Revista esprint Investigación

https://rei.esprint.tech
Vol. 5 N° 2, julio-diciembre 2026 (657-678)

ISSN: 2960-8317

Artículo de investigación

Implementación de ingeniería de métodos y manufactura sustentable en una planta láctea de la región Amazonas

Implementation of engineering methods and sustainable manufacturing at a dairy plant in the Amazonas region

Juan Francisco Montes Camus*
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Lima - Perú
juanfrancisco.montes@unmsm.edu.pe
https://orcid.org/0009-0008-8338-3823

Rosa Karol Moore Torres
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Lima - Perú
kmooret@unmsm.edu.pe
https://orcid.org/0000-0002-7608-9377

Oscar Rafael Tinoco Gomez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Lima - Perú
otinocog@unmsm.edu.pe
https://orcid.org/0000-0002-7927-931X

Julio Alejandro Salas Bacalla
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Lima - Perú
jsalasb@unmsm.edu.pe
https://orcid.org/0000-0003-2839-8383

***Correspondencia:**
juanfrancisco.montes@unmsm.edu.pe

Cómo citar este artículo:
Montes, J., Moore, R., Tinoco, O., & Salas, J. (2026). Implementación de ingeniería de métodos y manufactura sustentable en una planta láctea de la región Amazonas. *Esprint Investigación, 5*(2), 657-678. https://doi.org/10.61347/ei.v5i2.419

Recibido: *22 de septiembre de 2026*
Aceptado: *10 de noviembre de 2026*
Publicado: *13 de noviembre de 2026*

Copyright: Derechos de autor 2026 Juan Francisco Montes Camus, Rosa Karol Moore Torres, Oscar Rafael Tinoco Gomez, Julio Alejandro Salas Bacalla.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Resumen: El objetivo de la investigación fue evaluar los cambios en la productividad, el consumo energético y el nivel de desperdicio de una empresa del sector lácteo en la región Amazonas, Perú, tras la implementación conjunta de la ingeniería de métodos y la manufactura sustentable. Se desarrolló un estudio cuantitativo, de alcance descriptivo-comparativo y diseño preexperimental de un solo grupo, con mediciones pretest y postest realizadas durante dos períodos de 24 jornadas cada uno, que conformaron 24 pares de observaciones. Las intervenciones comprendieron la estandarización de procedimientos operativos, la optimización de tiempos de producción, la sustitución de luminarias convencionales por tecnología LED, el mantenimiento preventivo de equipos y el aprovechamiento de subproductos bajo principios de economía circular. La normalidad de las diferencias entre las observaciones emparejadas se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y, según los resultados, se aplicaron las pruebas *t* de Student o Wilcoxon para muestras relacionadas. La productividad global aumentó un 13,4 %, mientras que el consumo energético disminuyó un 42,1 %. Asimismo, se registraron reducciones del 32,65 % en productos defectuosos y del 17,3 % en envases defectuosos. Se concluyó que la integración de ambas estrategias se asoció con mejoras operativas y ambientales sin requerir la adquisición de nueva maquinaria ni la contratación de personal adicional. No obstante, la ausencia de un grupo de control limitó la atribución causal de los cambios observados.

Palabras clave: Consumo energético, envases defectuosos, ingeniería de métodos, manufactura sustentable, productos defectuosos.

Abstract: *The objective of this study was to evaluate changes in productivity, energy consumption, and waste levels in a dairy company located in the Amazonas region of Peru following the combined implementation of methods engineering and sustainable manufacturing. A quantitative study with a descriptive-comparative scope and a single-group pre-experimental design was conducted, using pretest and posttest measurements collected over two periods of 24 working days each, yielding 24 paired observations. The interventions included the standardization of operating procedures, optimization of production times, replacement of conventional lighting with LED technology, preventive equipment maintenance, and by-product utilization based on circular economy principles. The normality of paired differences was assessed using the Shapiro–Wilk test, and either the paired Student's t-test or Wilcoxon signed-rank test was applied, as appropriate. Overall productivity increased by 13.4%, while energy consumption decreased by 42.1%. Additionally, defective products and defective packaging decreased by 32.65% and 17.3%, respectively. It was concluded that integrating both strategies was associated with operational and environmental improvements without requiring the acquisition of new machinery or the recruitment of additional personnel. However, the absence of a control group limited the ability to establish a causal relationship between the interventions and the observed changes.*

Keywords*: Defective packaging, defective products, energy consumption, methods engineering, sustainable manufacturing.*

1. Introducción

Las micro y pequeñas empresas (Mypes) del sector agroindustrial de la región Amazonas, Perú, enfrentan desafíos relacionados con la productividad, la eficiencia operativa y el aprovechamiento sostenible de los recursos. En la industria láctea, estas dificultades adquieren particular relevancia debido a las exigencias de calidad, las condiciones de procesamiento y la necesidad de reducir las pérdidas durante la producción (Gonzales-Malca & Abanto-López, 2021). Asimismo, la calidad fisicoquímica y microbiológica del queso fresco constituye un aspecto fundamental para garantizar la inocuidad y las características del producto final (Calampa et al., 2018). En este contexto, la optimización de los procesos productivos representa una oportunidad para fortalecer la competitividad empresarial y promover prácticas ambientalmente responsables.

La ingeniería de métodos constituye una herramienta de mejora continua orientada al análisis sistemático de las operaciones, la eliminación de actividades innecesarias y la estandarización de los procedimientos de trabajo. Sus fundamentos se relacionan con los principios de la administración científica, que promueven el estudio de las actividades productivas para incrementar la eficiencia mediante métodos organizados (Taylor, 1911). Su aplicación permite identificar operaciones improductivas, establecer tiempos estándar y optimizar la utilización de los recursos humanos y materiales disponibles (Andrade et al., 2019; Franco-López et al., 2021). En consecuencia, representa una alternativa técnica para mejorar el desempeño de las pequeñas empresas manufactureras mediante intervenciones ajustadas a sus características operativas.

Diversas investigaciones han evidenciado la utilidad de los estudios de tiempos y movimientos para mejorar la organización de los procesos productivos en diferentes sectores industriales. Alfaro y Moore (2020) analizaron el proceso de batido en una planta de producción de helados y utilizaron la medición de tiempos como fundamento para formular estrategias orientadas al incremento de la eficiencia. De manera similar, Andrade et al. (2019) estudiaron las operaciones de una empresa de calzado, mientras que Bayas (2021) e Ilbay (2023) abordaron oportunidades de mejora en empresas textiles ecuatorianas. Estos antecedentes destacan la aplicabilidad de la ingeniería de métodos para identificar restricciones operativas y fundamentar decisiones relacionadas con la productividad.

En la industria láctea también se han desarrollado investigaciones orientadas a mejorar el desempeño de las operaciones mediante el estudio del trabajo. Cadena (2018) analizó una línea de producción de queso cheddar y reportó una reducción de 45 a 38 actividades, así como una disminución del tiempo de ciclo de 5,19 a 4,42 horas. Por su parte, Carrillo (2017) propuso mejoras para una planta procesadora de lácteos mediante la medición del trabajo, el estudio de métodos y la validación de alternativas con el programa de simulación SIMUL8. En conjunto, estos estudios proporcionan antecedentes para analizar las posibilidades de reorganización de las operaciones y reducción de tiempos improductivos en establecimientos dedicados a la elaboración de derivados lácteos.

