficios ambientales se mantengan a lo largo del tiempo.

Del mismo modo, se aconseja a la empresa "Rey Sabor" considerar la aplicación de los enfoques y resultados obtenidos en el trabajo de tesis a lo largo de toda su gama de productos. La evaluación de la huella de carbono y el rediseño del proceso basado en los principios de la ingeniería verde han demostrado ser altamente efectivos para reducir el impacto ambiental en el producto "Mayonesa Baja en Calorías".

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdón Cifuentes, L. (2022). *Efecto del impuesto al CO2 en el sector de la energía de países seleccionados de América Latina y el Caribe | CEPAL*.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/47730-efecto-impuesto-al-co2-sector-la-energia-paises-seleccionados-america-latina>
- Abín, R., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2018). Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study. *Scopus*, 179, 160–168.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.01.067>
- Alcock, T. D., Salt, D. E., Wilson, P., & Ramsden, S. J. (2022). More sustainable vegetable oil: Balancing productivity with carbon storage opportunities. *Science of the Total Environment*, 829. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.154539>
- Álvarez, S. (2015a). La huella de carbono de los productos / Sergio Álvarez Gallego. *La huella de carbono de los productos*.
- Álvarez, S. (2015b). *La huella de carbono de los productos Huella de carbono* (Vol. 3).
www.aenor.es
- Anastas, P. T., Heine, L. G., & Williamson, T. C. (2001). *Green Engineering*.
<https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- Bernal Torres, C. A. (2006). Metodología De La Investigacion. En *Pearson*.
https://books.google.com/books/about/Metodolog_a_de_la_investigaci_n.html?id=h4X_eFai59oC
- Cartes Mena, F. (2021). *Metodología para la estimación del precio social del carbono en Chile y los países de América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46957>
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food* 2:3, 2(3), 198–209. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9>
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Tubiello, F. N., & Leip, A. (2022). Climate goals require food systems emission inventories. *Nature Food* 2022 3:1, 3(1), 1–1.
<https://doi.org/10.1038/S43016-021-00450-2>
- Diggle, P. J., Armero, C., Perpiñán, H., & Forte, A. (2013). Metodología de la huella de carbono en las operaciones logísticas empresariales aplicada al sector alimentos. *XXXIV Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, VIII Jornadas de Estadística Pública: SEIO*

2013. *Universitat Jaume I, Castellón, septiembre 2013. Libro de actas, 2013, ISBN 978-84-8021-957-0, pág. 95, 95.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8604273>
- El Universo. (2022, agosto). Ecuador Sostenible. *Excelencia*, 8–8.
- Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2016). AbaniCO2: Un Método Simple y Efectivo para la Toma de Decisiones sobre la Adopción de la Huella del Carbono en la Gestión Sustentable de Emisiones en las Empresas. *Información tecnológica*, 27(3), 35–52. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300005>
- Frohmann, A. (2013). Cálculo y etiquetado de la huella de carbono. En División de Comercio Internacional e Integración CEPAL (Ed.), *Seminario “Huella de carbono e inventarios corporativos”*. CEPAL.
- Frohmann, A., & Olmos, X. (2013). HUELLA DE CARBONO, EXPORTACIONES Y ESTRATEGIAS EMPRESARIALES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO. CEPAL.
- García, F., & Dobado, J. A. (2008). Química sostenible: una alternativa creíble. *Anales de Química de la RSEQ, ISSN 1575-3417, ISSN-e 2792-5250, N.º. 3, 2008, págs. 205-210, 104(3), 205–210.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2714924>
- Gómez, J. I. (2008). Ingeniería verde: doce principios para la sostenibilidad. *Ingeniería química, ISSN 0210-2064, N.º. 458, 2008, págs. 168-175, 458, 168–175.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2594957&info=resumen&idioma=SPA>
- Graedel, T. E., & Allenby, B. R. (2010). *Industrial ecology and sustainable engineering*. Prentice-Hall. <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=8C45652E83C7CE3FB33376D491B6D9B0>
- Guallasamin Constante, K., & Simón-Baile, D. (2018). Huella de carbono del cultivo de rosas en Ecuador comparando dos metodologías: GHG Protocol vs. PAS 2050/ Carbon footprint of the cultivation of roses in Ecuador comparing two methodologies: GHG Protocol vs. PAS 2050. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 24, 27–56. <https://doi.org/10.17141/LETRASVERDES.24.2018.3091>
- Haro, L. (2022). *FACTOR DE EMISIÓN DE CO2 DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR – INFORME 2021*. CENACE. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/ecuador-avanza-hacia-la-disminucion-de-emisiones-de-co2-en-el-sector-electrico/>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación : las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *MC Graw Hill Education*, 10, 92–95. <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Ihobe. (2009). *Análisis de Ciclo de vida y Huella de Carbono. Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto*. Ihobe-Gobierno Vasco. <https://www.ihobe.eus/publicaciones/analisis-ciclo-vida-y-huella-carbono-dos-maneras-medir-impacto-ambiental-un-producto-2>
- Inaba, A., Chevassus, S., Cumberlege, T., Hong, E., Kataoka, A., Lohsomboon, P., Mercadie, C., Mungcharoen, T., & Radunsky, K. (2016). Carbon Footprint of Products. En *Special Types of Life Cycle Assessment* (pp. 11–71). https://doi.org/10.1007/978-94-017-7610-3_2
- International Organization for Standardization. (2018). *Gases de efecto invernadero — Huella de carbono de productos — Requisitos y directrices para cuantificación (ISO 14067:2018)*.

