

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**"GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA
LA PEQUEÑA INDUSTRIA LÁCTEA DEL ECUADOR"**

Realizado por:

JOSÉ ALEJANDRO NÚÑEZ REINOSO

Director del proyecto:

Ing. Alberto Aguirre, PhD.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 27 de septiembre de 2021

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, JOSÉ ALEJANDRO NÚÑEZ REINOSO, con cédula de identidad # 172537445-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado 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.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



1725374456

FIRMA Y CÉDULA

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**"GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA
LA PEQUEÑA INDUSTRIA LÁCTEA DEL ECUADOR"**

Realizado por:

JOSÉ ALEJANDRO NÚÑEZ REINOSO

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

ALBERTO ALEJANDRO AGUIRRE BRAVO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Dr. Alberto Aguirre
DIRECTOR

LOS PROFESORES INFORMANTES


Los Profesores Informantes:

JESÚS LÓPEZ

JOHANNA MEDRANO

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador

FIRMA

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Jesús López', written over a horizontal line.

FIRMA

Quito, 27 de SEPTIEMBRE de 2021

DEDICATORIA

Dedicado a todos los alumnos y profesores de la Facultad De Ingeniería Y Ciencias
Aplicadas de la Universidad Internacional SEK.

AGRADECIMIENTO

A la familia Castillo, por su gran acogida, apoyo y atención prestada en la empresa donde se realizó la investigación de campo.

A mi familia y amigos por ser incondicionales en el transcurso de mi vida y en las diversas circunstancias.

"GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LA PEQUEÑA INDUSTRIA LÁCTEA DEL ECUADOR"

" GENERATION OF CLEANER PRODUCTION STRATEGIES FOR THE SMALL DAIRY INDUSTRY OF ECUADOR "

Alejandro Núñez 1 & Alberto Aguirre²

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas,
Quito, Ecuador. Email: alejo5815@hotmail.com

²Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito,
Ecuador. Email: alberto.aguirre@uisek.edu.ec

- Autor de correspondencia: Dr. Alberto Aguirre,
alberto.aguirre@uisek.edu.ec

Título corto (Running title): Generation of cleaner production strategies.

Resumen

El presente trabajo de investigación se realizó en una pequeña industria láctea del Noroccidente de Pichincha que procesa quesos, yogurt y manjar, con la finalidad de proponer estrategias de producción más limpia en procesos productivos de lácteos, a través de herramientas de gestión ambiental, para incentivar al sector lechero a aplicar sistemas sustentables en sus procesos.

La empresa no cuenta con un programa de producción más limpia, y por esta razón se estableció una serie de estrategias de producción más limpias asociadas a los procesos más críticos (en relación al consumo de agua, energía eléctrica y generación de residuos) que se desarrollan dentro de la empresa.

El estudio permitió conocer que la empresa consume diariamente 19 metros cúbicos de agua, 140670 KJ de energía eléctrica 631296 KJ de energía térmica y se produce 1.7 metros cúbicos de suero de leche. También se identificaron los procesos más críticos en el área de producción, los cuales son: actividades de limpieza, enfriamiento en proceso de pasteurización y procesamiento de yogurt, manejo del caldero y lavado y desuerado en el procesamiento de queso fresco, mozzarella y requesón.

Partiendo de estos resultados, se propusieron estrategias de producción más limpia, en los cuales se determinaron metodologías que logren reducir el consumo de agua, energía eléctrica, térmica y la generación de residuos. Además, se propuso la instalación de un biodigestor, plan de mantenimiento periódico del caldero y la instalación de paneles solares y humedales.

Como conclusión del trabajo, se logró generar estrategias de producción más limpia para la reducción del consumo de agua, energía eléctrica y la generación de residuos en la empresa láctea en estudio, lo cual representa un punto de inicio para dirigir a las pequeñas y medianas empresas lácteas del Ecuador hacia el camino de la sustentabilidad.

Palabras clave: Producción más limpia, Biodigestor, Humedal, Paneles Solares, Caldero

Abstract

This research work was carried out in a small dairy industry in the Northwest of Pichincha that processes cheeses, yogurt and delicacies, in order to propose cleaner production strategies in dairy production processes, through environmental management tools, to encourage the dairy sector to apply sustainable systems in its processes.

The company does not have a cleaner production program, and for this reason a series of cleaner production strategies associated with the most critical processes (in relation to water consumption, energy and waste generation) that are developed within the company.

The study revealed that the company consumes 19 cubic meters of water, 430,574 KJ of electrical and thermal energy and produces 1.7 cubic meters of whey. The most critical processes in the production area were also identified, which are: cleaning activities, cooling in the pasteurization process and yogurt processing, handling of the cauldron and washing and dewatering in the processing of fresh cheese, mozzarella and cottage cheese.

Based on these results, cleaner production strategies were proposed, in which methodologies were determined to reduce the consumption of water, energy and the generation of waste. In addition, the installation of a biodigester, a periodic maintenance plan for the cauldron, and the installation of solar panels and wetlands were proposed.

As a conclusion of the work, it was possible to generate cleaner production strategies to reduce the consumption of water, energy and the generation of waste in the dairy company under study, which represents a starting point to direct small and medium-sized dairy companies from Ecuador towards the path of sustainability.

Keywords: Cleaner production, Biodigester, Wetland, Solar panels, Cauldron

Índice

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 1 |
| Hipótesis | 3 |
| 2. Objetivos | 3 |
| 2.1. Objetivo general | 3 |
| 2.2. Objetivos específicos | 3 |
| 3. Metodología | 4 |
| 4. Resultados y Discusión | 5 |
| 4.1. Caracterización de los procesos que se desarrollan en la industria láctea de estudio. | 5 |
| 4.3. Determinación de los procesos críticos dentro de la industria láctea de estudio | 8 |
| 4.3.1. Consumo de agua en el procesamiento de productos lácteos | 14 |
| 4.3.2. Consumo de energía eléctrica en el procesamiento de productos lácteos | 16 |
| 4.3.3. Consumo de combustible en el procesamiento de productos lácteos | 18 |
| 4.3.4. Generación de residuos líquidos | 20 |
| 4.4. Estrategias de producción más limpia | 23 |
| 4.4.1. Estrategias de reducción de residuos líquidos | 23 |
| 4.4.1.1. Análisis técnico y estimación de costos | 25 |
| 4.5. Estrategias de reducción de consumo de agua en actividades de limpieza y tina de enfriamiento. | 27 |
| 4.5.1. Análisis técnico y estimación de costos | 31 |
| 4.6. Estrategias de reducción de energía consumida por el caldero | 32 |
| 4.6.1. Análisis técnico y estimación de costos del caldero | 34 |
| 4.7. Estrategias de reducción de energía eléctrica | 34 |
| 4.7.1. Análisis técnico y estimación de costos de la instalación de paneles solares | 36 |
| 4.8. Estrategias de reducción de residuos sólidos. | 36 |
| 4.9. Importancia de la Aplicación de Estrategias de Producción más Limpia | 38 |
| 5. Conclusiones | 39 |
| 6. Recomendaciones | 40 |
| 7. Bibliografía | 41 |
| 8. Anexos | 47 |

Tablas

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 1. | Consumo de agua en el procesamiento de productos lácteos | 23 |
| Tabla 2. | Costo diario y mensual de agua en los diferentes procesamientos de la industria láctea de estudio. | 24 |
| Tabla 3. | Consumo de energía en el procesamiento de productos lácteos | 27 |
| Tabla 4. | Costo diario y mensual de energía en los diferentes procesamientos de la industria láctea de estudio | 28 |
| Tabla 5. | Generación de suero en el procesamiento de productos lácteos | 30 |
| Tabla 6. | Procesos más críticos en la industria láctea de estudio | 31 |
| Tabla 7. | Estrategias de reducción de residuos líquidos | 32 |
| Tabla 8. | Estrategias de reducción de energía en el caldero | 35 |
| Tabla 9. | Estrategias de reducción de agua en actividades de limpieza | 37 |

Figuras

| | |
|------------|--------------------------------------|
| Figura 1. | 7 |
| Figura 2. | 9 |
| Figura 3. | 10 |
| Figura 4. | 11 |
| Figura 5. | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 6. | 13 |
| Figura 7. | 13 |
| Figura 8. | 16 |
| Figura 9. | 18 |
| Figura 10. | 22 |

Anexos

| | |
|-----------|----|
| Anexo 1. | 47 |
| Anexo 2. | 50 |
| Anexo 3. | 51 |
| Anexo 4. | 55 |
| Anexo 5. | 56 |
| Anexo 6. | 57 |
| Anexo 7. | 58 |
| Anexo 8. | 59 |
| Anexo 9. | 60 |
| Anexo 10. | 61 |
| Anexo 11. | 62 |
| Anexo 12. | 63 |
| Anexo 13. | 64 |

| | |
|-----------|----|
| Anexo 14. | 65 |
| Anexo 15. | 66 |
| Anexo 16. | 67 |
| Anexo 17. | 68 |
| Anexo 18. | 69 |

1. Introducción

La pequeña industria láctea en el Ecuador ha generado fuentes de empleo de manera directa e indirecta, dando valor agregado a los subproductos obtenidos; es por esto que, este sector es de gran importancia en la economía ecuatoriana y latinoamericana. Según datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), se menciona que, en 2015 se registró un aumento de 0.39% en la elaboración de productos y subproductos lácteos (Superintendencia de Control del Poder de Mercado, 2019). La seguridad alimentaria en el Ecuador es promovida de manera directa por la producción de leche, por ser un producto de primera necesidad. El consumo de leche y sus derivados per cápita es de 100 litros por año y el 98.7% de la demanda nacional es cubierta por la producción local. (Abanto & Espinal, 2016).

Las pequeñas y grandes industrias lácteas necesitan del recurso agua de manera intensiva para limpiar la planta de procesamiento y de esta forma garantizar la inocuidad alimentaria. Es por esto que, se requiere de mejoras en la conservación, eficiencia, ahorro y consumo de este recurso y que favorezcan en la economía del productor para que pueda aplicar esta tecnología ambientalmente limpia (Semante, 2017). Por otro lado, el impacto ambiental generado por las aguas residuales de suero lácteo es un problema latente en la mayoría de industrias pequeñas, ya que no existe un tratamiento correcto y los desechos se envían directamente al alcantarillado o a ríos aledaños. Existen algunos tratamientos convencionales para eliminar compuestos orgánicos en aguas residuales de la industria láctea, tales como la adsorción, coagulación-floculación, sedimentación, flotación por aire disuelto, uso de tecnología de membranas, entre otros. Algunos de estos tratamientos tienen costos elevados y es por eso que no son adoptados por las pequeñas industrias (Hermosa, 2021). Además, cerca del 90% de la leche utilizada en la industria quesera se elimina en forma de lactosuero y muchas de las industrias pequeñas no saben aprovechar este subproducto que contiene cerca del 55% de los componentes de la leche, entre los cuales

están presentes la lactosa, proteínas, sales minerales y materia grasa. Se considera que se producen 9 kilogramos de lactosuero por cada kilogramo de queso producido (Muñoz, 2019).

Las pequeñas industrias lácteas del sector rural dependen de una sociedad organizada y capaz de proponer iniciativas de emprendimiento e innovación tecnológica. De esta manera, surgen los modos de organización de pequeñas industrias, tales como cadenas de producción, milieux, distritos industriales y clústeres. Sin embargo, según un reporte del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador en 2016, existen 25 compañías lácteas que son las que se abastecen de proveedores nacionales y las que más producción mantienen en el país, formando un monopolio lechero (Zambrano, López, Castillo, & Villacis, 2017). El Ecuador genera cerca de 700 millones de dólares al año en producción de leche en la cadena primaria. En 2016, se reportó que el 35% de la producción total de leche se consumió cruda, el 23% se usó para alimentación de crías vacunas, el 17% en producción de yogurt y quesos, el 14% se pasteuriza y el 11% restante se procesó de forma informal para la elaboración de derivados artesanales (Luque, 2018). Cabe destacar que las grandes industrias lecheras del Ecuador abastecen el mercado interno, pero el objetivo es que estas industrias se conviertan en exportadoras de productos lácteos, ya que tienen la ventaja de que el Ecuador es un país declarado libre de aftosa desde 2015 por parte de la Organización Mundial de la Salud. Esto ayudaría a que estas empresas se enfoquen en el mercado internacional y las pequeñas industrias tengan más oportunidades de comercialización a nivel nacional, y que estas industrias puedan optimizar su procesamiento de productos con una producción más limpia y amigable con el ambiente (Oñate, 2018).

Cabe destacar que, no solamente la tecnología es importante en el sector industrial lechero, sino también la capacitación del personal. Según datos obtenidos por Cifuentes, (2021), solo el 31% de las pequeñas industrias lácteas poseen un programa de capacitación para el personal amparado en un manual de Buenas Prácticas de Manufactura, con la finalidad de asegurar el cumplimiento de las tareas asignadas. Dentro de este plan de capacitación al personal deben incluir precauciones, procedimientos y normativa de la empresa (Herrera & Páez, 2015). Por otro lado, según encuestas realizadas por el mismo

autor, menciona que, solo el 6% de las universidades en el país han cooperado con investigaciones en pequeñas industrias lácteas, en comparación con el 71% que han cooperado con empresas grandes del sector lácteo. Otro ámbito importante es el nivel de educación, en el cual se indica que el 25% del personal de la pequeña industria láctea sólo estudió la primaria (Cifuentes, 2021).

El presente estudio se enfoca en la posibilidad de generar estrategias de producción más limpia, para la pequeña industria láctea del Ecuador, para generar un ahorro económico y energético, y que puedan minimizar los impactos ambientales negativos en el procesamiento de sus productos.

Hipótesis

Es posible generar estrategias de producción más limpia para la pequeña industria láctea del Ecuador que representen un ahorro económico significativo para estas empresas, y al mismo tiempo puedan minimizar los impactos ambientales negativos que éstas presentan.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Proponer estrategias de producción más limpia para la pequeña industria láctea del Ecuador tomando como modelo de estudio una pequeña empresa láctea del Noroccidente de Pichincha.

2.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar los procesos que se desarrollan dentro de la empresa láctea en estudio.
2. Identificar los procesos más críticos en relación al consumo de agua, energía eléctrica, combustible y generación de residuos, en la industria láctea en estudio.

3. Proponer estrategias de producción más limpia para la empresa láctea en estudio basadas en los procesos críticos identificados previamente.

3. Metodología

Para la generación de estrategias de producción más limpia se eligió como modelo de estudio una industria pequeña de lácteos ubicada en el Barrio Tulipe, en el noroccidente de la provincia de Pichincha; que se encarga de fabricar quesos, manjar y yogurt. Como parte de un acuerdo de confidencialidad entre la Universidad UISEK y la empresa, el nombre de la industria no será revelado. En las siguientes secciones se detallarán los procesos de fabricación y los puntos críticos de los ciclos de producción.

El desarrollo de la investigación inició con la solicitud de autorización de la empresa para el estudio. Después, se entrevistó a los trabajadores de la empresa, quienes, de manera responsable, democrática y voluntaria, proporcionaron la información para crear un diagrama de flujo de los procesos que se realizan dentro de la empresa. En el diagrama de flujo se agregó información de valores de cantidad de energía eléctrica, combustible y/o masa que ingresa y sale de cada operación unitaria y de esta manera evaluar los procesos más críticos en relación a generación de residuos, energía eléctrica y materia prima.

Posteriormente, se plantearon estrategias de producción más limpia para esos procesos críticos. Cabe destacar que las estrategias que se eligieron se plantean tomando en cuenta el ahorro significativo de costos, así como la disminución de impactos ambientales negativos. Esto quiere decir que, se tomaron los datos proporcionados por la industria y se analizaron los procesos que más agua, energía eléctrica y residuos generan, para plantear estrategias de producción más limpia.

El consumo de energía eléctrica de los equipos se midió en base a la potencia de cada equipo y al tiempo de uso del mismo en la planta de procesamiento. El consumo de agua utilizada en actividades de limpieza y de procesamiento fue determinada con los

medidores de agua que posee la empresa. La cantidad de residuos líquidos generados fueron calculados relacionando la cantidad de leche utilizada en la elaboración de subproductos lácteos y la cantidad de suero que se genera por cada litro de leche.

Después de haber identificado los procesos críticos, se plantearon estrategias de producción más limpia sobre dichos procesos críticos, que resulten económicas, efectivas y fáciles de implementar dentro de la empresa, sin necesidad de una inversión abrupta y que esté fuera del alcance económico de la empresa.