De manera complementaria, la manufactura sostenible comprende estrategias orientadas a mejorar el desempeño ambiental de los procesos industriales mediante el uso eficiente de materiales, energía y otros recursos productivos. Este enfoque busca integrar objetivos económicos y ambientales mediante prácticas que contribuyan a reducir las pérdidas y los efectos asociados a las actividades manufactureras (Garetti & Taisch, 2012; Aguado, 2015). Asimismo, Sajadieh et al. (2022) destacan la importancia de incorporar criterios de sostenibilidad en la conceptualización y desarrollo de sistemas manufactureros. Desde esta perspectiva, la eficiencia de los procesos no depende exclusivamente del tiempo de producción, sino también de la utilización responsable de los recursos y la gestión de los residuos generados.

En el procesamiento de productos lácteos, la demanda energética de operaciones como la pasteurización y la refrigeración, junto con la generación de subproductos y residuos de envases, plantea desafíos para la sostenibilidad empresarial. La acumulación de residuos plásticos constituye una problemática ambiental ampliamente documentada debido a su persistencia y a las limitaciones de su recuperación y disposición final (Geyer et al., 2017). A su vez, las estrategias de eficiencia energética permiten identificar oportunidades de mejora relacionadas con el funcionamiento de los equipos y la utilización de electricidad en las actividades industriales (Gutiérrez et al., 2019). Por consiguiente, la reducción de materiales descartados, el aprovechamiento de subproductos y la optimización del consumo energético representan líneas de actuación pertinentes para las pequeñas empresas lácteas.

La complementariedad entre la ingeniería de métodos y la manufactura sostenible permite abordar el desempeño productivo desde una perspectiva operativa y ambiental. Mientras la primera se concentra en la organización de las actividades, la medición del trabajo y la reducción de operaciones improductivas, la segunda incorpora criterios vinculados con el consumo de recursos y la generación de residuos. Esta articulación resulta pertinente para las Mypes, cuya competitividad puede verse condicionada por restricciones tecnológicas, organizativas y económicas (Mathews, 2009; Sangabriel et al., 2019). En consecuencia, su aplicación conjunta ofrece un marco de intervención para evaluar modificaciones en la productividad, el consumo energético y el nivel de desperdicio de los procesos manufactureros.

La unidad de análisis corresponde a una pequeña planta de producción artesanal de queso fresco, ubicada en la región Amazonas, Perú, cuyas actividades se desarrollaban de lunes a sábado. El diagnóstico inicial identificó procedimientos tradicionales, ausencia de tiempos estándar y dificultades en la coordinación de las operaciones, condiciones que ocasionaban tiempos de espera y variaciones en el proceso productivo. Asimismo, se observaron controles limitados, productos descartados por defectos durante determinadas etapas de elaboración y pérdidas de materiales de envasado. A estas condiciones se sumaban el consumo eléctrico de los equipos utilizados y la eliminación del suero lácteo mediante el sistema de desagüe, lo que evidenciaba oportunidades de mejora operativa y ambiental.

Las dificultades identificadas en la planta se relacionaban con tres dimensiones de desempeño: productividad, consumo energético y nivel de desperdicio. La ausencia de procedimientos estandarizados y los tiempos improductivos podían comprometer el aprovechamiento de la jornada laboral, mientras que la utilización de equipos eléctricos constituía un componente relevante del consumo energético. Por otra parte, los productos defectuosos, los materiales de envasado descartados y el suero lácteo no aprovechado representaban distintas fuentes de pérdida de recursos. Estas condiciones justificaron el análisis de estrategias integradas que permitieran reorganizar las operaciones y evaluar sus resultados mediante indicadores productivos y ambientales.

Aunque existen antecedentes sobre la aplicación de estudios de tiempos y métodos de trabajo, así como investigaciones relacionadas con la sostenibilidad manufacturera, resulta pertinente examinar ambas estrategias de manera integrada en contextos específicos de producción láctea artesanal. La evaluación conjunta permite considerar las variaciones operativas y ambientales dentro de un mismo proceso, evitando analizar de forma aislada las dimensiones de desempeño empresarial. Su importancia radica en aportar evidencia cuantitativa que pueda orientar decisiones de mejora adaptadas a las condiciones de pequeñas unidades productivas, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 8 y 12. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar los cambios observados en la productividad, el consumo energético y el nivel de desperdicio tras la implementación conjunta de la ingeniería de métodos y la manufactura sostenible en una planta productora de queso fresco de la región Amazonas, Perú.

2. Desarrollo

Fundamentos teóricos de la ingeniería de métodos y la manufactura sostenible

La presente investigación se fundamentó en la integración de dos enfoques de la ingeniería industrial: la ingeniería de métodos y la manufactura sostenible, orientados a mejorar el desempeño de los procesos productivos. La ingeniería de métodos se centra en el análisis sistemático del trabajo, la eliminación de actividades innecesarias y la estandarización de procedimientos para optimizar los recursos disponibles (Taylor, 1911; Andrade et al., 2019). Por su parte, la manufactura sostenible incorpora criterios económicos y ambientales mediante estrategias destinadas a reducir el consumo energético, las pérdidas de materiales y la generación de residuos (Garetti & Taisch, 2012; Sajadieh et al., 2022). La articulación de ambos enfoques proporcionó el fundamento conceptual para evaluar las variaciones en la productividad, el consumo energético y el nivel de desperdicio de una planta productora de queso fresco (figura 1).

Figura 1

Modelo de integración de la ingeniería de métodos y la manufactura sustentable para la mejora de la eficiencia operativa y ambiental



Ingeniería de métodos: evolución y estandarización

La ingeniería de métodos tiene sus antecedentes en los principios de la administración científica desarrollados por Taylor (1911), quien planteó la necesidad de analizar sistemáticamente las actividades laborales para mejorar su organización y eficiencia. Posteriormente, los estudios de movimientos ampliaron este enfoque mediante la identificación de operaciones innecesarias y la reorganización de las estaciones de trabajo. En el ámbito industrial, la estandarización permite establecer procedimientos uniformes, reducir la variabilidad operativa y aprovechar de manera más eficiente los recursos disponibles (Andrade et al., 2019; Franco-López et al., 2021). Estas características fundamentaron la selección de la ingeniería de métodos como estrategia para intervenir en las operaciones productivas de la planta estudiada.

Diversas investigaciones han examinado la aplicación de la ingeniería de métodos como herramienta para mejorar la productividad en empresas manufactureras. Vásquez (2019) y Ganoza (2018) abordaron su utilización en procesos industriales, mientras que Alfaro y Moore (2020) analizaron los tiempos de operación en una planta de producción de helados para formular estrategias de mejora. En la industria láctea, Cadena (2018) estudió la reorganización de actividades en una línea de producción de queso cheddar y reportó reducciones en el número de operaciones y el tiempo de ciclo. Estos antecedentes permitieron sustentar el análisis de tiempos, movimientos y procedimientos como componentes de la intervención desarrollada en la unidad productiva.