<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>.
<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>

Jena, O. P., Tripathi, A. R., & Polkowski, Z. (2020). Green engineering and technology: Concepts and applications. En *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย* (Vol. 4, Número 1).
<https://www.routledge.com/Green-Engineering-and-Technology-Innovations-Design-and-Architectural/Jena-Tripathy-Polkowski/p/book/9780367758059>

Jern, M. (2023, mayo 1). *What is the carbon footprint of bottled water?* Tapp Water.
<https://tappwater.co/en/carbon-footprint-bottled-water/>

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia jefe, W., Péan, C., De Operaciones, J., Pidcock, R., De Comunicaciones, J., Connors funcionaria, S., Robin, J. B., funcionario, M., funcionario, Y. C., Zhou, X., Maycock Editor, T., Tignor, M., & Waterfield, T. (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza Resumen para responsables de políticas Resumen técnico*.
www.environmentalgraphiti.org

Medina, G. (2022). Ingeniería Verde Aplicada, hacia la Evolución Sostenible de los Sistemas de Producción Industrial. *REICIT*, 2(1), 138–157.
<https://revistas.up.ac.pa/index.php/REICIT/article/view/3061>

Naciones Unidas. (2023a). *Informe del IPCC: Impactos, adaptación y vulnerabilidad | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/climatechange/ipcc-wgii-report>

Naciones Unidas. (2023b). *Net Zero Coalition*. <https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition>

PCR Library | EPD International. (s/f). Recuperado el 6 de agosto de 2023, de
<https://environdec.com/pcr-library/with-documents>

PNUD Ecuador. (2023, mayo 3). *Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica con apoyo del PNUD socializan el Programa Ecuador Carbono Cero – PECC, buscando promover la acción climática en el sector productivo del país*.
<https://www.undp.org/es/ecuador/comunicados-de-prensa/ministerio-de-ambiente-agua-y-transicion-ecologica-con-apoyo-del-pnud-socializan-el-programa-ecuador-carbono-cero-pecc>.

Prasara-A, J., & Gheewala, S. H. (2019). Social Life Cycle Assessment of Agricultural Products: Experiences on Rice, Sugarcane and Cassava in Thailand. *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes*, 1–37. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3236-4_1

Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food product. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>

Santana, K. D., Cacas-Ledon, Y., Salabarría, J. L., Perez-Martinez, A., & Arteaga-Perez, L. E. (2020). A Life Cycle Assessment of Bread Production: A Cuban Case Study. *Journal of Environmental*

- Accounting and Management*, 8(2), 125–137.
<https://www.lhscientificpublishing.com/Journals/articles/DOI-10.5890-JEAM.2020.06.002.aspx>
- Sanyé-Mengual, E., Lozano, R. G., Farreny, R., Oliver-Solà, J., Gasol, C. M., & Rieradevall, J. (2014). *Introduction to the Eco-Design Methodology and the Role of Product Carbon Footprint*. 1–24.
https://doi.org/10.1007/978-981-4560-41-2_1
- Tang, S. Y., Bourne, R. A., Smith, R. L., & Poliakoff, M. (2008). The 24 Principles of Green Engineering and Green Chemistry: “IMPROVEMENTS PRODUCTIVELY”. *Green Chemistry*, 10(3), 268–226. <https://doi.org/10.1039/B719469M>
- US EPA. (s/f-a). *About Green Engineering | US EPA*. Recuperado el 15 de julio de 2023, de <https://www.epa.gov/green-engineering/about-green-engineering>
- US EPA. (s/f-b). *Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero*. Recuperado el 10 de agosto de 2023, de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero#results>
- Valderrama, J. O. (2018). Huella del Carbono Cambio Climático, Gestión Sustentable y Eficiencia Energética. *Información tecnológica*, 29(4), 1–2. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400001>
- Winnipeg. (2012). *Emission factor (kg CO₂eq per unit)*. University of Winnipeg.
https://legacy.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012_appendix_h-wstp_south_end_plant_process_selection_report/appendix%207.pdf
- Wohner, B., Gabriel, V. H., Krenn, B., Krauter, V., & Tacker, M. (2020). Environmental and economic assessment of food-packaging systems with a focus on food waste. Case study on tomato ketchup. *Science of The Total Environment*, 738, 139846.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139846>
- Wu, P., Xia, B., & Wang, X. (2015). The contribution of ISO 14067 to the evolution of global greenhouse gas standards—A review. *Science & Engineering Faculty*, 47, 142–150.
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.02.055>

4. ANEXOS

ANEXO I. Guía de observación de procesos

Guía de observación para levantamiento de información

Empresa: Rey Sabor
Entrevistado: Gaynay Quinatoa Rene Raul
Fecha: 12/7/2023
Proceso de elaboración Mayonesa

Actividad	Descripción de la actividad	Flujo de materia y energía		Equipos necesarios	Tiempo de proceso	Utilización de energía	Observaciones
		Entradas	Salidas				

Elaborado por: Dayanara Burbano
Aprobado por: Antonio Franco

ANEXO II. Guía de entrevista.

ANEXO III. Enlace a la hoja de cálculo de la huella de Carbono

ANEXO IV. Enlaces a la hoja de cálculo de la huella de Carbono con propuesta de rediseño.