Adicionalmente, se tomaron en cuenta otros parámetros para la generación de estrategias de producción más limpia:

- Optimización de agua, energía eléctrica, insumos y materia prima usados en cada operación unitaria, además de la búsqueda de alternativas que sean menos perjudiciales para el ambiente y sus trabajadores.
- Reciclar y/o reutilizar los residuos generados para el ahorro de costos respecto al tratamiento de residuos.

4. Resultados y Discusión

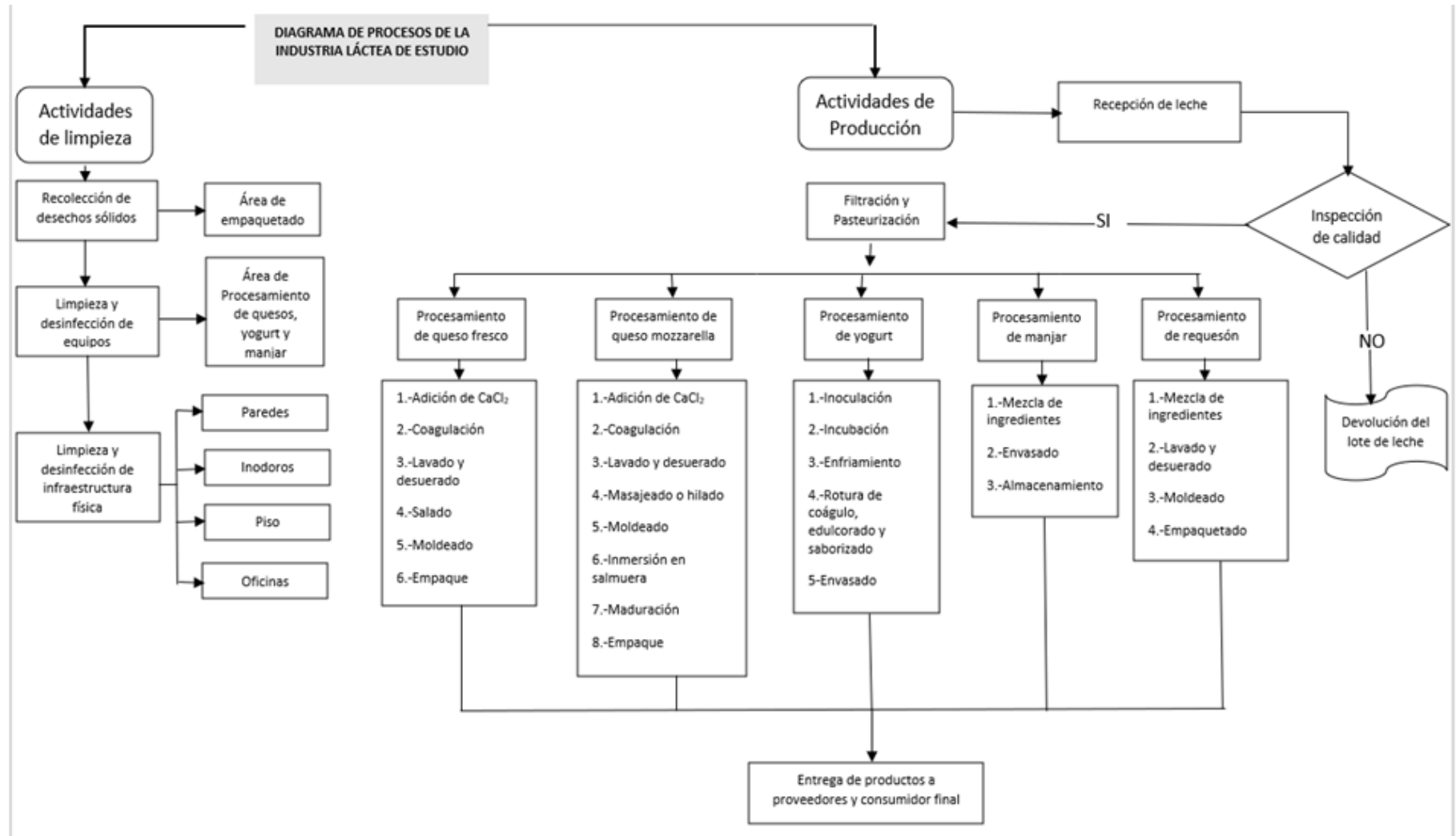
4.1. Caracterización de los procesos que se desarrollan en la industria láctea de estudio.

Para la caracterización de los procesos que se desarrollan en la industria láctea de estudio se realizaron diagramas de flujo de todos los procesos que se dan en la industria láctea de estudio; desde la recepción de la leche, hasta la entrega del producto final. En el trabajo de campo se identificaron los procesos que se efectúan en la empresa. El procesamiento se describe en el anexo "21"

4.2. Resumen general de los procesos desarrollados en la industria láctea de estudio

En la Figura 1 se presenta un resumen de los principales procesos que se desarrollan dentro de la industria láctea de estudio:

Figura 1. Procesos desarrollados dentro de la industria láctea de estudio



4.3. Determinación de los procesos críticos dentro de la industria láctea de estudio

La empresa no cuenta con informes o un inventario que determine la cantidad de residuos generados, energía eléctrica y agua consumida. Para determinar los procesos críticos se obtuvo información de la gerencia de la empresa acerca del consumo de agua, luz y cantidad de residuos líquidos producidos diaria y mensualmente. Luego se revisaron los medidores de luz y agua, y también se inspeccionaron las facturas de luz y agua. Con base en estos datos se obtuvo el consumo promedio de energía eléctrica consumida por cada equipo en función de su voltaje y tiempo de uso; respecto al agua, se consiguió el consumo de agua de cada equipo en función del volumen de recurso usado para cada proceso; y el suero de leche fue obtenido relacionando la cantidad de leche usada diariamente y el porcentaje de suero de leche generado por cada litro de leche.

Una vez identificados los procesos que se llevan a cabo dentro de la industria láctea de estudio y recopilada la información de masas y energía eléctrica que ingresa y sale de cada proceso se procedió a elaborar un diagrama de flujo de cada producto generado (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7) con toda esa información. Estos diagramas de flujo sirvieron de base para poder determinar cuáles son los procesos más críticos de la empresa en términos de consumo de agua, energía eléctrica y generación de residuos.

A continuación, se presentan los diagramas de flujo que se elaboraron para encontrar los procesos más críticos en la industria láctea de estudio y de esta manera diseñar estrategias de producción más limpia.

Figura 2. Diagrama de flujo diario de recepción de leche y proceso de pasteurización.

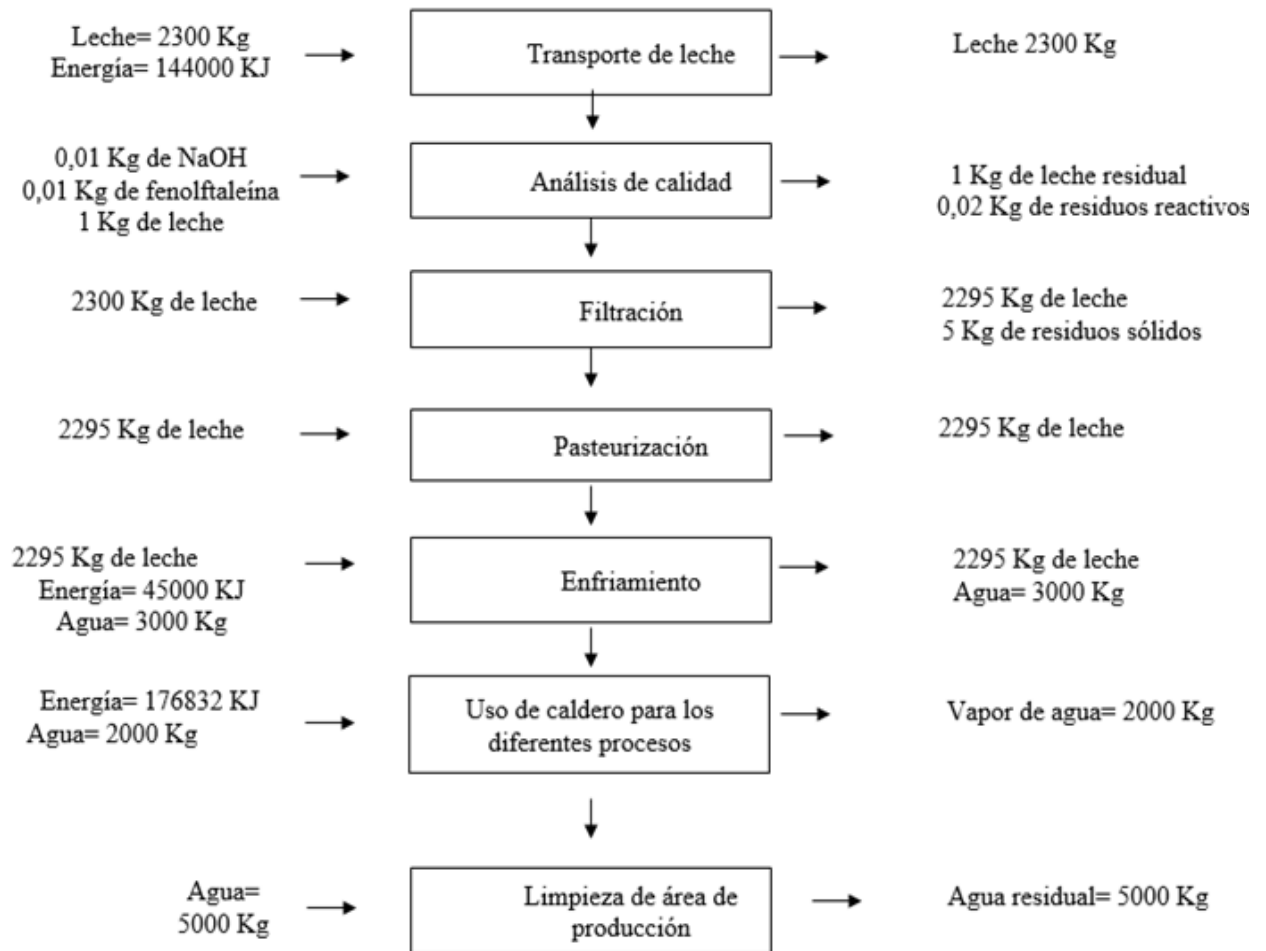


Figura 3. Diagrama de flujo diario del procesamiento de queso fresco de la industria láctea en estudio

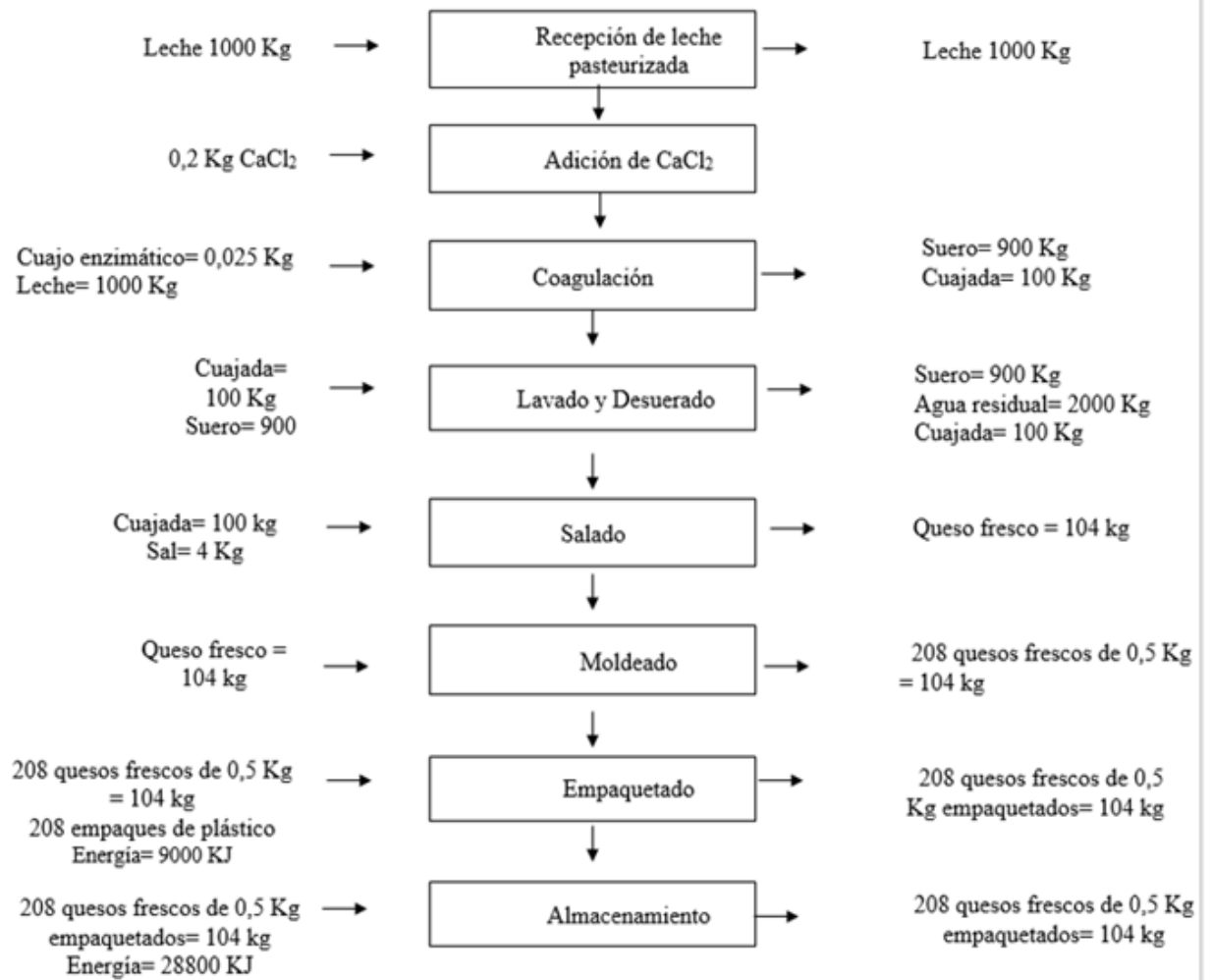


Figura 4. Diagrama de flujo diario del procesamiento de queso mozzarella de la industria láctea en estudio

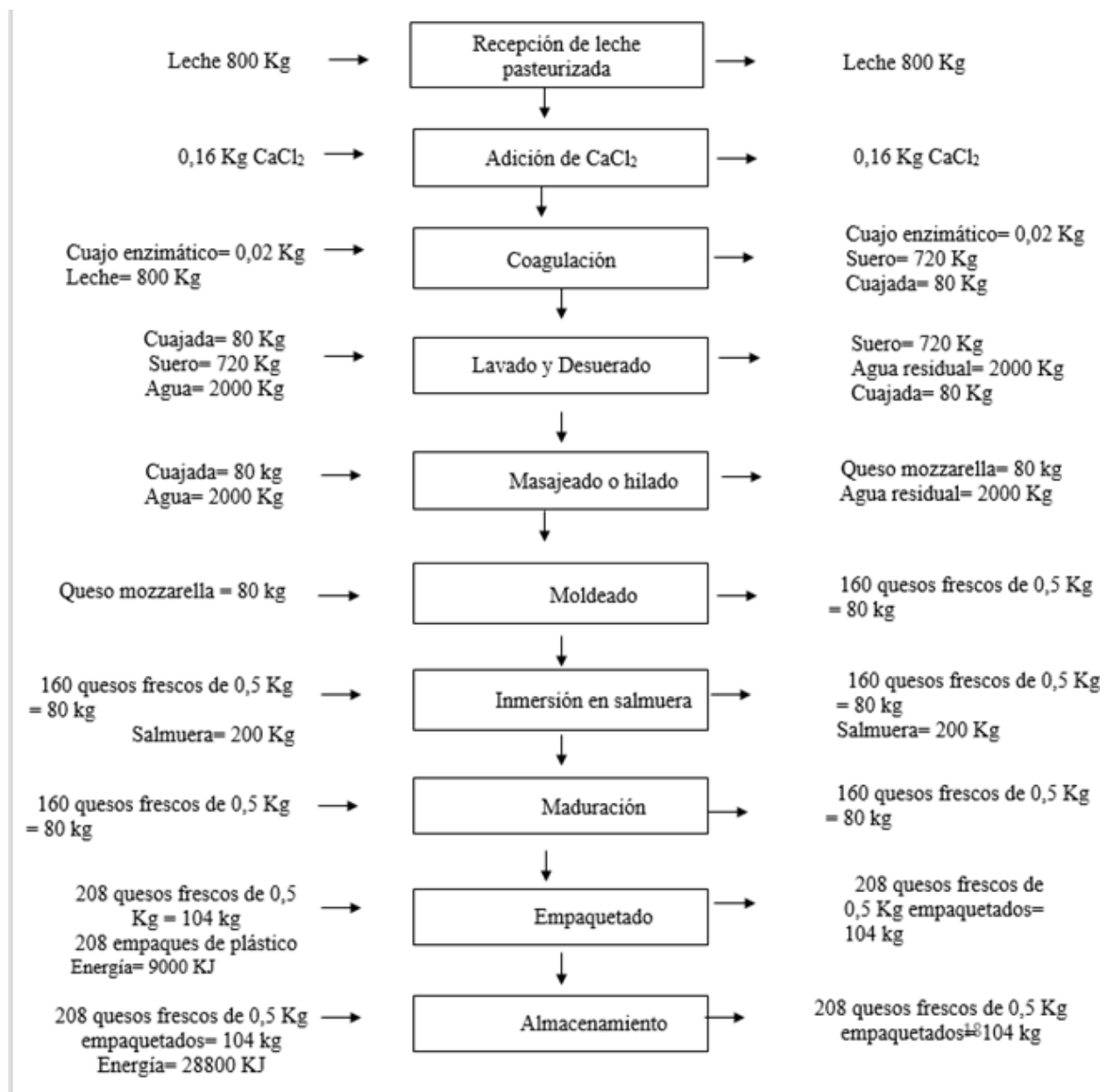


Figura 5. Diagrama de flujo diario del procesamiento de yogur fresco de la industria láctea en estudio