Manufactura sostenible, eficiencia energética y economía circular

La manufactura sostenible constituye un enfoque de gestión industrial que integra el aprovechamiento eficiente de los recursos con la reducción de los impactos ambientales asociados a los procesos productivos. Garetti y Taisch (2012) identificaron tendencias y desafíos relacionados con la sostenibilidad manufacturera, mientras que Sajadieh et al. (2022) analizaron alternativas conceptuales para su desarrollo en entornos industriales inteligentes. De manera complementaria, Aguado (2015) abordó la mejora de sistemas productivos mediante procesos de innovación ambiental orientados a la eficiencia y la sostenibilidad. Estas contribuciones proporcionaron fundamentos para incorporar medidas de reducción del consumo energético y aprovechamiento de materiales en la planta estudiada.

En la industria láctea, la sostenibilidad adquiere relevancia debido a la utilización de energía eléctrica, materiales de envasado y recursos hídricos durante las distintas operaciones de procesamiento. La generación de residuos plásticos representa un desafío ambiental por su persistencia y acumulación en los sistemas de disposición final (Geyer et al., 2017). Asimismo, las medidas de eficiencia energética permiten identificar oportunidades de optimización del funcionamiento de equipos e instalaciones industriales (Gutiérrez et al., 2019). Bajo estos fundamentos, la investigación contempló acciones relacionadas con el consumo eléctrico, la reducción de envases descartados y el aprovechamiento del suero lácteo generado durante la elaboración de queso fresco.

Operacionalización de las variables dependientes

En la investigación se consideraron tres variables dependientes: productividad de la mano de obra, consumo energético y nivel de desperdicio, las cuales se evaluaron de manera independiente. Para su análisis se utilizaron registros correspondientes a los periodos anteriores y posteriores a la implementación de las estrategias de mejora, denominados pretest y postest. La productividad se expresó mediante la relación entre unidades producidas y horas de trabajo, mientras que el consumo energético se cuantificó en kilovatios-hora (kWh). Por su parte, el nivel de desperdicio se examinó mediante indicadores relacionados con productos defectuosos, materiales de envasado descartados y volumen de suero lácteo.

Productividad de la mano de obra

La productividad de la mano de obra se definió como la relación entre la cantidad de unidades aptas producidas y el tiempo de trabajo utilizado durante el proceso productivo. Para su medición se consideró la producción obtenida y el número de horas-hombre registradas durante las jornadas evaluadas. Este indicador permitió comparar el aprovechamiento del recurso humano entre los periodos de observación y examinar las variaciones asociadas a la reorganización de las operaciones.

Su cálculo se realizó mediante la siguiente expresión:

$$PMO = \frac{\text{Unidades aptas producidas}}{\text{Horas-hombre trabajadas}}$$

Consumo energético

El consumo energético se definió como la cantidad de electricidad utilizada por los equipos e instalaciones durante el desarrollo de las actividades productivas. Su medición se efectuó mediante registros expresados en kilovatios-hora (kWh), correspondientes a los periodos evaluados antes y después de la intervención. Para analizar las variaciones se compararon los consumos registrados en ambos momentos, considerando las diferencias en las condiciones de operación y el volumen de producción. La variación porcentual del consumo energético se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\Delta CE(\%) = \frac{CE_{postest} - CE_{pretest}}{CE_{pretest}} \times 100$$

Nivel de desperdicio

El nivel de desperdicio se examinó a partir de tres componentes relacionados con las pérdidas materiales generadas durante la elaboración y el envasado del queso fresco. El primero correspondió a las unidades producidas que no cumplieron los criterios de calidad establecidos, mientras que el segundo comprendió los envases descartados por defectos o daños. El tercer componente estuvo relacionado con el volumen de suero lácteo generado y su destino durante las operaciones de procesamiento. Estos indicadores se analizaron por separado debido a sus diferentes unidades de medida y características productivas.

Productos defectuosos

$$PD(\%) = \frac{\text{Unidades rechazadas}}{\text{Total de unidades producidas}} \times 100$$

Envases defectuosos

$$ED(\%) = \frac{\text{Envases defectuosos}}{\text{Total de envases utilizados}} \times 100$$

Suero lácteo vertido

$$[SV = SG - SA]$$

Donde:

- (SV): volumen de suero vertido (L).
- (SG): volumen de suero generado (L).
- (SA): volumen de suero aprovechado (L).

Mecanismos de relación entre las estrategias de intervención y las variables dependientes

La relación entre la ingeniería de métodos y la productividad se fundamentó en la posibilidad de reducir actividades innecesarias mediante la estandarización de procedimientos y la reorganización de las operaciones. Estas acciones se orientaron a disminuir los tiempos improductivos, mejorar la coordinación entre etapas y optimizar el aprovechamiento de las horas de trabajo. Los estudios previos sobre medición del trabajo respaldaron la pertinencia de examinar tales mecanismos en procesos manufactureros (Alfaro & Moore, 2020; Andrade et al., 2019). En consecuencia, la investigación evaluó las variaciones registradas en la productividad de la mano de obra después de implementar las mejoras operativas.

La relación entre la manufactura sostenible y el nivel de desperdicio se examinó considerando las pérdidas asociadas a productos defectuosos, envases descartados y suero lácteo no aprovechado. Las medidas de mejora comprendieron acciones orientadas al control de las operaciones de envasado y a la utilización de subproductos generados durante el procesamiento del queso fresco. Estas iniciativas se relacionaron con los principios de aprovechamiento eficiente de los recursos y reducción de residuos industriales (Aguado, 2015; Garetti & Taisch, 2012). Su evaluación permitió identificar las diferencias registradas en los indicadores de desperdicio entre los periodos anteriores y posteriores a la intervención.

La relación entre la manufactura sostenible y el consumo energético se sustentó en la necesidad de optimizar la utilización de electricidad durante las actividades productivas. Las medidas consideradas incluyeron la mejora de las condiciones de iluminación y la reorganización de operaciones que podían ocasionar un funcionamiento innecesario de los equipos. Estas acciones se fundamentaron en los principios de eficiencia energética aplicados a sistemas industriales, orientados a disminuir pérdidas y mejorar el aprovechamiento de los recursos disponibles (Gutiérrez et al., 2019). Para examinar sus resultados, se compararon los registros de consumo eléctrico correspondientes a los periodos evaluados.

La relación entre la estandarización de procedimientos y la calidad de los productos se examinó considerando las variaciones operativas durante las etapas de elaboración y envasado. La uniformidad de las actividades y el establecimiento de controles pueden contribuir a disminuir errores de manipulación y pérdidas de materiales durante el procesamiento. En este sentido, la ingeniería de métodos proporciona herramientas para organizar las operaciones y establecer condiciones de trabajo reproducibles (Taylor, 1911; Franco-López et al., 2021). La investigación consideró estos fundamentos para interpretar las variaciones observadas en los productos y envases defectuosos después de la implementación de las estrategias de mejora.

3. Metodología

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo-explicativo y diseño preexperimental de un solo grupo, mediante mediciones antes (pretest) y después (postest) de la intervención. Por razones de confidencialidad, se mantuvo en reserva el nombre de la empresa, conforme al acuerdo establecido con su propietario. La información recopilada comprendió datos internos relacionados con los niveles de producción, el consumo de energía eléctrica, los costos operativos y los procedimientos de elaboración. Esta medida de confidencialidad permitió proteger información comercial sensible sin impedir la descripción de las características operativas necesarias para comprender el estudio.

La investigación se desarrolló en una pequeña empresa dedicada a la elaboración artesanal de quesos frescos, ubicada en Pomacochas, distrito de Florida, provincia de Bongará, departamento de Amazonas, Perú. La organización contaba con 15 años de funcionamiento y procesaba aproximadamente 150 litros de leche fresca por jornada. Sus actividades productivas se realizaban de lunes a sábado, durante un único turno de trabajo. La unidad de análisis correspondió a las operaciones diarias de la planta, registradas durante dos períodos de 24 jornadas cada uno, correspondientes a las evaluaciones inicial y final.

El estudio comprendió dos períodos consecutivos de cuatro semanas, con 24 jornadas de observación en cada etapa. Para controlar parcialmente la variabilidad asociada al ciclo semanal de producción, se emparejó cada jornada del pretest con su equivalente del postest, considerando el mismo día de la semana y la posición correspondiente dentro del período evaluado. De esta manera, se conformaron 24 pares de observaciones para comparar los indicadores operativos y ambientales. Este procedimiento permitió mantener un criterio uniforme de comparación, aunque no eliminó la posible influencia de factores externos sobre los resultados.

La información se recopiló mediante observación directa, mediciones de tiempos con cronómetro y registros de consumo eléctrico expresados en kilovatios-hora (kWh). Asimismo, se cuantificaron los envases defectuosos y el volumen de suero de leche generado durante las jornadas de producción. Para el diagnóstico inicial se utilizaron diagramas de flujo y el diagrama de Ishikawa, que facilitaron la identificación de actividades improductivas y posibles causas de ineficiencia. Los datos obtenidos permitieron establecer las condiciones iniciales de funcionamiento y definir los indicadores utilizados posteriormente para evaluar las intervenciones.

El procesamiento estadístico se realizó mediante Microsoft Excel y SPSS. Inicialmente, se evaluó la normalidad de las diferencias entre las observaciones emparejadas mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Cuando las diferencias presentaron una distribución compatible con la normalidad, se aplicó la prueba *t* de Student para muestras relacionadas; en caso contrario, se utilizó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon. En todos los análisis se estableció un nivel de significancia de 0,05, con el propósito de identificar diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones iniciales y finales.

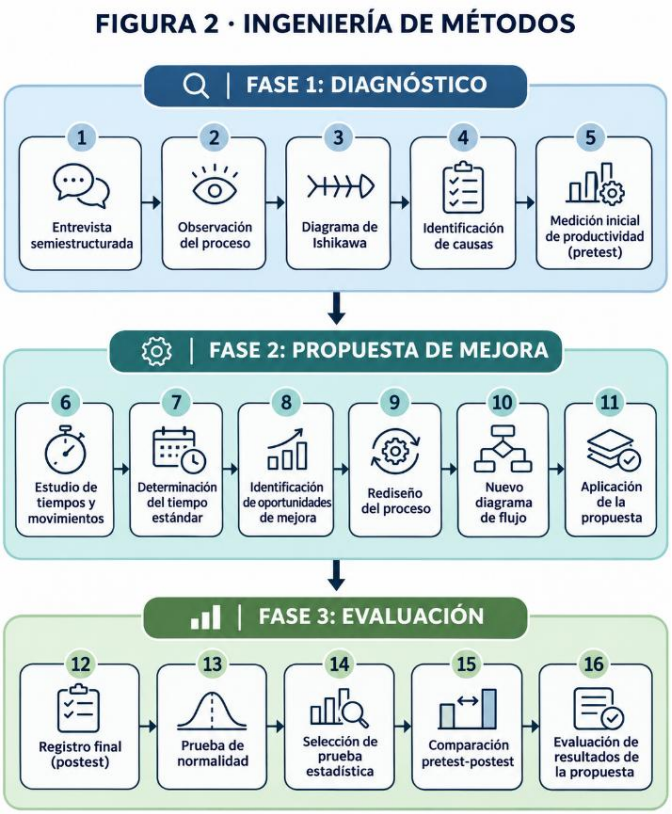
La intervención metodológica se estructuró mediante dos componentes complementarios: ingeniería de métodos y manufactura sustentable. El primero se orientó a mejorar la organización de las actividades productivas, reducir los tiempos improductivos y estandarizar las operaciones. El segundo abordó el consumo energético, la generación de residuos y el aprovechamiento de subproductos. Ambos componentes se organizaron en tres fases: diagnóstico, propuesta de mejora y evaluación, con la finalidad de mantener una secuencia metodológica coherente entre la identificación de problemas, las acciones de intervención y la medición de resultados.

Ingeniería de métodos

La aplicación de la ingeniería de métodos se orientó a la estandarización de las actividades desarrolladas en la línea de producción, mediante el análisis de tiempos, movimientos y secuencias operativas. Se consideraron la identificación de actividades que agregaban valor, la determinación de tiempos estándar y la reorganización del flujo productivo. Esta intervención buscó mejorar la productividad sin requerir inversiones adicionales en maquinaria ni modificaciones sustanciales en la distribución física de la planta. La estrategia respondió a las deficiencias metodológicas identificadas durante el diagnóstico inicial y se estructuró en tres fases, como se presenta en la figura 2.

Figura 2

Fases metodológicas de la aplicación de ingeniería de métodos en el proceso productivo



La primera fase correspondió al diagnóstico de las condiciones iniciales del proceso productivo. Se recopiló información sobre las actividades realizadas, las dificultades operativas, los tiempos improductivos y las condiciones de trabajo. Posteriormente, se efectuaron observaciones directas para contrastar las actividades ejecutadas con los procedimientos establecidos e identificar posibles restricciones en el desempeño. Esta evaluación permitió reconocer las principales deficiencias operativas y obtener información necesaria para desarrollar el análisis de causas y establecer la línea base de productividad.

Para identificar las causas asociadas con las deficiencias observadas, se elaboró un diagrama de Ishikawa, mediante el cual se organizaron y clasificaron los factores que afectaban el desempeño productivo. Posteriormente, se realizaron las mediciones iniciales correspondientes al pretest, con el propósito de cuantificar las condiciones de funcionamiento antes de la intervención. Los registros obtenidos incluyeron tiempos de ejecución y otros indicadores relacionados con la productividad. Esta información constituyó la referencia para el diseño de las mejoras y la posterior comparación de los resultados.

La segunda fase comprendió el diseño y la aplicación de la propuesta de mejora, a partir del análisis de las operaciones, los movimientos y los tiempos registrados. Se determinaron los tiempos estándar de las actividades, considerando los suplementos correspondientes a fatiga, necesidades personales y otras interrupciones justificadas. Asimismo, se identificaron oportunidades para eliminar, simplificar, combinar o reorganizar tareas que no agregaban valor al proceso. Con base en estos resultados, se diseñó una secuencia operativa mejorada, orientada a optimizar el aprovechamiento de los recursos y reducir los tiempos improductivos.

Posteriormente, se elaboró un nuevo diagrama de flujo que incorporó las modificaciones propuestas para la organización de las actividades productivas. El rediseño consideró la secuencia de operaciones, la distribución de tareas y la reducción de movimientos innecesarios durante la elaboración de quesos frescos. La propuesta se orientó a establecer procedimientos de trabajo más eficientes y uniformes, sin alterar las características esenciales del producto. Estas modificaciones constituyeron la base de la intervención evaluada mediante las mediciones posteriores.