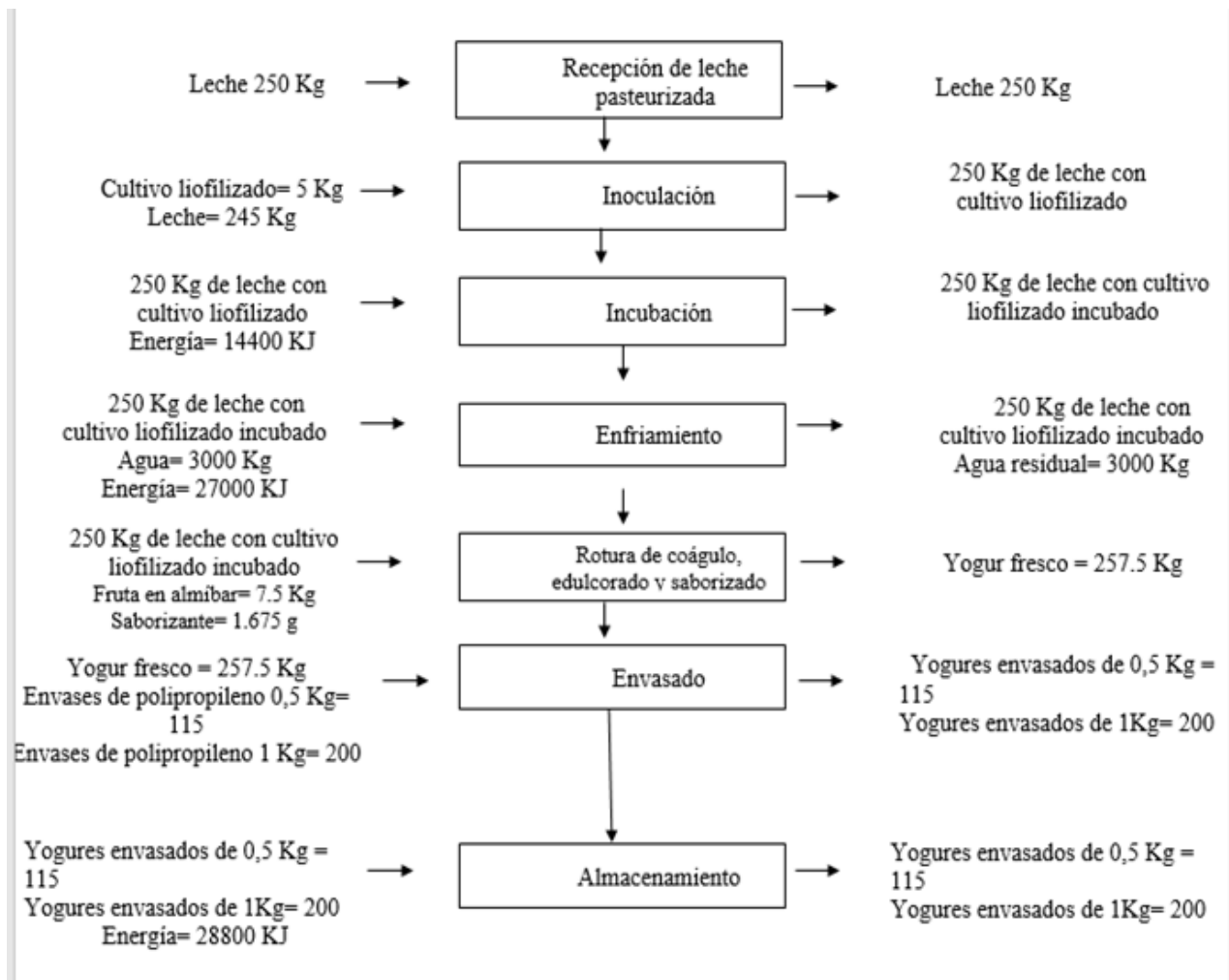


Figura 6. Diagrama de flujo diario del procesamiento de manjar de la industria

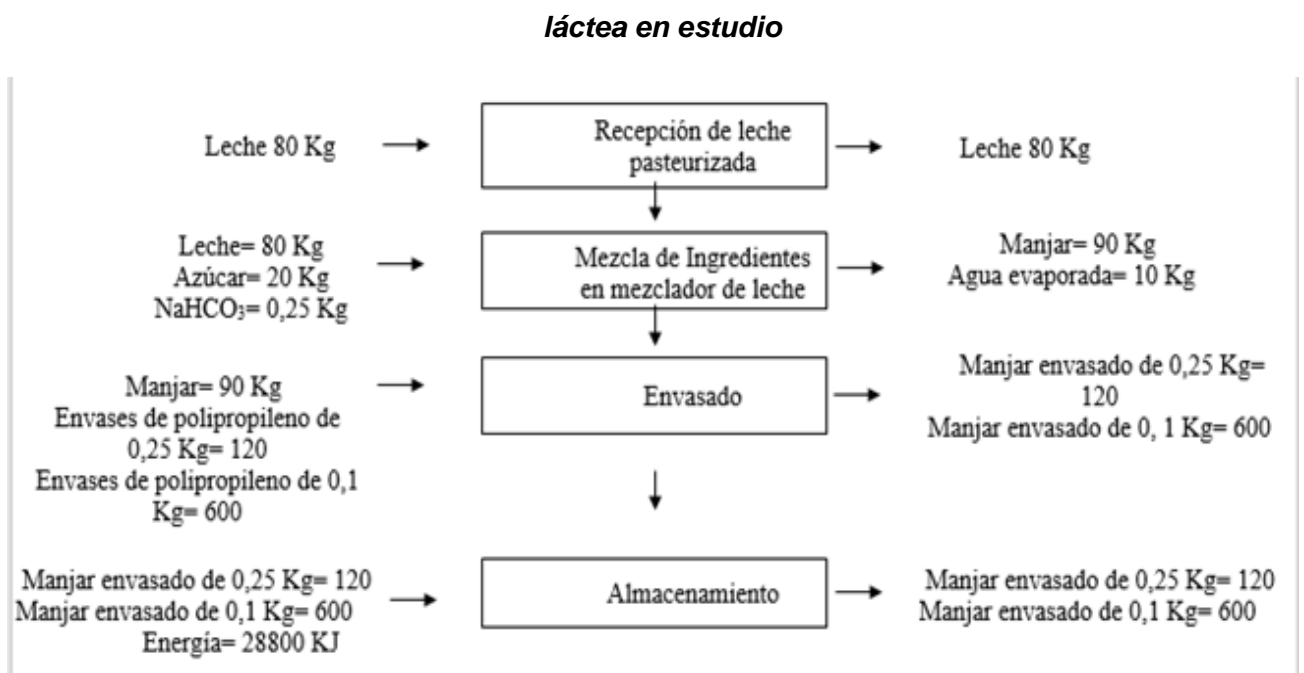
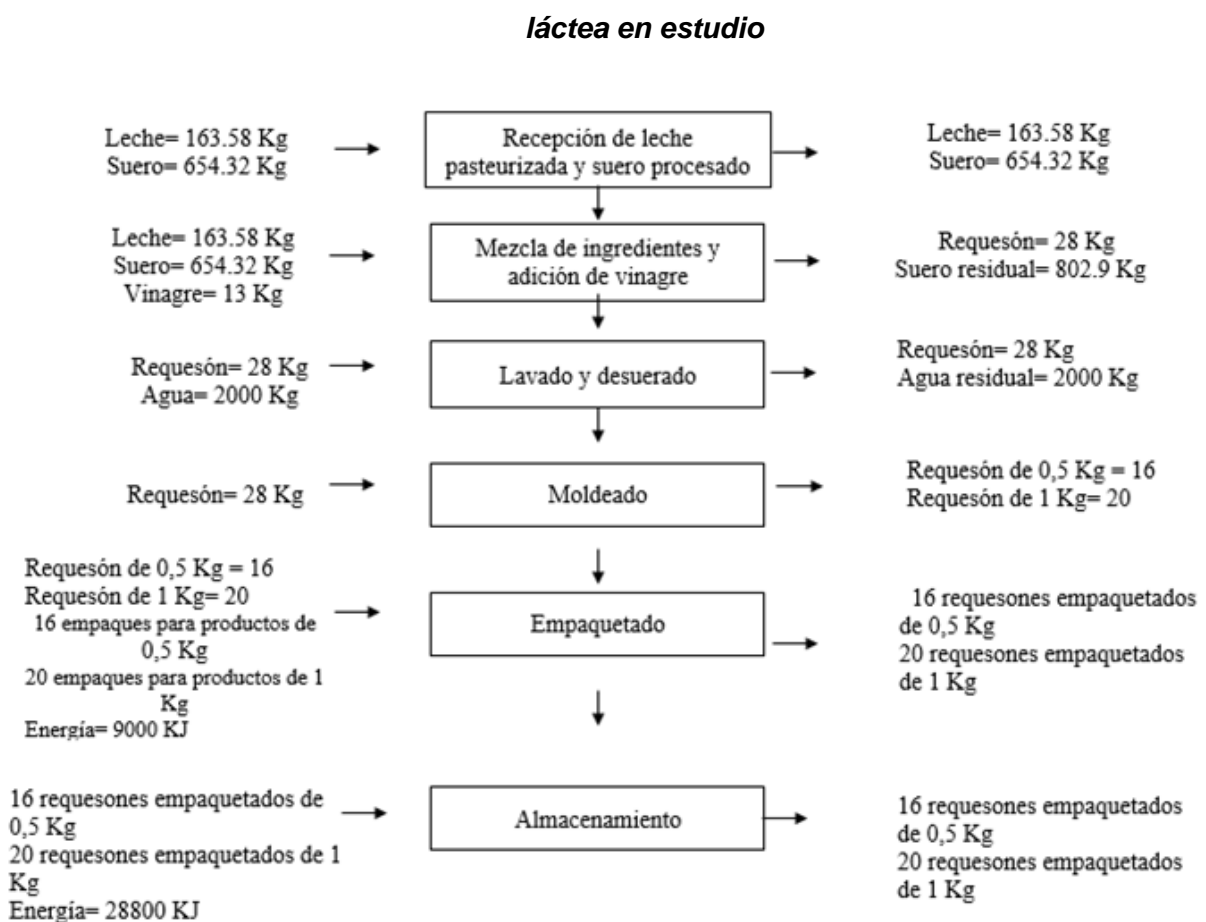


Figura 7. Diagrama de flujo diario del procesamiento de requesón de la industria



4.3.1. Consumo de agua en el procesamiento de productos lácteos

La tabla 1 muestra detalles acerca del consumo de agua en los diferentes procesos en la industria láctea de estudio. Para determinar el consumo de agua se tomó como referencia la cantidad diaria usada en la empresa.

Tabla 1. Consumo de agua en el procesamiento de productos lácteos

| Proceso | Tiempo (min/lote) | Consumo de agua por actividad (m³/día) |
|---|--------------------------|--|
| Lavado y desuerado en procesamiento de queso fresco | 20 | 2 m ³ /día |
| Lavado y desuerado en procesamiento de queso mozzarella | 20 | 2 m ³ /día |
| Preparación de salmuera | 480 | 1 m ³ /día |
| Masajeado en procesamiento de queso mozzarella | 30 | 2 m ³ /día |
| Lavado y desuerado en procesamiento de requesón | 20 | 2 m ³ /día |
| Agua usada en caldero para los diferentes procesos | 480 | 2 m ³ /día |
| Agua usada en tina de enfriamiento | 30 | 3 m ³ /día |
| Limpieza | 480 | 5 m ³ /día |
| Total | | 19 m³/día |

En la tabla 2 se indica el costo diario y mensual en dólares que se gasta en el consumo de agua para el procesamiento de los diferentes productos lácteos. Las actividades de limpieza y las que involucran el uso de la tina de enfriamiento para pasteurización y yogurt son las que más gasto generan. Las actividades de limpieza le cuestan a la empresa 90

dólares, el uso de la tina de enfriamiento para pasteurización genera un costo de 54 dólares y el uso de la tina de enfriamiento para yogurt genera un costo de 54 dólares.

Tabla 2. Costo diario y mensual de agua en los diferentes procesos de la industria láctea de estudio.

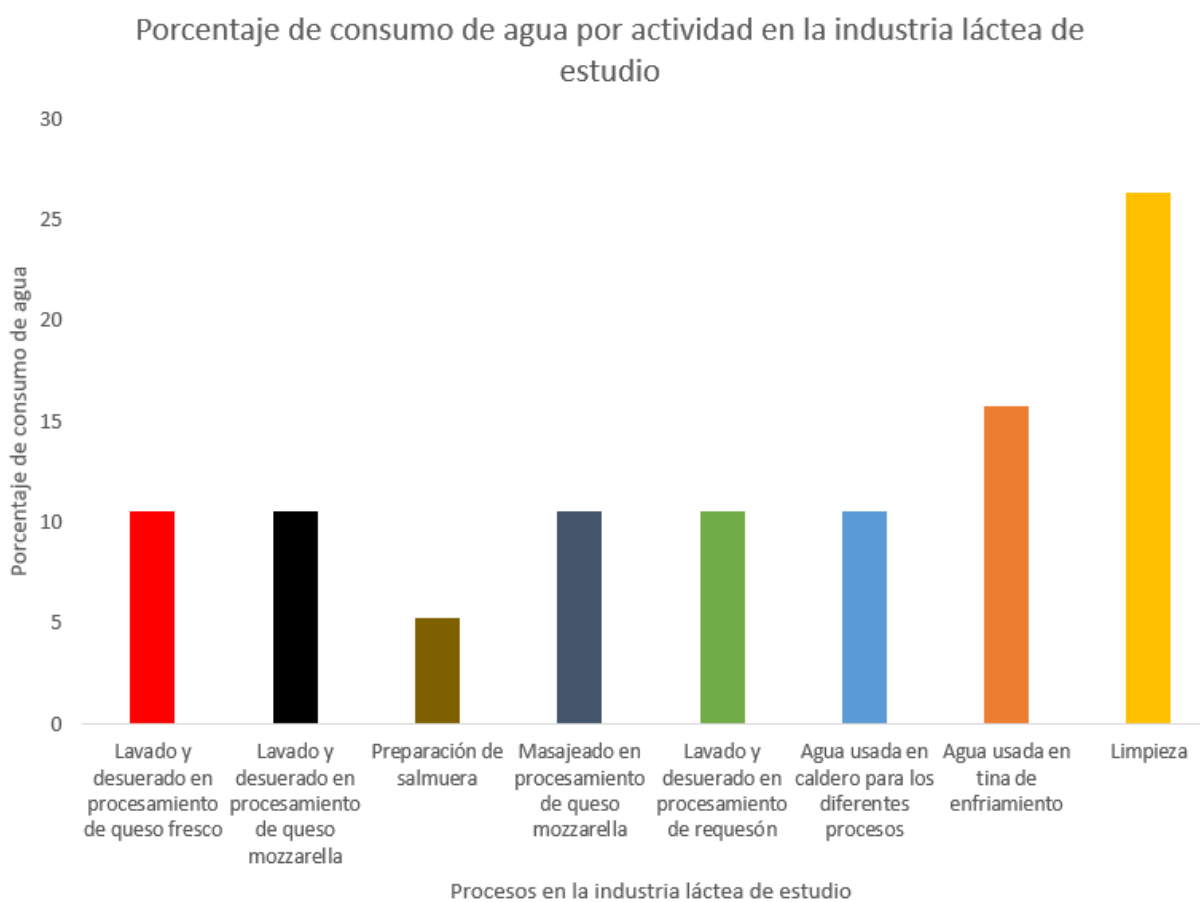
| Proceso | Costo diario(\$) | Costo mensual (\$) |
|---|-------------------------|---------------------------|
| Lavado y desuerado en procesamiento de queso fresco | \$ 1.2 | \$ 36 |
| Lavado y desuerado en procesamiento de queso mozzarella | \$ 1.2 | \$ 36 |
| Preparación de salmuera | \$ 0.6 | \$ 18 |
| Masajeado en procesamiento de queso mozzarella | \$ 1.2 | \$ 36 |
| Lavado y desuerado en procesamiento de requesón | \$ 1.2 | \$ 36 |
| Agua usada en caldero para los diferentes procesos | \$ 1.2 | \$ 36 |
| Agua usada en tina de enfriamiento | \$ 1.8 | \$ 54 |
| Limpieza | \$ 3 | \$ 90 |
| Total | \$ 11.4 | \$ 342 |