La tercera fase correspondió a la evaluación de los resultados obtenidos después de la intervención. Se realizaron las mediciones finales del postest, utilizando los mismos indicadores y criterios empleados durante el diagnóstico inicial. Posteriormente, se evaluó la normalidad de las diferencias entre las observaciones emparejadas para seleccionar la prueba estadística correspondiente. Según los resultados de Shapiro-Wilk, se aplicó la prueba *t* de Student para muestras relacionadas o la prueba de Wilcoxon, con un nivel de significancia de 0,05.

Finalmente, se compararon los resultados del pretest y del postest para identificar las variaciones registradas en los indicadores de productividad. El análisis permitió establecer si las diferencias observadas alcanzaron significación estadística después de aplicar las modificaciones propuestas. Asimismo, se examinaron los cambios operativos relacionados con la reducción de tiempos improductivos y la reorganización de actividades. De esta manera, la evaluación proporcionó evidencia cuantitativa sobre el desempeño del proceso, considerando las limitaciones propias de un diseño preexperimental sin grupo de control.

Manufactura sustentable

La aplicación de la manufactura sustentable se orientó a abordar los problemas ambientales identificados durante el diagnóstico inicial, principalmente el consumo energético, la utilización de envases convencionales y la generación de subproductos. Para ello, se contemplaron cuatro medidas: sustitución de luminarias convencionales por tecnología LED, incorporación de envases biodegradables, mantenimiento preventivo de equipos y aprovechamiento comercial del suero de leche. Estas acciones buscaron mejorar el uso de los recursos y reducir los desperdicios asociados con la producción. El procedimiento se estructuró en tres fases: diagnóstico, propuesta de mejora y evaluación, conforme a la secuencia metodológica descrita para la figura 3.

La primera fase correspondió al diagnóstico ambiental del proceso productivo y tuvo como finalidad establecer las condiciones iniciales de consumo de recursos y generación de residuos. Se registró el consumo de energía eléctrica durante las jornadas de evaluación, expresado en kilovatios-hora (kWh). Asimismo, se cuantificó el volumen de suero de leche generado durante la elaboración de quesos frescos y se contabilizaron los envases que presentaron defectos. Estos registros permitieron establecer una línea base para comparar el comportamiento de los indicadores antes y después de las acciones de mejora.

La segunda fase comprendió la formulación y aplicación de acciones orientadas a mejorar la sostenibilidad del proceso productivo. La primera medida consistió en sustituir las luminarias convencionales por dispositivos de tecnología LED, con el propósito de reducir el consumo eléctrico asociado con la iluminación. Esta intervención consideró las necesidades de funcionamiento de la planta y las condiciones requeridas para el desarrollo de sus actividades. El consumo energético registrado antes y después de la sustitución se utilizó como indicador para evaluar los cambios observados.

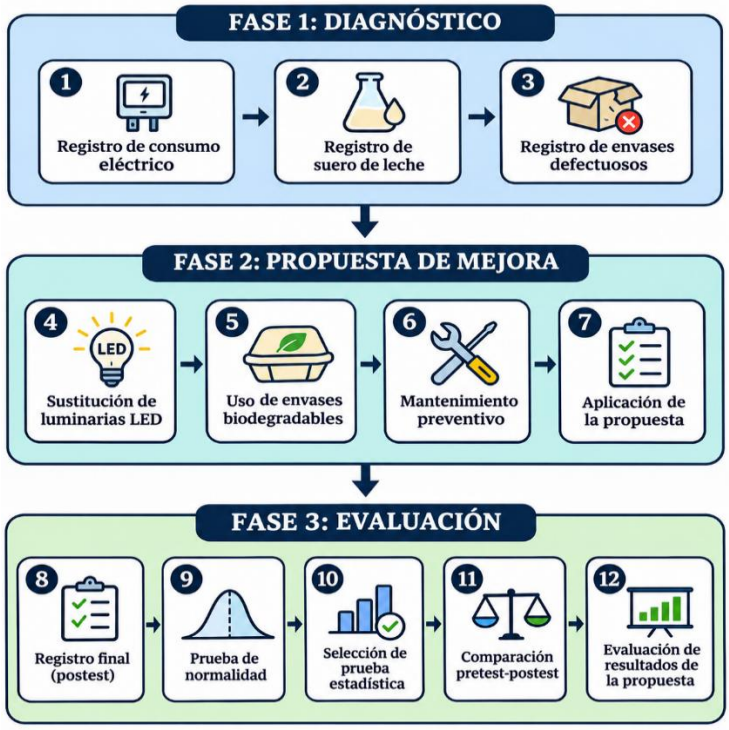
La segunda medida estuvo relacionada con la sustitución de envases convencionales de polipropileno por alternativas elaboradas con materiales biodegradables. Esta acción se orientó a disminuir la utilización de materiales plásticos derivados del petróleo y promover prácticas de

envasado ambientalmente más responsables. Durante la evaluación se consideró el comportamiento de los envases defectuosos, utilizando criterios de medición equivalentes entre ambos períodos. La comparación de los registros permitió identificar las variaciones relacionadas con el cambio de materiales empleados en el proceso de envasado.

La tercera medida comprendió el mantenimiento preventivo de los equipos utilizados en la producción, con el propósito de conservar sus condiciones de funcionamiento y prevenir consumos energéticos innecesarios. Se contempló una periodicidad anual de mantenimiento, sujeta a la planificación de la gerencia y a las necesidades operativas de la planta. Esta propuesta estuvo orientada a favorecer el funcionamiento eficiente de los equipos y reducir posibles pérdidas de energía. Su evaluación requirió distinguir entre las actividades efectivamente ejecutadas durante el estudio y aquellas previstas para períodos posteriores

Figura 3

Fases metodológicas de la aplicación de manufactura sustentable en el proceso productivo



La cuarta medida correspondió al aprovechamiento comercial del suero de leche generado durante la elaboración de quesos frescos. Se planteó su utilización como alimento para animales de corral, con la finalidad de reducir el volumen de subproductos destinados al descarte. Esta alternativa permitió considerar el suero como un recurso susceptible de aprovechamiento económico dentro de una actividad complementaria. La evaluación de esta medida se relacionó con los volúmenes generados, aprovechados y descartados, según la información disponible durante los períodos de observación.

La tercera fase correspondió a la evaluación de las condiciones operativas y ambientales después de la intervención. Se registraron nuevamente los indicadores considerados durante el diagnóstico inicial, procurando mantener condiciones comparables entre los períodos de medición. Los datos recopilados permitieron examinar las variaciones del consumo energético, la cantidad de envases defectuosos y el volumen de suero de leche aprovechado. Esta evaluación proporcionó información cuantitativa para identificar los cambios registrados después de las acciones de mejora relacionadas con la manufactura sustentable.

Posteriormente, se evaluó la normalidad de las diferencias entre las observaciones emparejadas mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Según el comportamiento de los datos, se aplicó la prueba *t* de Student para muestras relacionadas o la prueba de rangos con signo de Wilcoxon. Las comparaciones se efectuaron con un nivel de significancia de 0,05 para determinar si las diferencias registradas entre el pretest y el postest fueron estadísticamente significativas. Los resultados se interpretaron considerando las características de los indicadores evaluados y las limitaciones metodológicas del estudio.

Se analizaron los cambios registrados en los indicadores ambientales y operativos después de la intervención. La comparación entre las mediciones iniciales y finales permitió identificar variaciones en el consumo energético y en los residuos asociados con el proceso productivo. Asimismo, se examinó el aprovechamiento del suero de leche como alternativa para disminuir los subproductos descartados. Los resultados proporcionaron evidencia sobre el comportamiento de los indicadores evaluados, sin atribuir exclusivamente las variaciones a las intervenciones debido a la ausencia de un grupo de control.

4. Resultados

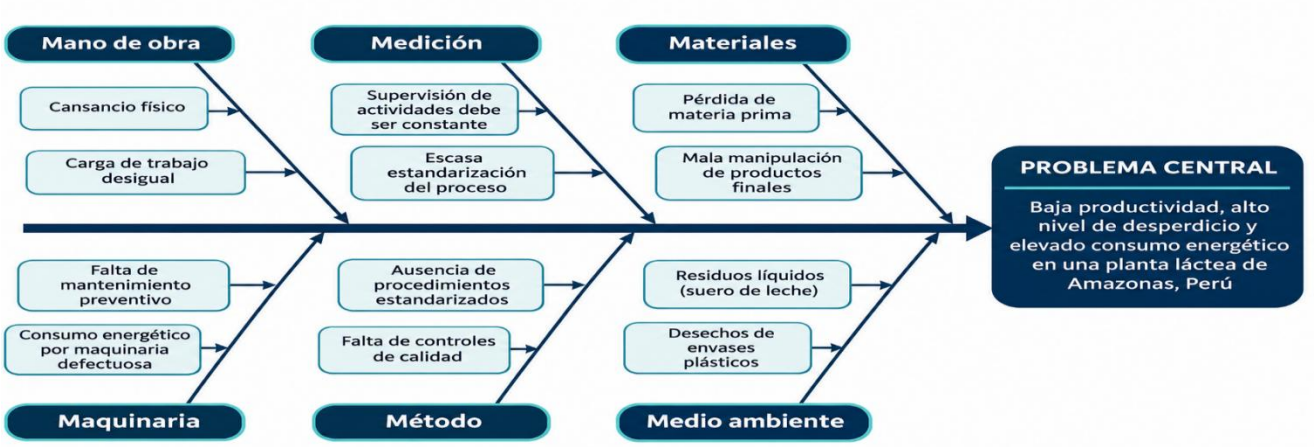
Diagnóstico situacional

El diagnóstico inicial permitió identificar deficiencias operativas y ambientales relacionadas con la ausencia de procedimientos estandarizados, controles de calidad insuficientes y limitaciones en el mantenimiento preventivo de los equipos. Asimismo, se observaron desequilibrios en la distribución de las actividades productivas y dificultades en la gestión de residuos y subproductos. Estas condiciones fueron consideradas posibles factores asociados con la baja productividad y el consumo ineficiente de recursos. A partir de los hallazgos, se establecieron dos líneas de intervención: ingeniería de métodos y manufactura sustentable.

El análisis de causa-efecto permitió organizar los principales problemas identificados durante el diagnóstico y reconocer sus posibles factores explicativos. Entre estos se consideraron las deficiencias en los métodos de trabajo, la organización de las operaciones, el mantenimiento de los equipos y el aprovechamiento de los recursos. La información obtenida sirvió de referencia para diseñar acciones orientadas a mejorar la eficiencia productiva y reducir los desperdicios. La figura 4 presenta las relaciones identificadas entre los problemas de productividad, consumo energético y generación de residuos.

Figura 4

Diagrama de causa-efecto de los problemas de productividad, desperdicio y consumo energético de la planta



La primera línea de intervención comprendió el rediseño y la estandarización del proceso productivo, mediante la reorganización de actividades y la incorporación de controles de calidad. Como resultado, el flujo de trabajo pasó de 18 a 20 actividades, debido a la incorporación de cuatro operaciones y la combinación de otras cuatro en dos actividades integradas. Paralelamente, se registró una reducción aproximada de 19 minutos en el tiempo promedio de ejecución por jornada. Estos resultados sugirieron una mejora en la organización del trabajo, aunque se requirió considerar la variabilidad de las condiciones operativas entre ambos períodos.

La tabla 1 presenta las modificaciones efectuadas en el flujo productivo antes y después de la intervención. Se identifican las actividades que permanecieron sin cambios, aquellas que fueron incorporadas y las operaciones combinadas para mejorar la secuencia de trabajo. Asimismo, se muestra la sustitución del material de envasado como parte de las acciones de manufactura sustentable. La comparación permitió reconocer los principales ajustes realizados en el proceso de elaboración de quesos frescos.

Tabla 1

Modificaciones del flujo productivo antes y después de la intervención

N.º	Pretest	Postest	Tipo de cambio
1	Recepción de leche fresca	Recepción de leche fresca	Sin cambio
2	—	Control de calidad en recepción	Añadida
3	Medición de leche (litros)	Medición de leche (litros)	Sin cambio
4	Filtrado de leche	Filtrado de leche	Sin cambio
5	Calentamiento de leche (pasteurización)	Calentamiento de leche (pasteurización)	Sin cambio
6	Medición de temperatura	Medición de temperatura y filtrado de leche	Combinada
7	Filtrado de leche	Integrada en la actividad 6	Combinada
8	Adición de cuajo	Adición de cuajo	Sin cambio
9	Medición de temperatura	Medición de temperatura	Sin cambio
10	Reposo de la mezcla	Reposo de la mezcla	Sin cambio
11	Corte de la cuajada	Corte de la cuajada	Sin cambio
12	—	Control de calidad después del corte	Añadida
13	Reposo de la cuajada	Reposo de la cuajada	Sin cambio
14	Desuerado de la cuajada	Desuerado de la cuajada	Sin cambio
15	Molido manual de la cuajada	Molido manual de la cuajada	Sin cambio
16	Salado de la cuajada	Salado y amasado de la cuajada	Combinada
17	Amasado de la cuajada salada	Integrada en la actividad 16	Combinada
18	Moldeado del queso	Moldeado del queso	Sin cambio
19	Madurado del queso	Madurado del queso	Sin cambio
20	—	Control de calidad después del madurado	Añadida
21	Envasado en bolsas de polipropileno	Envasado en material biodegradable	Modificada
22	—	Control de calidad final	Añadida
Total	18 actividades	20 actividades	4 añadidas y 2 reducidas por combinación

La segunda línea de intervención estuvo orientada a incorporar prácticas de manufactura sustentable mediante la sustitución de materiales de envasado y el aprovechamiento de subproductos. Se reemplazaron las bolsas de polipropileno por papel manteca y se modificó el destino del suero de leche generado durante la elaboración de quesos. Este último pasó de ser considerado un residuo a constituir

un subproducto susceptible de comercialización para alimentación animal. Las acciones estuvieron orientadas a disminuir los desperdicios y promover un aprovechamiento más eficiente de los recursos disponibles.