En la figura 8 se indican los porcentajes de consumo total diarios de agua por actividad en la industria láctea de estudio. Las actividades de limpieza son las que más agua consumen con un 26.32%. Le sigue el agua usada en tina de enfriamiento con 15.79%, lavado y desuerado en procesamiento de queso fresco con 10.53%, lavado y desuerado en procesamiento de requesón con 10.53%, lavado y desuerado en procesamiento de queso

mozzarella con 10.53%, masajeado en procesamiento de queso mozzarella con 10.53% y preparación de salmuera con 5.26%,

Las actividades de limpieza y la tina de enfriamiento son las actividades que más consumen agua en la planta. Cabe destacar que el consumo de agua en las actividades de limpieza no sigue normas de consumo eficiente de agua, causando un mayor consumo de agua y generando pérdidas económicas.

Figura 8. Porcentaje de consumo de agua por actividad en la industria láctea de estudio



4.3.2. Consumo de energía eléctrica en el procesamiento de productos lácteos

La tabla 3 muestra detalles acerca del consumo de energía en los diferentes procesos en la industria láctea de estudio. Para determinar el consumo de energía se tomó como referencia la cantidad diaria usada en la empresa.

Tabla 3. Consumo de energía eléctrica en el procesamiento de productos lácteos

| Dispositivos o herramientas | Tiempo de uso promedio (h)/día | Potencia (Kw) | Kw.h/día | Energía eléctrica (KJ) |
|-----------------------------|--------------------------------|---------------|----------|------------------------|
| Empacadora | 2.5 | 0.75 | 1.875 | 6750 |
| Cuarto frío | 24 | 0.9 | 21.6 | 77760 |
| Tina de enfriamiento | 8 | 1.22 | 9.76 | 35136 |
| Incubadora | 24 | 0.16 | 3.84 | 13824 |
| Oficina | 8 | 0.25 | 2 | 7200 |
| Total | | | | 140670 |

La tabla 4 muestra el costo diario y mensual que generan las diferentes actividades en el procesamiento de productos lácteos que involucran energía eléctrica. Las actividades del caldero y del transporte son las que más gasto generan a la empresa respecto a energía eléctrica. Estas actividades tienen costo mensual de 117.22 dólares.

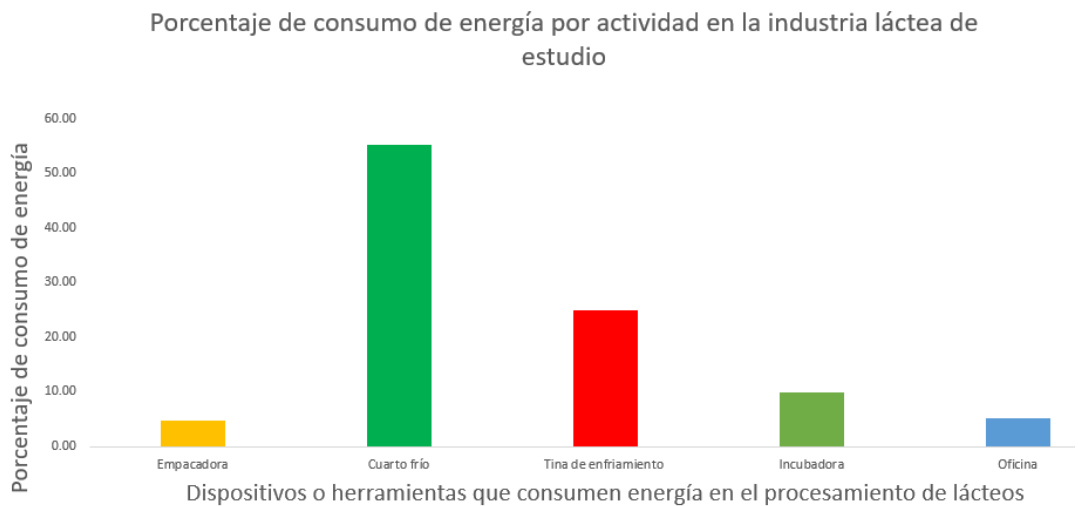
Tabla 4. Costo diario y mensual de energía eléctrica en los diferentes procesamientos de la industria láctea de estudio

| Dispositivos o herramientas | Costo diario(\$) | Costo mensual (\$) |
|-----------------------------|------------------|--------------------|
| Empacadora | 0.1875 | 5.625 |
| Cuarto frío | 2.16 | 64.8 |
| Tina de enfriamiento | 0.976 | 29.28 |
| Incubadora | 0.384 | 11.52 |

| | | |
|--------------|-------------|----------------|
| Oficina | 0.2 | 6 |
| Total | 3.72 | 117.225 |

En la figura 9 se muestran los porcentajes de consumo total diarios de energía eléctrica que generan los dispositivos utilizados en la industria láctea de estudio. El cuarto frío es el instrumento que más energía eléctrica consume con un 55.28%. Le sigue la tina de enfriamiento con un 24.98%, incubadora con 9.83%, dispositivos de oficina con 5.12% y empacadora con 4.8%. El cuarto frío y la tina de enfriamiento son los dispositivos que más consumen energía eléctrica en la planta.

Figura 9. Porcentaje de consumo de energía eléctrica por actividad en la industria láctea de estudio



4.3.3. Consumo de combustible en el procesamiento de productos lácteos

La tabla 5 muestra detalles acerca del consumo de combustible en los diferentes procesos en la industria láctea de estudio. Para determinar el consumo de combustible se tomó como referencia la cantidad diaria usada en la empresa.

Tabla 5. Consumo de combustible en el procesamiento de productos lácteos

| Dispositivos o herramientas | Litros de diésel utilizados | Potencia (Kw) | Kw.h/día | Energía de combustible (KJ) |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------|----------|-----------------------------|
| Caldero | 12 | 10.96 | 131.52 | 473472 |
| Transporte | 4 | 10.96 | 43.84 | 157824 |
| Total | 16 | 21.92 | 175.36 | 631296 |

La tabla 6 muestra el costo diario y mensual que generan las diferentes actividades en el procesamiento de productos lácteos que involucran el consumo de combustible. Las actividades del caldero y del transporte generan grandes costos a la empresa. Las actividades del caldero tienen un costo mensual de 117.25 dólares.

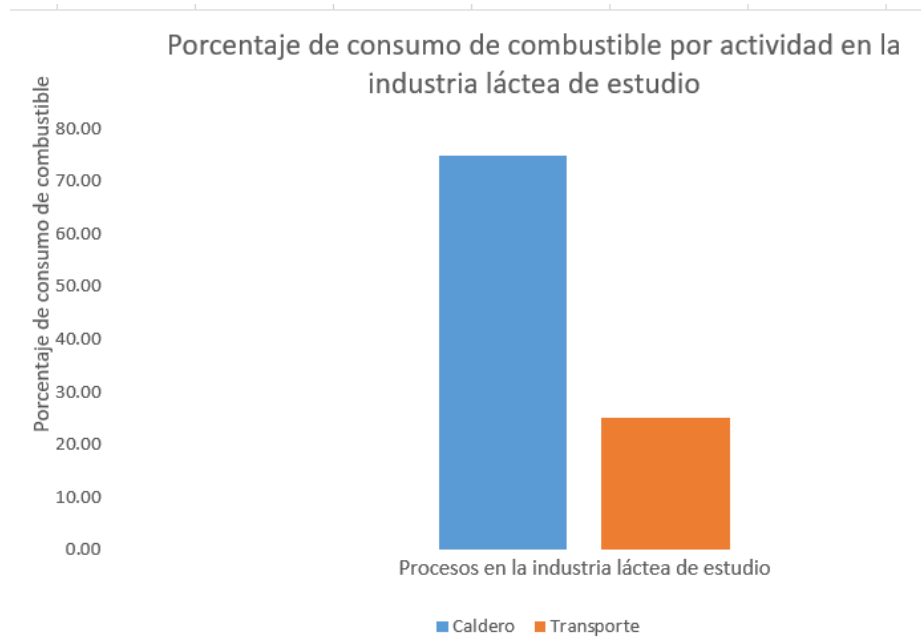
Tabla 6. Costo diario y mensual de energía generada por el diésel en los diferentes procesamientos de la industria láctea de estudio

| Dispositivos o herramientas | Costo diario(\$) | Costo mensual (\$) |
|-----------------------------|------------------|--------------------|
| Caldero | 5.072 | 152.16 |
| Transporte | 1.68 | 50.4 |
| Total | 6.752 | 202.56 |

En la figura 10 se muestran los porcentajes de consumo total diarios de combustible que generan los dispositivos utilizados en la industria láctea de estudio. caldero es el

instrumento que más combustible consume con un 75%. Le sigue las actividades de transporte con un 25%.

Figura 10. Porcentaje de consumo de combustible por actividad en la industria láctea de estudio



4.3.4. Generación de residuos líquidos

El único residuo líquido que produce la industria láctea de estudio es el suero de la leche que, a pesar de reutilizar parte de este residuo en la producción de requesón, la empresa desecha diariamente un promedio de 1.77 metros cúbicos de suero de leche que no son tratados y se envían directo a una fuente hídrica cercana a la empresa.

La tabla 7 indica los parámetros físico químicos del suero de leche, según Ergüder y colaboradores (2001).

Tabla 7. Parámetros físico químicos del suero de leche

| Parámetro | Cantidad |
|-----------|----------|
|-----------|----------|

| | |
|-------------------------------|------------|
| pH | 3.92 |
| DQO | 74500 mg/L |
| DBO ₅ | 44700 mg/L |
| Fósforo total | 124 mg/L |
| Nitrógeno Kjeldahl total | 145.6 mg/L |
| Sólidos suspendidos | 9380 mg/L |
| Sólidos volátiles suspendidos | 8280 mg/L |

La tabla 8 indica detalles acerca de la generación de suero de leche en los diferentes procesos en la industria láctea de estudio. Para determinar la generación de suero producido se tomó como referencia la cantidad diaria usada en la empresa.

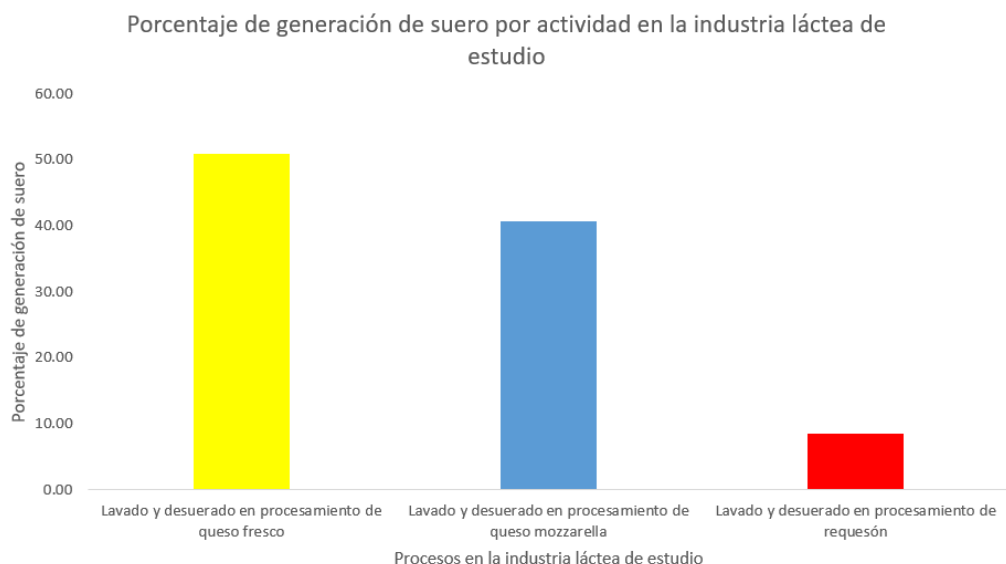
Tabla 8. Generación de suero en el procesamiento de productos lácteos

| Proceso | Residuos generados (m ³ /día) |
|---------|--|
|---------|--|

| | |
|---|-------------------------------|
| Lavado y desuerado en procesamiento de queso fresco | 0.9 m ³ /día |
| Lavado y desuerado en procesamiento de queso mozzarella | 0.72 m ³ /día |
| Lavado y desuerado en procesamiento de requesón | 0.15 m ³ /día |
| Total | 1.77 m³/día |

En la figura 11 se muestran los porcentajes de generación de suero en los diferentes procesos en la industria láctea de estudio. El lavado y desuerado en el procesamiento de queso fresco es el proceso que más suero genera con un 50.85%. Le sigue la actividad de lavado y desuerado en procesamiento de queso mozzarella con un 29.75% y finalmente el lavado y desuerado en procesamiento de requesón con un 6.20%.

Figura 11. Porcentaje de generación de suero por actividad en la industria láctea de estudio



En la tabla 9 se indica un resumen de los procesos que se han considerado críticos en la industria láctea de estudio en términos de consumo de agua, energía eléctrica, combustible y generación de residuos líquidos.

Tabla 9. Procesos más críticos en la industria láctea de estudio

| Establecimiento | Procesos críticos |
|-----------------------------|--|
| Industria láctea de estudio | a) Actividades de limpieza |
| | b) Agua consumida en enfriamiento de leche en pasteurización y procesamiento de yogurt |
| | c) Funcionamiento del caldero |
| | d) Lavado y desuerado en procesamiento de queso fresco, mozzarella y requesón. |

4.4. Estrategias de producción más limpia

4.4.1. Estrategias de reducción de residuos líquidos

En la tabla 10 se establecen las estrategias de producción más limpia para disminuir la generación de residuos líquidos.

Tabla 10. Estrategias de reducción de residuos líquidos

| Objetivo de reducción | Porcentaje de reducción | Cantidad de residuos líquidos no generados | Acciones |
|--|--|---|--|
| Reducir el volumen de residuos líquidos formados en el lavado y desuerado de queso fresco, mozzarella y requesón. Generar gas metano que se utilizará como combustible para el caldero. | Se espera reducir el 95% de DQO del suero de leche. Ergüder y colaboradores (2001). | 40192.30 g/m ³ de DQO por día | Implementación de un reactor continuo anaerobio de tanque agitado con recirculación de células |

La digestión anaerobia es una técnica que biodegrada la fracción orgánica, obteniendo como resultado un producto que puede ser usado como fertilizante. Además, esta digestión permite generar grandes cantidades de biogás que contiene entre un 40% a un 60% de metano que puede ser utilizado para obtener energía y de esta manera reemplazar el uso de combustibles fósiles (Reyes, 2019).