Productividad

La productividad global promedio aumentó de 13,30 unidades por hora durante el pretest a 15,08 unidades por hora en el postest, equivalente a un incremento del 13,4 %. Durante la evaluación inicial, los valores oscilaron entre 12,19 y 14,11 unidades por hora, mientras que posteriormente variaron entre 13,54 y 16,03 unidades por hora. Los registros mostraron una tendencia creciente durante las cuatro semanas de evaluación posteriores a la intervención. Este comportamiento fue compatible con una adaptación progresiva de las operaciones a los procedimientos estandarizados, aunque no permitió demostrar por sí solo dicho mecanismo.

El análisis estadístico reportó valores de Shapiro-Wilk de 0,955 (p = 0,340) para el pretest y 0,943 (p = 0,191) para el postest. Posteriormente, se aplicó la prueba *t* de Student para muestras relacionadas, que identificó una diferencia estadísticamente significativa entre ambas mediciones (t = −9,091; gl = 23; p < 0,001). El intervalo de confianza del 95 % para la diferencia pretest menos postest se situó entre −2,19156 y −1,37907 unidades por hora. Estos resultados evidenciaron un aumento de la productividad durante el período posterior a la intervención.

La tabla 2 presenta los resultados de la prueba *t* de Student para muestras emparejadas, considerando las 24 jornadas evaluadas en cada período. Se incluyen la diferencia media, la desviación estándar, el error estándar, el intervalo de confianza del 95 % y el nivel de significancia estadística. La diferencia media negativa respondió al orden de sustracción utilizado, correspondiente al pretest menos el postest. La prueba permitió identificar una variación estadísticamente significativa en la productividad global promedio.

Tabla 2

Prueba t de Student para muestras relacionadas de la productividad global

Comparación	Diferencia media	DE	Error estándar	IC 95 % inferior	IC 95 % superior	t	gl	p
Pretest – Postest (unidades/hora)	−1,78531	0,96207	0,19638	−2,19156	−1,37907	−9,091	23	< 0,001

Nota. DE: desviación estándar; IC: intervalo de confianza; gl: grados de libertad. La diferencia se calculó como pretest menos postest.

Adicionalmente, se reportó un incremento del 11,20 % en la productividad de la mano de obra, sin ampliación de la jornada laboral. Este comportamiento se registró después de la reorganización de las operaciones y la estandarización de las actividades productivas. El resultado sugirió un mejor aprovechamiento del tiempo de trabajo disponible durante las jornadas evaluadas. No obstante, la interpretación de este indicador requirió considerar su procedimiento de cálculo y diferenciarlo de la productividad global expresada en unidades por hora.

Consumo energético

El consumo promedio de energía eléctrica disminuyó de 10,38 kWh por jornada durante el pretest a 6,00 kWh en el postest, lo que representó una reducción aproximada del 42,2 %. Durante la intervención se efectuaron acciones de mantenimiento preventivo en el pasteurizador y las dos neveras de almacenamiento. Asimismo, se sustituyeron luminarias fluorescentes de 38 W por dispositivos LED

de 16 W. Estas modificaciones coincidieron con una disminución del consumo eléctrico, aunque el diseño del estudio no permitió determinar la contribución independiente de cada medida.

Los valores reportados de Shapiro-Wilk fueron de 0,946 (p = 0,226) para el pretest y 0,972 (p = 0,723) para el postest. La prueba *t* de Student para muestras relacionadas identificó una diferencia estadísticamente significativa entre los períodos evaluados (t = 18,721; gl = 23; p < 0,001). La reducción media fue de 4,3708 kWh por jornada, con un intervalo de confianza del 95 % comprendido entre 3,8879 y 4,8538 kWh. Estos resultados evidenciaron una disminución del consumo energético durante las jornadas posteriores a la intervención.

La tabla 3 presenta los resultados de la comparación estadística del consumo eléctrico registrado antes y después de las acciones de mejora. Se muestran los estadísticos correspondientes a la diferencia media entre las observaciones emparejadas y su intervalo de confianza. El valor positivo de la diferencia respondió al orden de comparación, calculado mediante la resta del postest al pretest. La significación estadística obtenida permitió identificar una reducción del consumo energético durante el período evaluado.

Tabla 3

Prueba t de Student para muestras relacionadas del consumo de energía eléctrica

Comparación	Diferencia media	DE	Error estándar	IC 95 % inferior	IC 95 % superior	t	gl	p
Pretest – Postest (kWh/jornada)	4,3708	1,1438	0,2335	3,8879	4,8538	18,721	23	< 0,001

Nota. DE: desviación estándar; IC: intervalo de confianza; gl: grados de libertad. La diferencia positiva indica un menor consumo energético durante el postest.

En términos económicos, el consumo eléctrico acumulado disminuyó de aproximadamente 249 kWh durante el pretest a 144,1 kWh en el postest. Considerando una tarifa de S/ 0,8048 por kWh, el costo estimado pasó de S/ 200,40 a S/ 115,97 durante las 24 jornadas evaluadas. Esta variación representó un ahorro aproximado de S/ 84,43, equivalente a una reducción del 42,1 % respecto al costo inicial. Los resultados mostraron una disminución del gasto energético durante el período analizado, sin incluir los costos de implementación de las mejoras.

Nivel de desperdicio

La evaluación del nivel de desperdicio consideró tres categorías relacionadas con el funcionamiento de la planta: envases defectuosos, productos no conformes y suero de leche generado. Estos indicadores permitieron examinar las variaciones registradas después de incorporar modificaciones en los procedimientos de producción y en la gestión de recursos. Para los envases y productos defectuosos, se compararon los registros diarios correspondientes a los períodos inicial y final. En el caso del suero de leche, se examinó su volumen de generación y el cambio establecido en su destino.

Envases defectuosos

El promedio diario de envases defectuosos disminuyó de 11,29 unidades durante el pretest a 9,33 unidades en el postest, equivalente a una reducción del 17,3 %. En términos acumulados, las unidades descartadas pasaron de 271 a 224 durante las 24 jornadas evaluadas. Este resultado se registró después de sustituir las bolsas de polipropileno por papel manteca utilizado como material alternativo de envasado. La disminución observada evidenció una menor cantidad de envases descartados, aunque no permitió cuantificar directamente la reducción del impacto ambiental de los materiales empleados.

El análisis de normalidad reportó para el postest un estadístico de Shapiro-Wilk de 0,866 (p = 0,040), lo que indicó una desviación significativa respecto de la distribución normal. Para comparar los registros emparejados se empleó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, cuyo resultado fue estadísticamente significativo (Z = −3,039; p = 0,002). Esta prueba identificó diferencias entre los niveles de envases defectuosos registrados antes y después de la intervención. Los resultados fueron consistentes con la reducción observada en los promedios diarios.

La tabla 4 presenta los resultados de la prueba de Wilcoxon aplicada a los registros de envases defectuosos. El análisis consideró las mediciones relacionadas de las 24 jornadas correspondientes a cada período de evaluación. Se reportan el estadístico estandarizado Z y el nivel de significancia bilateral, utilizados para determinar la existencia de diferencias entre las observaciones. El valor de p obtenido indicó que la variación registrada fue estadísticamente significativa.

Tabla 4

Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas del nivel de envases defectuosos

Estadístico	Pretest – Postest
Z	−3,039
Significancia bilateral (p)	0,002

Nota. La prueba de Wilcoxon se aplicó a los registros emparejados de envases defectuosos correspondientes a las 24 jornadas de evaluación.