El biodigestor que se recomienda usar es el reactor continuo anaerobio de tanque agitado con recirculación de células que, según Ergüder y colaboradores (2001), permite eliminar la carga de DQO hasta en un 95% y además producir 424 ml de CH₄ por cada gramo de DQO removido. Se recomienda ubicar el biodigestor cerca de la planta de procesamiento para facilitar el acceso a la válvula de extracción de lodos y en un terreno de suelo estable. Según (Quispe & Gomero, 2019), el reactor se inocula con estiércol, se circula el suero de leche y luego recirculan los lodos que salen del sedimentador. Los lodos son agregaciones microbianas que se generan dentro del reactor.

Este biorreactor tendrá una altura de 4.65 metros, diámetro de 1.6 metros, volumen de 9.36 m³ y requiere una superficie de 2.01 m². En el anexo 7 se describen las características para el diseño del biorreactor y la cantidad de energía que podrá generar.

Este reactor de forma cilíndrica tendrá una apertura donde circulará una corriente de suero de leche mientras recirculan células anaerobias que generarán el proceso de metanogénesis. Por otro lado, habrá otra apertura en el cual se libere el agua tratada junto a estas células. Este líquido pasará por un sedimentador que decantará los lodos que salen del biorreactor para recircular nuevamente en el biorreactor. En la parte superior del dispositivo se acumulará el biogás.

Una vez obtenido el biogás, se procede a purificarlo. Leiton J. (2014) menciona que se puede purificar biogás utilizando agua a una presión de 200 KPa, para después tratarlo con óxido de calcio y un filtro a base de carbón activado para secar el gas, eliminar las impurezas y de esta manera obtener metano en un estado más puro.

El proceso para reutilizar el suero de leche de la industria láctea con el objetivo de generar biogás es el siguiente:

- Instalación de un reactor continuo anaerobio de tanque agitado con recirculación de células
- Realizar la carga diaria de suero de leche de 1.77 m³ de suero y recircular el lodo que sale del sedimentador.
- El tiempo de retención en el reactor será de 3 días, que según Ergüder y colaboradores (2001), mencionan que es el adecuado para la operación del digestor anaerobio.
- Purificar el biogás utilizando agua a una presión de 200 KPa, tratarlo con óxido de calcio y un filtro de carbón activado para secar el gas, eliminar las impurezas y de esta manera obtener metano en un estado más puro.
- Después de haber secado el biogás, se procede a transportar este elemento por una tubería que conecta con los quemadores del caldero. Cabe destacar que, deben modificarse los quemadores del caldero, ya que éste funciona con diésel. Hay que adaptarlo para biogás.

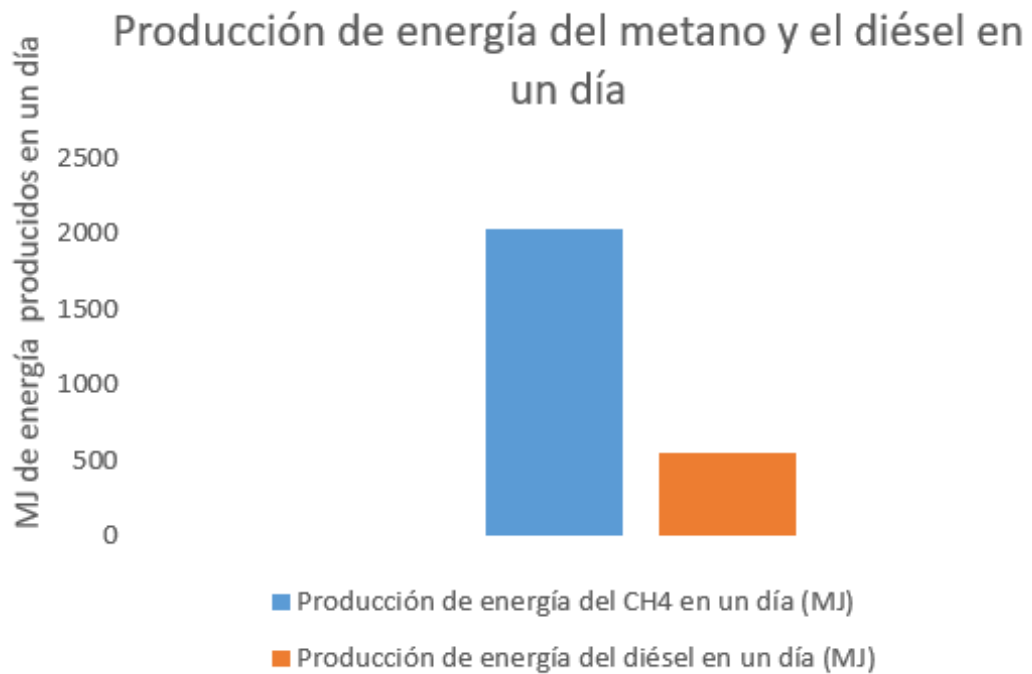
4.4.1.1. Análisis técnico y estimación de costos

El anexo 8 describe el análisis de costos de implementación del biorreactor y de aprovechamiento del gas metano generado. El precio estaría cerca de los 7300 dólares e incluiría un sistema de secado y purificación de gas, todo el sistema del biodigestor y la instalación. Esta sería una inversión a mediano plazo, ya que al instalar el biodigestor se ahorraría 1851.51 dólares en diésel anualmente.

En el anexo 7 están los cálculos de la producción neta de metano que podrían producirse a partir del suero de leche de forma diaria. La industria podría generar 55.97 m³ de metano diariamente capaces de producir 2035 MJ de energía, a diferencia del diésel que solamente genera 549.26 MJ. Esto significa que la energía del metano generada en el

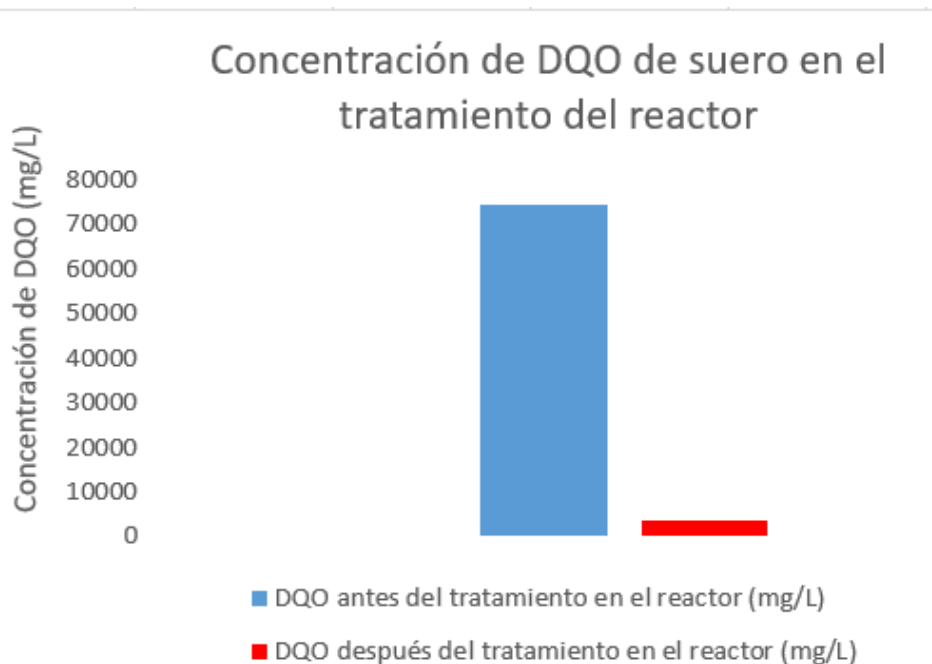
biodigestor podría reemplazar al diésel para las actividades del caldero. La figura 12 indica la diferencia de energía producida por el biodigestor y por el diésel.

Figura 12. Producción de energía del metano y el diésel en un día



En la figura 13 se indica la cantidad de DQO antes y después del proceso del biodigestor:

Figura 13. Concentración de DQO de suero de leche en el tratamiento en el reactor



El Acuerdo Ministerial 097 indica que el límite descarga máximo permisible de DQO a un cuerpo de agua dulce es de 200 mg/L y la DQO remanente después del proceso en el reactor es de 3725 mg/L, por lo que aún requiere de otro tratamiento para que esta agua residual entre en el límite máximo permisible dictado por el Acuerdo Ministerial 097.

El último paso consiste en transportar por tuberías el agua tratada que sale del biodigestor hacia un humedal que permitirá remover la DQO remanente y de esta manera reintroducir agua para actividades de la empresa. La elaboración del humedal se explicará en el siguiente apartado.

4.5. Estrategias de reducción de consumo de agua en actividades de limpieza y tina de enfriamiento.

En la tabla 11 se indican las estrategias de producción más limpia para aprovechar el uso del agua en actividades de limpieza y tina de enfriamiento.

Tabla 11. Estrategias de reducción en el consumo de agua en actividades de limpieza

| Objetivo de reducción | Porcentaje de reducción | Cantidad de residuos líquidos no generados | Acciones |
|--|---|--|--|
| Reducir el consumo de agua potable de la red de distribución | Como indica Sandoval, y otros, (2020), con el uso de un sistema de humedales de flujo vertical parcialmente saturados se espera reducir la DQO del agua residual proveniente de actividades de limpieza hasta en un 91% | 8 m ³ de agua diaria. | Diseño de un sistema de humedales de flujo vertical parcialmente saturados Reutilización de agua para actividades de limpieza y en la tina de enfriamiento. |
| Reducir el consumo de agua potable. Reducir la cantidad de fosfatos en los residuos líquidos. | Se espera ahorrar hasta el 15% de agua con el uso de una hidrolavadora ya que el caudal es de 15 L/min (Delgado & Martínez, 2018). De León, (2015) indica que el uso de detergentes biodegradables contribuye a la reducción de hasta 100% de fosfatos en los residuos líquidos debido a que en su estructura no posee cadenas fosfatadas. | 1.2 m3 240 g fosfatos/m3 | Uso de una hidrolavadora industrial. Uso de detergentes biodegradables en todos los procesos de limpieza. |

En la tabla 12 se detallan las concentraciones de DQO y DBO5 que poseen las aguas residuales de actividades de limpieza, según Sandoval, y otros, (2020).

Tabla 12. Características fisicoquímicas del agua residual de limpieza

| Detalle | Concentración estimada sin el sistema de humedales | Concentración estimada aplicando el sistema de humedales (reducción del 91%) |
|----------------|---|---|
| DQO | 330 mg/L | 29.7 mg/L |
| DBO5 | 200 mg/L | 18 mg/L |

El representante de la industria láctea de estudio informó que para actividades de limpieza se consumen aproximadamente 5000 litros de agua y la tina de enfriamiento consume 3000 litros de agua diariamente. Cabe destacar que no se realiza un tratamiento previo antes de desechar el agua residual a un cauce hídrico cercano, causando daños al ambiente.

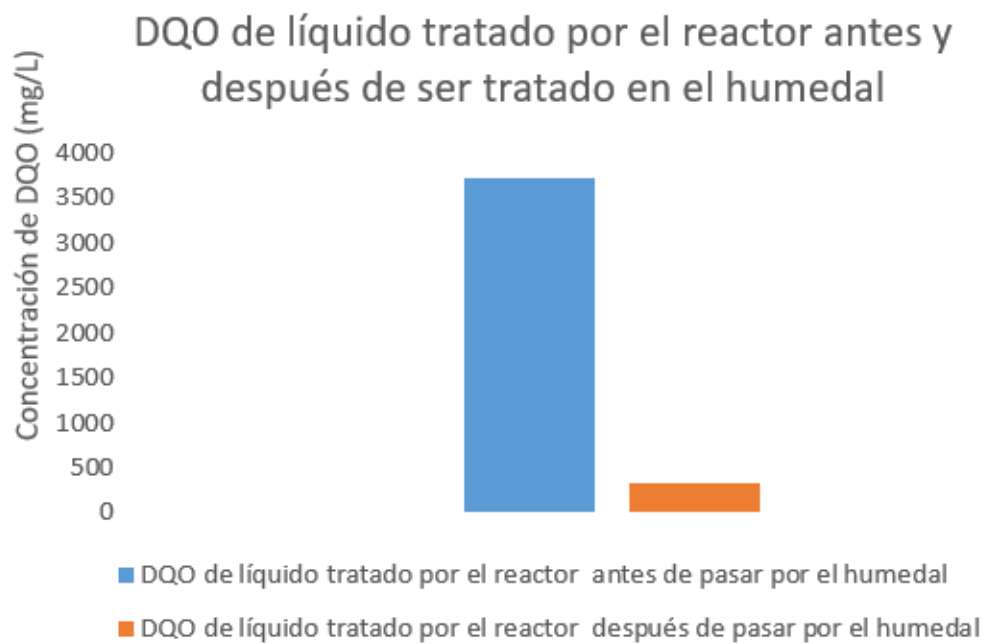
Nakase, y otros, (2019) exponen que un sistema de humedales de flujo vertical parcialmente saturado está compuesto de dos partes: una de flujo libre o insaturada (se encuentra en la parte superior del sistema), y una de saturación constante (se encuentra en parte inferior) en la cual el control de salida de agua se ubica a una altura superior al fondo, generando un área de constante saturación, permitiendo la eliminación de Nitrógeno Total de manera eficiente a través de la nitrificación/desnitrificación.

Sandoval, y otros, (2020) exponen que el sistema de humedales de flujo vertical parcialmente saturados permitiría reducir el DQO en 91%, N-NH₄ EN 79% y Coliformes totales 93%. Para esto se utilizará como sustrato tezontle rojo, que es una grava de bajo peso molecular, la cual facilita la sedimentación de sólidos. Narváez (2020), indica que el uso de dos especies vegetales (*C. hybrids* e *I. germánica*) serían eficientes, ya que soportan altas concentraciones de contaminantes y se adaptan a climas cambiantes; así el agua podría volver a ser utilizada en procesos de limpieza y también para la tina de enfriamiento. Con este procedimiento se esperaría ahorrar hasta 8 m³ de agua diariamente. Cabe destacar que sería

necesario un análisis físico, químico y microbiológico si se desea reintroducir este líquido a actividades de producción, pero podría ser utilizado para actividades de limpieza y la tina de enfriamiento.

Por otro lado, si se ingresa el agua tratada del biodigestor, se reduciría el 91% de DQO remanente; es decir que, el agua del biodigestor llegaría a tener una DQO de 335.25 mg/L. En la figura se indican las concentraciones de DQO del agua tratada en el reactor antes y después de tratarse con el humedal.

Figura 14. Concentración de DQO del agua tratada en el reactor antes y después de pasar por el humedal



El Acuerdo Ministerial 097 indica que el límite descarga máximo permisible de DQO a un sistema de alcantarillado público es de 500 mg/L y la DQO remanente de los residuos líquidos después del proceso en el reactor y en el humedal es de 335.25 mg/L, por lo que esta agua residual entra en el límite máximo permisible dictado por el Acuerdo Ministerial 097.

4.5.1. Análisis técnico y estimación de costos

La tecnología usada para la implementación de un sistema de humedales verticales tiene un valor aproximado de 22 dólares por m² (Cueva, 2013). Los sistemas de humedales verticales parcialmente saturados ofrecen muchas ventajas en relación a costos, ya que se usan plantas de las que se puede obtener biomasa vegetal porque las flores de las plantas empleadas en el sistema de humedales verticales pueden comercializarse y además, la operación tiene bajos costos de implementación (Plaza & Vidal, 2018).

UN-HABITAT, (2008) propone el diseño de este tipo de humedal basándose en el caudal generado en el área de limpieza y la DBO5 del agua residual de la misma, con una profundidad promedio de 70 cm utilizando la siguiente fórmula:

$$A_h = \frac{Q_d (\ln C_i - \ln C_e)}{K_{DBO}} \quad (1)$$

Donde:

A_h = Área del humedal (m²)

Q_d = Caudal promedio diario (m³/d)

C_i = Concentración de DBO5 afluente (mg/L)

C_e = Concentración de DBO5 DBO efluente (mg/L)

K_{DBO} = Constante 0.15 (m/d) para HH (Humedales horizontales) y 0.2 (m/d) para HV (Humedales verticales)

$$A_h = \frac{5m^3/d (\ln 200mg/l - \ln 100mg/l)}{0,2 \frac{m}{d}} \quad (2)$$

Reemplazando los datos con los obtenidos en la investigación:

A_h = Área del humedal (m²)

Q_d = 5 m³/d, obtenido del área de limpieza de la empresa

C_i = 200 1725 mg/l, obtenido del agua residual de limpieza

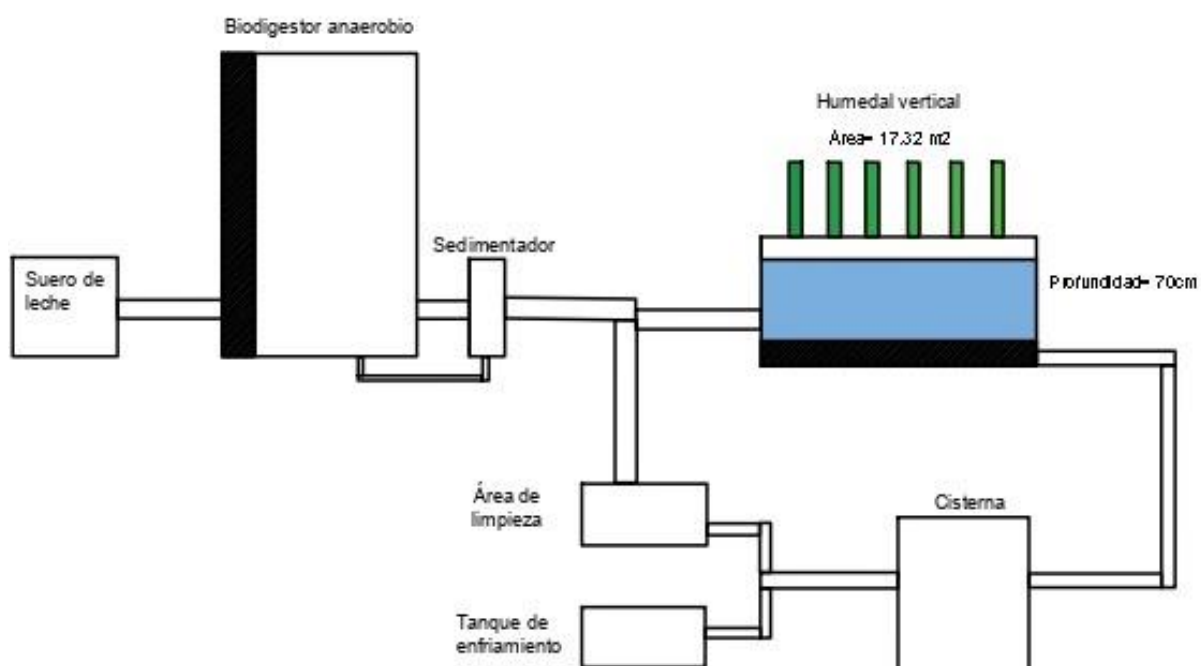
C_e = 100 mg/l, obtenido de los niveles permitidos en Ecuador (MAATE, 2020)

K_{DBO} = 0.2 m/d

$$A_h = 17.32m^2$$

Sería necesario disponer de un área de 17.32 m² para construir el sistema de humedales, como se observa en la Figura 15, y según Cueva, (2013) el costo por m² para la edificación de un sistema de humedales es de 22 dólares, entonces multiplicando ese valor por el área calculada, su construcción tendría un costo aproximado de 381.04 dólares.

Figura 15. Diseño del sistema de humedales verticales parcialmente saturados



4.6. Estrategias de reducción de energía consumida por el caldero

En la tabla 13 se indican las estrategias de producción más limpia para reducir el consumo de energía del caldero.

Tabla 13. Estrategias de reducción de consumo de energía del caldero.

| Objetivo de reducción | Porcentaje de reducción | Cantidad de energía térmica no | Acciones |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|----------|
|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|----------|

| | | consumida por el caldero | |
|---|--|--|---|
| Reducir la cantidad de energía térmica requerida por el caldero | Se espera reducir 10 a 30% de la energía requerida por el caldero (Allauca, 2019). | 47347.2 a 142041.6 Kilojoules de energía por día, que representan el 10 y el 30% de la energía que consume el caldero diariamente. | Realizar revisiones periódicas más frecuentes del caldero. Crear planes de mantenimiento mensual, semestral y anual para el caldero. Uso de un biodigestor para reemplazar el uso de combustible fósil en el caldero. |

Según datos proporcionados por la industria láctea de estudio, el modelo del caldero utilizado es el HS Blue Angel Plus Oil Powered Burner y se realiza una inspección general cada seis meses. El manual (Wayne Combustion Systems, 2011) menciona que antes de encender el quemador, debe inspeccionarse el sistema de calefacción para eliminar impurezas. Además, las superficies adsorbentes de calor y los conductos de humos deben estar limpios para optimizar la transferencia de calor, ya que pueden quedar rastros de hollín que retarden la transferencia de calor, consumiendo más energía térmica. Otras actividades importantes respecto al mantenimiento del caldero son la revisión de conductos de gases de combustión y cámaras de combustión, ya que deben estar bien selladas para reducir el exceso de aire que reduce la capacidad calorífica del caldero. Estas actividades mencionadas no se realizan meticulosamente en la empresa.

El mantenimiento periódico del caldero es un factor importante para ahorrar energía térmica y reducir las emisiones de dióxido de carbono, pero también es prioritario evitar el uso de combustibles fósiles que afectan al ambiente. Podría optarse por el consumo de gas metano que produciría un reactor continuo anaerobio de tanque agitado con recirculación de

células. Para utilizar este biodigestor, es necesario adaptar los quemadores del caldero que están diseñados para consumir diésel y reemplazarlos por quemadores que consuman biogás.

4.6.1. Análisis técnico y estimación de costos del caldero

Existen actividades en el caldero que necesitan más revisiones que otras. (Pramanik & Kumar, 2021) indica que un caldero requiere un plan de mantenimiento mensual, otro semestral y un anual. El plan de mantenimiento mensual incluye actividades de control de consumo de combustible, energía eléctrica y agua, limpieza de filtros de gas y potencia del equipo. El plan de mantenimiento semestral requiere actividades de verificación del material refractario y limpieza de circuito de humos de la caldera. Finalmente, el plan de mantenimiento anual incluye actividades de revisión de cuadro eléctrico, inspección de aparatos de control, revisión de la chimenea y de las válvulas de seguridad. Estos planes de mantenimiento podrían ser creados por la empresa o contratar una empresa privada que se encargue del control constante de caldero. El costo mantenimiento anual del caldero que paga la industria a una empresa particular es de 900 dólares, pero le permite ahorrar a la empresa en combustible, además de generar menos emisión de efecto invernadero; pero si aplicara un mantenimiento mensual, semestral y anual planificado, se podría mejorar la productividad del caldero en un 25% y reducir en 30% los costos de mantenimiento, consumo de energía térmica y la vida útil de la maquinaria (Allauca, 2019). Por otro lado, si se aplica el biodigestor, el caldero ya no requeriría de diésel. El costo aproximado es de 7300 dólares, pero se podría recuperar ese dinero en un lapso de 4 años con el ahorro de dinero que se gasta diariamente en diésel. Por otro lado, el costo del quemador de biogás es de 1800 dólares, para reemplazar los quemadores de diésel en el caldero.

4.7. Estrategias de reducción de energía eléctrica

En la tabla 14 se indican las estrategias de producción más limpia para reducir el consumo de energía eléctrica.

Tabla 14. Estrategias de reducción de consumo de energía del caldero.

| Objetivo de reducción | Porcentaje de reducción | Cantidad de energía eléctrica no consumida por la industria | Acciones |
|---|---|--|--|
| Reducir la cantidad de energía eléctrica generada en la empresa por los diferentes dispositivos electrónicos | Se espera reducir el 100% de la energía eléctrica de la industria láctea | 140670 Kilo Joules de energía por día que representa el 100% de la energía consumida por los diferentes dispositivos electrónicos. | Aplicar el uso de paneles solares que generen energía fotovoltaica y reemplacen el uso de energía eléctrica. |
| Reducir el consumo de energía eléctrica mediante la concientización a los trabajadores y el monitoreo periódico del sistema eléctrico de los equipos de producción y oficina. | Se espera reducir el 10% de la energía eléctrica de la empresa (Hernandez, 2018). | 14067 Kilo Joules de energía por día que representa el 10% del total de la energía consumida por los diferentes dispositivos electrónicos. | Realizar capacitaciones al personal para concientizar el uso de energía. Instalar medidores independientes en cada equipo eléctrico para monitorear el consumo de electricidad. |

Con respecto a la energía solar fotovoltaica, según Sampaio, P. y González, M. (2017), menciona que los paneles solares producen corriente eléctrica de forma continua gracias a la captación de rayos de sol y además genera corriente alterna. Este tipo de energía renovable permitirá reducir costos por consumo de energía eléctrica, teniendo ciclos de vida de hasta 25 años. Cabe destacar que, para instalar estos dispositivos de energía eléctrica fotovoltaica, se necesita la autorización legal de la Agencia de Regulación y Control de

Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) y que cuenta con la nueva resolución 013 del año 2021.

4.7.1. Análisis técnico y estimación de costos de la instalación de paneles solares

Para el cálculo del sistema de instalación de los paneles solares se utilizó la aplicación "Global Solar Atlas" que permite estimar los kW.h anuales de la empresa que producirá un kW fotovoltaico. El valor de producción de energía fotovoltaica del sector de la empresa es de 1185.4 kWp y el consumo anual de la empresa es de 1400 kW.h. Para estimar la potencia fotovoltaica del panel se aplicó la siguiente ecuación:

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{\text{Consumo anual de electricidad de la empresa}}{KWP\ del\ sector\ de\ la\ empresa} \quad (3)$$

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{1400\ kW.h}{1185.4\ kW.h/kWP} \quad (4)$$

$$Potencia\ fotovoltaica = 1.181\ kWP \quad (5)$$

Con la potencia fotovoltaica obtenida, se recomienda colocar a los paneles con un ángulo de inclinación de 10 grados.

Respecto a los costos, el costo por kWp es de aproximadamente 2000 dólares. Como la empresa requiere de 1.181 kWp, el costo es de 2362 dólares. El costo de instalación rodea los 450 dólares, dando un total de 2812 dólares. Teniendo en cuenta que la empresa paga un promedio de 120 dólares mensuales en energía eléctrica, la estrategia es factible ambiental y económicamente, ya que se podría recuperar lo invertido en un año y medio.

4.8. Estrategias de reducción de residuos sólidos.

En la tabla 15 se indican las estrategias de producción más limpia para disminuir la cantidad de residuos sólidos generados en la empresa.

Tabla 15. Estrategias de reducción de residuos sólidos

| Objetivo de reducción | Acciones |
|---|--|
| Reducir la cantidad de residuos sólidos generados en la empresa | Emplear el uso de plásticos biodegradables o cartón grado alimenticio (y biodegradable) para el embalaje de los productos. Reutilizar ciertos envases plásticos a través de centros de acopio |

La industria láctea de estudio utiliza 115 envases de polipropileno de 500 mL y 200 envases de 1000 mL por cada lote de yogurt producido. También utiliza 120 envases de polipropileno de 250 mL y 600 envases de 100 mL por cada lote de manjar producido, generando grandes cantidades de residuos plásticos que afectan directamente al ambiente. En un estudio realizado por (Aizaga, 2017), se indica que muchas empresas manufactureras desconocen la cantidad de residuos sólidos que generan. Es por esta razón que es importante la concientización en la reducción, reutilización y reciclaje, creando una responsabilidad social empresarial.

Se conversó con gerencia para implementar un programa de recolección de envases plásticos, creando un centro de acopio de envases que puedan ser reutilizados después de un protocolo riguroso de limpieza y desinfección. El siguiente paso será socializar el plan de reciclaje a los empleados y los clientes de la empresa para que puedan apoyar el plan, generar ganancias y reducir la utilización de residuos plásticos. Respecto al uso de material biodegradable, existen nuevos diseños de envases biodegradables que permitirían el ahorro en envases. Guo, X. y colaboradores (2021), mencionan que en los últimos años los estudios de materiales biodegradables han avanzado notablemente y poseen rendimientos de protección similares al plástico tradicional. Además, las autoridades ambientales prestan atención al empaque de los

productos. Si se integra el uso de envases biodegradables a la industria, podría tener aún más posibilidades de obtener un certificado de sello verde y ser más competitivo.

4.9. Importancia de la Aplicación de Estrategias de Producción más Limpia

El análisis propuesto muestra diferentes medidas de mitigación para los procesos que más consumen agua, energía eléctrica, energía térmica y residuos líquidos. Las industrias lácteas generan miles de litros de aguas residuales diariamente. Estas aguas se lixivian y pueden afectar no solo aguas superficiales, sino también aguas subterráneas subyacentes (Tikariha & Sahu, 2015).

Según Oviedo, Badii, Guillen, & Lugo, (2015) el uso de energías limpias para generar electricidad, por ejemplo, reduce la emisión de CO₂ y otros gases, no produce mareas negras ni residuos peligrosos que puedan contaminar el ambiente. Por su parte Casanova, Paloma, & Viola, (2019) indican que la implementación de energías limpias que generan electricidad, descontaminan agua y consumen biomasa, contribuiría a la solución de problemas como efectos ambientales que generan enfermedades y variaciones a al estado fisiológico del hombre y otros ecosistemas.

Según la investigación de Oviedo, Badii, Guillen, & Lugo, (2015) se ahorraría de 15-40% de energía en el sector industrial, implementando estrategias de producción más limpia relacionadas a la electricidad, el consumo de agua y biomasa. Sosa & Gómez, (2020) mencionan que la principal ventaja económica del uso de energías limpias en el sector industrial es la posibilidad de inagotabilidad y renovación, generando además menores costos de producción y optimización de recursos.

Según (CPTS, 2005), para implementar estrategias de producción más limpia a corto o mediano plazo, es necesario que la gerencia de la empresa cree programas de mantenimiento preventivo de los equipos de la industria, mejorar las operaciones y el orden en la limpieza de instalaciones y la instalación y calibración de medidores de agua, energía y potencia en la planta. Para implementar estrategias a largo plazo se requiere de un análisis

técnico económico para adquirir o construir equipos que permitan el ahorro de materia prima, agua y energía.

Las estrategias de producción más limpia propuestas en este estudio pueden ser aplicadas por otras pequeñas industrias lácteas del país, ya que no es tan costoso y se reutilizaría materia prima y recursos, generando más competencia sostenible. En Ecuador la implementación de la Economía Circular y Estrategias de Producción más limpia sigue avanzando. De hecho, en el Código Orgánico del Ambiente (2017), en el artículo 243 se menciona que las empresas serán reconocidas por la Autoridad Ambiental con entrega de certificaciones de sellos verdes si cumplen la norma ambiental y aplican estrategias de producción más limpia.

5. Conclusiones

- Se logró caracterizar los procesos que se desarrollan en la empresa láctea en estudio, lo cual permitió posteriormente identificar los procesos más críticos relacionados a consumo de agua, energía eléctrica, térmica y generación de residuos.
- Los procesos más críticos en la industria láctea de estudio son las actividades de limpieza, enfriamiento de leche en pasteurización y procesamiento de yogurt, funcionamiento del caldero y lavado y desuerado en procesamiento de queso fresco, mozzarella y requesón.
- Se generaron estrategias de producción más limpia sobre los procesos críticos identificados. Con la implementación de las estrategias de producción más limpia propuestas se podría reducir el consumo de energía térmica de un 10 a 30% en el caldero y un 100% en otros artefactos eléctricos si se implementan los paneles solares y buenas prácticas de consumo de energía eléctrica. Se lograría tratar y reutilizar el agua en la empresa en un 100%, instalando el reactor continuo

anaerobio de tanque agitado con recirculación de células y los humedales. Todo esto se traduciría en beneficios económicos y ambientales para la empresa.

- La investigación realizada es un aporte importante para la industria láctea de estudio, ya que actualmente la empresa está interesada en la certificación de Categoría Punto Verde otorgada por el Ministerio de Ambiente del Ecuador, y de esta manera obtener incentivos tributarios y más competitividad en el mercado local.

6. Recomendaciones

- Se recomienda a las pequeñas y medianas industrias de productos lácteos del Ecuador implementar estrategias de producción más limpia para reducir el consumo de agua, energía térmica y eléctrica, además de generar menos residuos sólidos, líquidos y gaseosos y de esta manera poder obtener una certificación de Categoría Punto Verde para ser más competitivos en el mercado local.
- Realizar charlas informativas a los pequeños y medianos empresarios de productos lácteos acerca de las ventajas de la implementación de estrategias de producción más limpia.
- Las tecnologías propuestas en este trabajo deben ser validadas en laboratorio antes de ser implementadas en una planta; estos procesos de validación podrían ser parte de futuros trabajos de investigación.

7. Bibliografía

Abanto, R., & Espinal, C. (2016). Diseño y simulación de un proceso integrado para obtener queso, mantequilla y proteína de suero a partir de leche usando el simulador SuperPro Designer. [Tesis de investigación, Universidad Nacional de Trujillo]. Obtenido de https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9134/AbantoCampos_R%20-%20EspinalDiaz_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Al-Hilphy, A., Ali, H., Al-IEssa, S., Lorenzo, J., & Barba, F. (2020). Optimization of process variables on physicochemical properties of milk during an innovative refractance window concentration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10). doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.14782>

Arce, J. (2011). Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del litoral. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1593/15/UPS-GT000209.pdf>

Ballón, S., Román, S., Antonio, K., Foronda, C., López-Soto, D., Vanegas, W., & Hallack, M. (2019). Luz para las comunidades de la Chiquitania: Los beneficios de la electrificación rural con energía renovable en Bolivia. *ECONSTOR*, 5-58.

Becerra, L., González, R., & Villegas, A. (2020). La energía solarfotovoltaica, análisis costo beneficio de los proyectos en México. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sostenible*, 600-623.

Brooke, Roque, B., Shaw, C., Najafi, N., Gonzalez, M., Pfefferlen, A., . . . Hess, M. (2020). Methane Reduction Potential of Two Pacific Coast Macroalgae During in vitro Ruminant Fermentation. *Frontiers in Marine Science*, 7. doi:<https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00561>

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Factores de Emisión considerados en la Herramienta de cálculo de la Huella de Carbono Corporativa. Obtenido de https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/informe_gei/6_anexo_3Factores_Emision_Herramienta_Inventario_GEI_EAB_2014.pdf

Castro, I., & Luz, J. (2005). ASPECTOS TÉCNICOS DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM UM LATICÍNIO. *Revista Janus*, 2(2), 99-108. Obtenido de <http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/exatas/article/view/342/507>

Chura, P., & Gomez, J. (2018). ESTUDIO DE FILTROS CERÁMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS AGROINDUSTRIALES. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Antiplano]. Obtenido de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3277678>

Cifuentes, M. (2021). La función de optimización de la rentabilidad en las empresas innovadoras del sector de leche pasteurizada y derivados lácteos en la región centro-sur del Ecuador. [Proyecto de Investigación, Universidad Técnica de Ambato]. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32656/1/T4985e.pdf>

Cueva, E. (2013). Informe Técnico del Proyecto de Investigación Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea. Santo Domingo de los Tsáchilas: Escuela Politécnica del Ejército.

De Lima, L. P., De Deus, G. B., & Perez, R. (2018). The energy mix and energy efficiency analysis for Brazilian dairy industry. *Journal of Cleaner Production*, 181, 209-216. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.221>.

Ferreira, F., De Cássia Souza, R., & de Almeida Neto, J. A. (2018). Evaluation of the application of Cleaner Production techniques in a dairy industry in Southern Bahia. *Gest. Prod.*, 25(1), 117-131. doi:<https://doi.org/10.1590/0104-530X2234-16>

Food and Agriculture Organization. (2019). GUÍA TEÓRICO-PRÁCTICA SOBRE EL BIOGÁS Y LOS BIODIGESTORES. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ca5082es/ca5082es.pdf>

Galbiatti, J., Caramelo, A., Silva, D., Gerardi, E., & Chiconato, D. (2010). Estudo qualitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(4), 432-437. doi:<https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000400013>

Görkem, F., İdil, A., & İnaltekin, M. (2017). Environmental Life Cycle Assessment of Yoghurt Supply to Consumer in Turkey. *ELSEVIER*, 215(1), 1103-1111. doi:ÜÇTUĞ, F. G., İdil ATLUĞKOYUN, A., & İNALTEKİN, M. (2019). *EnvironmentJournal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2019.01.127

Guerrón, P. (2015). OBTENCIÓN DE CONCENTRADO PROTEICO MEDIANTE TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS A PARTIR DE SUERO LÁCTEO DE CABRA. [Trabajo de Grado, Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5984/1/T-UCE-0017-152.pdf>

Hermosa, P. (2021). Últimos avances en el tratamiento de suero lácteo con tecnología de membranas (Realidad en el Ecuador). [Tesis de investigación, Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22562/1/T-UCE-0008-CQU-292.pdf>

Herrera, A., & Páez, A. (2015). ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA PARA LA UNIDAD EDUPRODUCTIVA DE LÁCTEOS DE LA FICAYA - UTN. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].

Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3442/1/03%20EIA%20340%20TESIS.pdf>

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2017). Valorización de lactosuero. Obtenido de file:///C:/Users/Cliente/Downloads/lactosuero.pdf

Loor, A. (2019). INFLUENCIA DE PROTEÍNA AISLADA DEL SUERO DE LECHE Y MEZCLAS DE DOS ESTABILIZANTES EN LA ELABORACIÓN DE UN HELADO ARTESANAL. [Informe de Investigación, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ]. Obtenido de <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1068/1/TTMAI14.pdf>

Luque, A. (2018). LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE LAS INDUSTRIAS LÁCTEAS: EL CASO DE ECUADOR. [Presentación de Paper]. III Congreso: CIENCIA, SOCIEDAD E INVESTIGACIÓN UNIVERSITARIA. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/2605/1/Gesti%20Residuos%20Industria%20Lactea.pdf>

Maryuris, J. (2018). Proyecto Aplicado: Evaluar los beneficios de la instalación de paneles solares para ahorro de energía en la empresa AJE COLOMBIA S.A. Tesis de grado. UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA, Barranquilla.

Mateo, N., Nani, G., Montiel, W., Nakase, C., Salazar, C., & Sandoval, L. (2019). Efecto de Canna hybrids en humedales construidos parcialmente saturados para el tratamiento de aguas porcinas. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable*, 56-68.

Meneses, Y., & Flores, R. (2016). Feasibility, safety, and economic implications of whey-recovered water in cleaning-in-place systems: A case study on water conservation for the dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3396-3407. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10306>

Morán, N., & Muñoz, M. (2018). Diseño de una bebida hidratante a partir de permeado de suero de leche de una industria láctea. [Proyecto Integrador, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/131603/D-CD88712.pdf>

Muñoz, J. (2019). Reutilización del lactosuero y su efecto en la sostenibilidad ambiental de la Cooperativa de Producción Agropecuaria del Cantón Chone – Ecuador. [Tesis de doctorado, Universidad Mayor de San Marcos]. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10333/Munoz_mj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Narváez, J. (2020). Uso de humedales artificiales para el tratamiento de efluentes de ganado porcino: Revisión de Literatura. Tesis de grado. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, El Zacatal.

Novo, A., Janse, S. M., & Giller, K. (2018). Biofuel, dairy production and beef in Brazil: competing claims on land use in São Paulo state. *The Journal of Peasant Studies*, 37(4), 769-792. doi:<https://doi.org/10.1080/03066150.2010.512458>

Oñate, J. (2018). Cadena agroalimentaria de la leche vacuna en Ecuador y sus potencialidades exportadoras. Periodo 2008-2015. [Disertación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14641/Disertaci%20Jos%20Miguel%20O%20ate%20Haro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Özbay, A., & Demirer, G. (2007). Cleaner production opportunity assessment for a milk processing facility. *Journal of Environmental Management*, 84(4), 484-493. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.06.021>

Plaza, C., & Vidal, G. (2018). Tratamiento de aguas residuales- Aplicaciones específicas. En M. Alarcón, F. Zurita, H. Hadad, A. García, G. Vidal, M. Maine, . . . I. Vera, *Humedales de Tratamiento: Alternativa de Saneamiento de Aguas Residuales aplicable en América Latina* (págs. 202-212). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Pramanik, D., & Kumar, D. (2021). Strategic Enhancement of Operating Efficiency and Reliability of Process Steam Boilers System in Industry. 413-430. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-15-8542-5_36

Purdy, A., Pathare, P., Wang, Y., Roskilly, A., & Huang, Y. (2018). Towards sustainable farming: Feasibility study into energy recovery from bio-waste on a small-scale dairy farm. *Journal of Cleaner Production*, 174, 899-904. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.018>.

Quispe, N., & Gomero, L. (2019). PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL COMO UNA ALTERNATIVA PARA TRATAR EL LACTOSUERO EN UN REACTOR BATCH DE UNA PLANTA QUESERA”. Trabajo de Investigación. Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Ambientales, Lima-Perú. Obtenido de <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1252/TB-Quispe%20N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Reyes, E. (2019). Generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos, en la zona rural de Estelí, en el período 2016-2018. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Obtenido de <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/12306>

Rodriguez, A., Carrasco, S., López, E., & Jiménez, R. (2019). METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CO/COMBUSTIÓN DE BIOMASAS A PARTIR DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS EN UNA CALDERA RETAL. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(1), 3-10. Obtenido de

https://www.researchgate.net/profile/Reinier-Jimenez-Borges/publication/343569491_Methodology_for_the_evaluation_of_the_process_of_co_combustion_of_biomasses_from_different_technologies_in_a_retail

Rolph, K., Forest, C., & Ruark, M. (2019). The role of non-CO2 mitigation options within the dairy industry for pursuing climate change targets. *Environmental Research Letters*, 14(8). doi:<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab28a3>

Sánchez, K., & Zúñiga, M. (2021). Evaluación costo-beneficio sobre la implementación de paneles solares en proyectos de construcción en la ciudad de Bogotá. Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia, Bogotá.

Sandoval, M., Sandoval, L., Rivera, S., Nani, G., Fernández, G., & Alavarado, A. (2020). EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS VERTICALES PARCIALMENTE SATURADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12.

Santos, V., Machado, B., Atalla, A., Cavalheri, P., & Magalhães, F. (2020). Microbiological evaluation of constructed wetlands and solar disinfection in wastewater treatment and reuse. *Journal of Water and Health*, 1146-1153.

Semanate, L. (2017). Propuesta de un Plan de Producción más Limpia (PML) para reducir el Consumo de Agua en la Línea de Producción de Queso en la Empresa de Lácteos El Tambo Cantón Cayambe. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14522/1/UPS%20-%20ST003165.pdf>

Superintendencia de Control del Poder de Mercado. (2019). Informe del sector lácteo en Ecuador. Obtenido de <https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/Version-publica-informe-sector-de-leche.pdf>

Tikariha, A., & Sahu, O. (2015). Study of Characteristics and Treatments of Dairy Industry Waste Water. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 2(1), 16-22. Obtenido de <http://article.appliedenvironmentalmicrobiology.com/pdf/JAEM-2-1-4.pdf>

Tito, O. (2021). EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A. [Trabajo de Titulación, Universidad Internacional SEK], Quito. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4108/1/Omar%20Fernando%20Tito%20Andrade.pdf>

UN-HABITAT. (2008). *Constructed Wetlands Manual*. En U. N. (UN-HABITAT), *Water for Asian Cities Programme Nepal* (págs. 20-22). Kathmandu.

Wayne Combustion Systems. (2011). *HS Oil Burner*. Obtenido de https://waynecombustion.com/uploads/downloads/Manual_HS_Blue_Angel_Plus_Oil_Powered_Burners_English.pdf

Wherry, B., Barbano, D., & Drake, M. (2019). Use of acid whey protein concentrate as an ingredient in nonfat cup set-style yogurt. *Journal of Dairy Science*, 102(10), 8768-8784. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16247>

Zambrano, I., López, E., Castillo, E., & Villacis, D. (2017). El sector lácteo de Ecuador: Principales características de la cadena productiva en zonas rurales del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. *Agroindustrial Science*, 7(1), 19-32. doi:<https://doi.org/10.17268/agroind.science.2017.01.02>

Rico, C., Muñoz, N., & Rico, J. L. (2015). Anaerobic co-digestion of cheese whey and the screened liquid fraction of dairy manure in a single continuously stirred tank reactor process: Limits in co-substrate ratios and organic loading rate. *Bioresource Technology*, 189, 327–333. doi:10.1016/j.biortech.2015.04.032

Herrero, J. (2008). *Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación*. GTZ-Energía. Bolivia. (77-78).

Ergüder, T. ., Tezel, U., Güven, E., & Demirer, G. . (2001). Anaerobic biotransformation and methane generation potential of cheese whey in batch and UASB reactors. *Waste Management*, 21(7), 643–650. doi:10.1016/s0956-053x(00)00114-8

Leiton, J. (2014). Biogas purification using water under pressure, calcium oxide and charcoal. *Universidad de San Carlos de Guatemala. Revista Científica*. Vol. 25 No. 1.

Rico, C., Rico, J. L., Tejero, I., Muñoz, N., & Gómez, B. (2011). Anaerobic digestion of the liquid fraction of dairy manure in pilot plant for biogas production: Residual methane yield of digestate. *Waste Management*, 31(9-10), 2167–2173. doi:10.1016/j.wasman.2011.04.018

Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590–601. doi:10.1016/j.rser.2017.02.081

Agencia de Regulación y Control de Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR). (2021). Resolución Nro. ARCERNNR-013/2021. REGULACIÓN Nro. ARCERNNR 001/2021. https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/06/res_nro_arcernnr-013-2021.pdf

Guo, X., Yao, Y., Zhao, H., Chi, C., Zeng, F., Qian, F., ... Lv, Y. (2021). Environmental impacts of functional fillers in polylactide (PLA)-based bottles using life cycle assessment methodology. *Science of The Total Environment*, 788, 147852. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.1478

8. Anexos

Anexo 1. Registro de datos en la etapa de procesamiento de productos lácteos

| Categoría | Variable | Procesamiento y Almacenamiento | |
|-----------------------------|---|--------------------------------|---------------------|
| | | Valor | Unidad |
| | Lavado y desuerado en procesamiento de queso fresco | 2 | m ³ /día |
| | Lavado y desuerado en procesamiento de queso mozzarella | 2 | m ³ /día |
| | Preparación de salmuera | 1 | m ³ /día |
| | Masajeado en procesamiento de queso mozzarella | 2 | m ³ /día |
| | Lavado y desuerado en procesamiento de requesón | 2 | m ³ /día |
| | Agua usada en caldero para los diferentes procesos | 2 | m ³ /día |
| | Agua usada en tina de enfriamiento | 3 | m ³ /día |
| | Limpieza | 5 | m ³ /día |
| | Combustible | Caldero | 12 |
| Transporte | | 4 | L/día |
| Energía eléctrica | Empacadora | 1.87 | kWh/día |
| | Cuarto frío | 24 | kWh/día |
| | Tina de enfriamiento en procesamiento de pasteurización | 9.76 | kWh/día |
| | Incubadora | 43.84 | kWh/día |
| | Oficina | 2 | kWh/día |
| Residuos líquidos generados | Lavado y desuerado en procesamiento de queso fresco | 0.9 | m ³ /día |
| | Lavado y desuerado en procesamiento de queso mozzarella | 0.72 | m ³ /día |
| | Lavado y desuerado en procesamiento de requesón | 0.15 | m ³ /día |

Anexo 2. Ficha técnica del caldero.

| FICHA TÉCNICA | |
|--------------------------------|--|
| Marca | HS Blue Angel Plus Oil |
| Motor | 1 HP |
| Voltaje | 120 voltios |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Amperaje | 5.50 amperios |
| Motor | 3000 RPM |
| Firing rate | 70000 BTU |
| Tipo de quemador | Combustible líquido |
| Combustibles que pueden usarse | Aceite de calefacción n. ° 1 o n. ° 2, diésel, B5, queroseno, o JP8 Jet Fuel |
| GPH | 1.5 |

Anexo 3. Ficha técnica de la tina de enfriamiento.

| FICHA TÉCNICA | |
|-------------------|--|
| Marca | WLANEUROP Reciprocating Compressors |
| Motor | 1 HP |
| Voltaje | 208 voltios |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Amperaje | 2 amperios |
| Corriente alterna | 24 VAC |
| Potencia | 416 vatios |
| Refrigerante | Tipo R22 (clorodifluorometano) |

Anexo 4. Ficha técnica del cuarto frío.

| FICHA TÉCNICA | |
|---------------|--|
| Marca | Heatcraft Outokumpu Heat Transfer MT50HK1GVE |
| Motor | 1 HP |
| Voltaje | 208 voltios |
| Frecuencia | 50 Hz |
| Amperaje | 2 amperios |
| Cilindrada | 85.64 cm ³ /rev |
| Potencia | 416 vatios |

**Anexo 5. Costos de equipos requeridos para la aplicación de estrategias de
producción más limpia**

| Ítem | Detalle | Cantidad | Costo/unitario | Costo/total |
|-------------|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | Reactor continuo anaerobio de tanque agitado con recirculación de células | 1 | 7300,00 | 7300,00 |
| 2 | Adaptación quemador de caldero a biogás | 1 | 1800,00 | 1800,00 |
| 3 | Hidrolavadora marca Black Decker | 2 | 150,00 | 300,00 |
| 3 | humedales construidos verticales parcialmente saturados. | 1 | 381.04 | 381.04 |
| 4 | Paneles solares | 1 | 2812 | 2812 |
| | | | | Total |
| | | | | 12593.04 USD |

Anexo 6. DISEÑO DE REACTOR CONTINUO ANAEROBIO DE TANQUE AGITADO CON RECIRCULACIÓN DE CÉLULAS

| DISEÑO DE REACTOR CONTINUO ANAEROBIO DE TANQUE AGITADO CON RECIRCULACIÓN DE CÉLULAS | | | |
|--|------------|---|---|
| Flujo suero | 0.1 | m ³ /h | |
| Flujo recirculación | 0.03 | m ³ /h | |
| Flujo total entrada reactor | 0.13 | m ³ /h | |
| DQO en flujo entrada reactor | 42307.6923 | g/m ³ | Tomado en base a referencia: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X00001148 |
| Carga DQO al reactor | 587.606838 | g DQO/m ³ reactor. Hora | |
| Volumen reactor | 9.36 | m ³ | |
| Lo que se remueve de DQO en el digestor anaerobio | 40192.3077 | g DQO/m ³ | |
| Lo que sale de DQO del digestor anaerobio: | 2115.38462 | g DQO/m ³ | |
| Altura reactor | 4.6552712 | m | |
| Diámetro reactor | 1.6 | m | |
| Razón altura: diámetro reactor | 2.9095445 | | |
| Área requerida para instalación reactor | 2.010624 | m ² | |
| Tiempo residencia hidráulico | 72 | h | |
| Producción de CH ₄ | 0.2491453 | m ³ CH ₄ /m ³ reactor. H | |
| Producción neta CH ₄ en 1 día | 55.968 | m ³ CH ₄ | |
| Producción neta CH ₄ en 1 día(calculado con ecuación general de los gases) | 37 | Kg CH ₄ | Calculado en base: https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx |

| | | | |
|--|--------|---------------|---|
| Producción de energía del CH4 en 1 día | 2035 | MJ de energía | |
| Equivalencia en kilowatts | 570.9 | kW.h | |
| 12 litros de diesel consumidos en 1 día equivalen a: | 459.26 | MJ de energía | Calculado en base: https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx |

Anexo 7. Costos del biodigestor

| | |
|-------------------------------|----------------|
| Concreto | \$1,000 |
| Motor a biogás Launtop | \$3,500 |
| Mano de obra | \$800 |
| Sistema purificador de biogas | \$1,000 |
| 3 bombas de presión | \$800 |
| Sedimentador | \$200 |
| Total | \$7,300 |

Anexo 8. Tina enfriamiento de leche y yogurt



Anexo 9. Refrigerante de la tina de enfriamiento



**Anexo 10. Caldero HS Blue Angel Plus Oil Powered Burner utilizado
en la industria de estudio**



Anexo 11. Reservorio de agua del caldero



Anexo 12. Tina de almacenamiento de yogurt



Anexo 13. Equipo envasador de yogurt



Anexo 14. Empacadora de quesos



Anexo 15. Equipo donde se prepara el manjar



Anexo 16. Mesa donde se envasa el manjar



Anexo 17. Elaboración de queso fresco



Anexo 18. Proceso de pasteurización de leche



Anexo 19. Procesamiento de manjar de leche.



Anexo 20. Moldeo de queso fresco



Anexo 21. Preparación de queso fresco



Anexo 22. Moldeo de queso mozzarella



Anexo 23. Caracterización de los procesos que se desarrollan en la industria láctea de estudio

| Caracterización de los procesos que se desarrollan en la industria láctea de estudio. | |
|--|--|
| Recepción de la leche | La leche que recibe el establecimiento proviene de ganaderos del sector que se dedican a la crianza de ganado vacuno en menor escala. El promedio diario de leche que la industria utiliza es de 2. 230 litros y se producen 1.77 metros cúbicos de suero de leche. |
| Análisis de calidad. | Se realizan pruebas organolépticas y también se determina la acidez en un intervalo de 16 a 18 °D. |
| Filtración | Se realiza mediante una malla de acero inoxidable para eliminar las impurezas que provienen en la leche. |
| Pasteurización. | Para este proceso se prende el caldero a base de diésel, para que la materia prima mantenga una temperatura media de 65 °C durante 30 minutos. El caldero consume un promedio de 12 litros diarios de diésel, con un costo de 15 dólares diarios. |
| Enfriamiento. | Este proceso se lo realiza en una tina de enfriamiento que funciona con energía eléctrica y se utilizan 3. 000 litros de agua diariamente. La materia prima debe mantener una temperatura de 36 a 38 °C durante 10 minutos. Después de este procedimiento de calidad, la leche se utiliza para producir diferentes subproductos: Queso fresco, queso mozzarella, requesón, manjar y yogurt. |
| Procesamiento de queso fresco Para este producto se utilizan 1000 litros diarios de leche. | Adición de Cloruro de Calcio Se agrega cloruro de calcio para estabilizar la leche y formar coágulos con el cuajo. Se utilizan 200 g diarios y se adiciona 10 minutos antes del cuajo. |
| | Coagulación Se agregan 25 g de cuajo enzimático a una temperatura de 36 °C, se realizan cortes para que cuaje mejor y se escurre el lactosuero formado. |
| | Lavado y Desuerado Se lava la cuajada con agua a 45 °C para eliminar residuos de suero. En este proceso se consumen 500 litros de agua. Diariamente se producen 900 litros de suero en el procesamiento de queso fresco. |
| | Salado En esta etapa se adicionan 4 Kg de sal y se homogeniza con la cuajada seca. Adicionalmente se agrega la salmuera para mejorar el sabor del queso y conservarlo. |

| | | |
|---|-------------------------------------|---|
| | Moldeado | Se coloca el queso obtenido en moldes de acero inoxidable, se genera una ligera presión para una mejor compactación y eliminar el exceso de suero. Se voltean los moldes tres veces en un lapso de 15 minutos durante tres horas. |
| | Empaque | Se coloca el queso en fundas con el logotipo de la empresa y se las prensa al vacío. |
| | Almacenamiento | El queso empaquetado es llevado a un cuarto frío que se mantiene a una temperatura promedio de 4° ± 2° C. La comercialización también se realiza en camiones que poseen sistemas de enfriamiento para la conservación del producto. |
| Procesamiento de queso mozzarella Para este producto se utilizan 800 litros diarios de leche. | Adición de Cloruro de Calcio | Se agrega cloruro de calcio para estabilizar la leche y formar coágulos con el cuajo. Se utilizan 160 g diarios y se adiciona 10 minutos antes del cuajo. |
| | Coagulación | Se agregan 20 g de cuajo enzimático a una temperatura de 36 °C, se realizan cortes para que cuaje mejor y se escurre el lactosuero formado. |
| | Lavado y Desuerado | Se lava la cuajada con agua a 45 °C para eliminar residuos de suero. En este proceso se consumen 400 litros de agua. Diariamente se producen 720 litros de suero en el procesamiento de queso mozzarella. |
| | Masajeado o hilado | En una mezcladora de queso se sumerge el cuajado obtenido en agua a una temperatura de 85 °C y se mezcla hasta conseguir la textura del queso mozzarella tradicional. En este proceso se consumen 300 litros de agua. |
| | Moldeado | Se coloca el queso obtenido en moldes de acero |

| | | |
|---|------------------------------|---|
| | | inoxidable, se genera una ligera presión para una mejor compactación y eliminar el exceso de suero. Se voltean los moldes tres veces en un lapso de 15 minutos durante tres horas. |
| | Inmersión en salmuera | En esta etapa se sumerge el queso en salmuera y se deja reposar durante dos días. |
| | Maduración | Se retiran los quesos de la salmuera y se los deja madurar en un cuarto a una temperatura media de 16 °C. |
| | Empaque | Se coloca el queso en fundas con el logotipo de la empresa y se las prensa al vacío |
| | Almacenamiento | El queso mozzarella empaquetado es llevado a un cuarto frío que se mantiene a una temperatura promedio de 4° ± 2° C. La comercialización también se realiza en camiones que poseen sistemas de enfriamiento para la conservación del producto. |
| Procesamiento de yogurt Para este producto se utilizan 250 litros diarios de leche. | Inoculación | Se realiza un cultivo liofilizado en la leche pasteurizada. Este cultivo consta de las especies bacterianas <i>Lactobacillus bulgaricus</i> y <i>Streptococcus thermophilus</i> en proporción del 2 al 3% y se agita durante 3 minutos. |
| | Incubación | Se incuba el lote inoculado a una temperatura de 42 °C durante 3 a 4 horas hasta obtener un pH de 4.5. |
| | Enfriamiento | Se realiza en una tina de enfriamiento que funciona con electricidad. En esta etapa se detiene el proceso de fermentación al disminuir rápidamente la temperatura a 10 °C. Se lo mantiene en la tina de enfriamiento por un día. En este proceso se |

| | | |
|---|---|---|
| | | consumen 3. 000 litros de agua. |
| | Rotura de coágulo, edulcorado y saborizado | Se agrega 7.5 kilogramos de fruta en almíbar, saborizante, colorante y conservante y se agita para romper el coágulo formado para homogeneizar el producto. |
| | Envasado | Se coloca el yogurt en envases de polipropileno PP de código 5, sellados con el logotipo de la empresa en diferentes presentaciones. |
| | Almacenamiento | El yogurt envasado es llevado a un cuarto frío que se mantiene a una temperatura promedio de $4^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$. La comercialización también se realiza en camiones que poseen sistemas de enfriamiento para la conservación del producto. |
| Procesamiento de manjar Para este producto se utilizan 80 litros semanales de leche. | Mezcla de ingredientes | Se mezclan 80 litros de leche pasteurizada con 20 Kg de azúcar y 250 gramos de bicarbonato de sodio y se hierve en un mezclador de leche de acero durante 3 horas. |
| | Envasado | Se coloca el manjar en envases de polipropileno PP de código 5, sellados con el logotipo de la empresa en diferentes presentaciones |
| | Almacenamiento | El manjar es llevado a un cuarto frío que se mantiene a una temperatura promedio de $4^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$. La comercialización también se realiza en camiones que poseen sistemas de enfriamiento para la conservación del producto. |
| Procesamiento de requesón En este proceso se utilizan un promedio de 654.32 litros diarios de suero y | Mezcla de ingredientes | Se hierve el suero hasta alcanzar una temperatura de 90°C . Después se agrega la leche y 13 litros de vinagre que formarán la cuajada del requesón y se deja reposar media hora. |

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| 163.58 litros diarios de leche. | Lavado y Desuerado | Se lava la cuajada con agua a 45 °C para eliminar residuos de suero y se pasa por un colador de tela bajo presión. En este proceso se consumen 500 litros de agua y se produce un promedio de 790 litros de suero en el procesamiento de requesón. |
| | Moldeado | Se coloca el requesón en moldes de acero inoxidable, se genera una ligera presión para una mejor compactación y eliminar el exceso de suero. Se voltean los moldes tres veces en un lapso de 15 minutos durante tres horas. |
| | Empaque | Se coloca el queso en fundas con el logotipo de la empresa y se las prensa al vacío. |
| | Almacenamiento | El requesón empaquetado es llevado a un cuarto frío que se mantiene a una temperatura promedio de 4° ± 2° C. La comercialización también se realiza en camiones que poseen sistemas de enfriamiento para la conservación del producto. |
| Limpieza | La limpieza se realiza terminado el proceso de producción. El personal desinfecta la planta de procesamiento con detergente, cloro y desinfectante. La cantidad de agua que se ocupa diariamente en la planta es de aproximadamente 22 mil litros, de los cuales se ocupa un promedio de 4. 700 litros diarios en la producción de quesos, 2. 000 litros diarios en el caldero, 3. 000 litros en la tina de enfriamiento de yogurt, 3. 000 litros en la tina de enfriamiento para el proceso de pasteurización y 6. 300 litros diarios en la limpieza de la planta de procesamientos y en el uso interno de la empresa (baños, cocina, oficina, etc.). | |

Anexo 24. Cálculo de energía consumida por el uso de combustibles fósiles

Actualmente, la industria láctea de estudio consume combustibles fósiles para el transporte de la leche y en el uso del caldero. Diariamente se consumen 4 litros de diésel para el transporte y 12 litros de diésel en el caldero.

Las ecuaciones 6, 7 y 8 determinan el total de energía consumida diariamente en el transporte.

$$\text{Energía en transporte} = L \text{ diesel} \times 10.96 \frac{\text{KW.h}}{\text{L diesel}} \times 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KW.h}} \quad (6)$$

$$\text{Energía en transporte} = 4 \text{ L diesel} \times 10.96 \frac{\text{KW.h}}{\text{L diesel}} \times 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KW.h}} \quad (7)$$

$$\text{Energía en transporte} = 157824 \text{ KJ} \quad (8)$$

Las ecuaciones 9, 10 y 11 determinan el total de energía producida por el combustible del caldero diariamente.

$$\text{Energía en caldero} = L \text{ diesel} \times 10 \frac{\text{KW.h}}{\text{L diesel}} \times 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KW.h}} \quad (9)$$

$$\text{Energía en caldero} = 12 \text{ L diesel} \times 10 \frac{\text{KW.h}}{\text{L diesel}} \times 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KW.h}} \quad (10)$$

$$\text{Energía en caldero} = 473472 \text{ KJ} \quad (11)$$

Anexo 25. Cálculo de energía consumida por equipos electrónicos

Las ecuaciones 12, 13 y 14 determinan el total de energía eléctrica consumida por la máquina empaquetadora de quesos diariamente:

$$\text{Energía en empaquetadora} = KW \times h \times 3600 \frac{KJ}{KW.h} \quad (12)$$

$$\text{Energía en empaquetadora} = 0.75 KW \times 2.5h \times 3600 \frac{KJ}{KW.h} \quad (13)$$

$$\text{Energía en empaquetadora} = 6750 KJ \quad (14)$$

Las ecuaciones 15, 16 y 17 determinan el total de energía eléctrica consumida por el cuarto frío diariamente:

$$\text{Cuarto frío} = \text{vatios} \times \frac{1 Kw}{1000 \text{ vatios}} \times h \times 3600 \frac{KJ}{KW.h} \quad (15)$$

$$\text{Cuarto frío} = 900 \text{ vatios} \times \frac{1 Kw}{1000 \text{ vatios}} \times 24h \times 3600 \frac{KJ}{KW.h} \quad (16)$$

$$\text{Energía en cuarto frío} = 77760 KJ \quad (17)$$

Las ecuaciones 18, 19 y 20 determinan el total de energía eléctrica consumida por la tina de enfriamiento en la pasteurización de la leche diariamente:

$$\text{Energía en t. e.} = \text{vatios} \times \frac{1 Kw}{1000 \text{ vatios}} \times h \times 3600 \frac{KJ}{KW.h} \quad (18)$$

$$\text{Energía t. e.} = 1220 \text{ vatios} \times \frac{1 Kw}{1000 \text{ vatios}} \times 8h \times 3600 \frac{KJ}{KW.h} \quad (19)$$

$$\text{Energía en tina de enfriamiento de pasteurización} = 35136 KJ \quad (20)$$

Las ecuaciones 21, 22 y 23 determinan el total de energía eléctrica consumida por la incubadora del yogurt diariamente:

$$\text{Energía en incubadora} = KW \times h \times 3600 \frac{KJ}{KW.h} \quad (21)$$

$$\text{Energía en incubadora} = 0.16KW \times 24h \times 3600 \frac{KJ}{KW.h} \quad (22)$$

$$\text{Energía en incubadora} = 13824 KJ \quad (23)$$

Las ecuaciones 24, 25 y 26 determinan el total de energía eléctrica consumida diariamente por los implementos de oficina, tales como focos, 2 computadores, refrigerador, microondas, un televisor y un radio.

$$\text{Energía en oficina} = KW \times h \times 3600 \frac{KJ}{KW.h} \quad (24)$$

$$\text{Energía en oficina} = 0.25 KW \times 8h \times 3600 \frac{KJ}{KW.h} \quad (25)$$

$$\text{Energía en oficina} = 7200 KJ \quad (26)$$