Productos defectuosos

El promedio diario de productos defectuosos disminuyó de 8,79 unidades durante el pretest a 5,92 unidades en el postest, equivalente a una reducción relativa del 32,65 %. Asimismo, la proporción reportada de productos no conformes respecto de la producción total disminuyó del 10,30 % al 6,47 %. Estos resultados evidenciaron una mejora en los indicadores de calidad registrados después de la estandarización del proceso productivo. La variación observada coincidió con la incorporación de nuevos puntos de inspección y la reorganización de determinadas actividades operativas.

Los valores reportados de Shapiro-Wilk fueron de 0,952 (p = 0,304) durante el pretest y 0,920 (p = 0,059) en el postest. La prueba *t* de Student para muestras relacionadas identificó una diferencia estadísticamente significativa entre ambos períodos (t = 4,589; gl = 23; p < 0,001). La diferencia media fue de 2,875 unidades, con un intervalo de confianza del 95 % comprendido entre 1,579 y 4,171 unidades. Estos resultados respaldaron la existencia de una reducción estadísticamente significativa en la cantidad diaria de productos defectuosos.

La tabla 5 presenta los resultados de la comparación estadística de productos defectuosos entre el pretest y el postest. Se incluyen la diferencia media, la desviación estándar, el error estándar y el intervalo de confianza del 95 %. Asimismo, se muestran el estadístico *t*, los grados de libertad y el nivel de significancia bilateral obtenido. La diferencia media positiva indicó una menor cantidad de productos defectuosos durante el período posterior a la intervención.

Tabla 5

Prueba t de Student para muestras relacionadas de los productos defectuosos

Comparación	Diferencia media	DE	Error estándar	IC 95 % inferior	IC 95 % superior	t	gl	p
Pretest – Postest (unidades)	2,875	3,069	0,626	1,579	4,171	4,589	23	< 0,001

Nota. DE: desviación estándar; IC: intervalo de confianza; gl: grados de libertad. Los resultados corresponden a 24 pares de observaciones.

Aprovechamiento del suero de leche

El volumen promedio de suero de leche generado durante la elaboración de quesos frescos aumentó de 89,51 a 96,23 litros diarios, equivalente a un incremento aproximado del 7,51 %. Esta variación coincidió con los cambios registrados en la producción durante el período posterior a la intervención. Sin embargo, el principal resultado ambiental estuvo relacionado con la modificación del destino del suero, que anteriormente se vertía al sistema de desagüe. Después de la intervención, se incorporó su aprovechamiento comercial como alimento para animales de granja, principalmente cerdos.

La valorización del suero de leche representó una alternativa para mejorar el aprovechamiento de los subproductos derivados de la actividad láctea. Su comercialización permitió establecer una posibilidad de generación de ingresos adicionales y reducir la cantidad destinada al descarte. No obstante, para cuantificar el beneficio ambiental y económico de esta medida, fue necesario disponer de registros sobre los volúmenes efectivamente comercializados y los ingresos obtenidos. Por tanto, los resultados disponibles permitieron describir el cambio en la gestión del subproducto, pero no determinar con precisión la magnitud de su impacto económico.

5. Discusión

Los resultados obtenidos evidenciaron mejoras en la productividad y el desempeño ambiental de la planta láctea tras la implementación conjunta de la ingeniería de métodos y la manufactura sustentable. El incremento del 13,4 % en la productividad global fue consistente con lo reportado por Ilbay (2023), quien registró una mejora del 14 % mediante la eliminación de tiempos improductivos en el sector textil. Asimismo, Maldonado (2018) y Vásquez (2019) informaron incrementos del 40 % y 27 %, respectivamente, mientras que Bayas (2021) reportó una duplicación de la producción y Ganoza (2018) una reducción del 60 % en los tiempos de enfriamiento. Estas diferencias sugirieron que la magnitud de las mejoras dependió de las características del proceso, las condiciones iniciales y las estrategias de intervención aplicadas.

La aplicación del estudio de tiempos y movimientos presentó correspondencia metodológica con la investigación de Andrade et al. (2019) en la industria del calzado, lo que respaldó su utilidad para identificar actividades improductivas y reorganizar operaciones. Asimismo, los resultados coincidieron con Franco-López et al. (2021), quienes destacaron la estandarización como una alternativa accesible para empresas de menor escala. En la planta estudiada, las mejoras se registraron sin incorporar nueva maquinaria ni incrementar el personal, lo que sugirió que la optimización de los procedimientos existentes constituyó una estrategia viable para mejorar el aprovechamiento de los recursos disponibles. No obstante, su aplicación en otros sectores requirió considerar las particularidades operativas de cada organización.

En la dimensión ambiental, el consumo energético disminuyó un 42,14 %, resultado superior a las reducciones del 12 % y 15 % reportadas por Gutiérrez et al. (2019) y Gonzáles y Vargas (2021), respectivamente, y cercano al 50 % registrado por Sangabriel et al. (2019). Esta diferencia pudo estar relacionada con la aplicación simultánea de medidas de eficiencia energética, particularmente la sustitución de luminarias convencionales por tecnología LED y el mantenimiento preventivo de los equipos. Los hallazgos fueron coherentes con Aguado (2015), quien destacó la eficiencia energética como un componente de la competitividad industrial. Sin embargo, debido a la aplicación conjunta de las intervenciones, no fue posible establecer la contribución individual de cada medida a la reducción observada.

Respecto a la generación de desperdicios, la reducción del 17,3 % en envases defectuosos y del 32,65 % en productos no conformes evidenció mejoras en los indicadores de calidad y aprovechamiento de materiales. Estos resultados fueron consistentes con Yacob et al. (2017), quienes destacaron la importancia de la gestión de residuos para fortalecer la sostenibilidad de las pequeñas y medianas empresas. La incorporación de controles de calidad y la reorganización de las actividades productivas pudieron contribuir a disminuir las pérdidas registradas durante el proceso de elaboración. No obstante, la reducción de unidades defectuosas no representó, por sí sola, una medición integral del impacto ambiental, por lo que se requirieron indicadores adicionales para valorar los beneficios de los materiales alternativos utilizados.

En relación con el aprovechamiento de subproductos, el volumen promedio de suero de leche aumentó de 89,51 a 96,23 L/día, equivalente a un incremento del 7,51 %, que coincidió con las variaciones registradas en la producción. Desde la perspectiva de la economía circular, el principal aporte consistió en modificar el destino del suero mediante su comercialización como alimento para animales de granja. Este resultado guardó relación con los planteamientos de Sangabriel et al. (2019) y Gonzáles y Vargas (2021) sobre las oportunidades de valorización de residuos y subproductos. Sin embargo, para determinar el beneficio económico y ambiental de esta práctica fue necesario cuantificar los volúmenes comercializados, los ingresos generados y la reducción efectiva de los vertimientos.

Desde una perspectiva integral, los resultados sugirieron que la combinación de estrategias operativas y ambientales constituyó una alternativa prometedora para las micro y pequeñas empresas agroindustriales con recursos limitados. La estandarización de procedimientos permitió mejorar los indicadores de productividad, mientras que las acciones de manufactura sustentable coincidieron con una reducción del consumo energético y de los desperdicios. Esta relación fue compatible con el enfoque de Garetti y Taisch (2012), quienes vincularon la sostenibilidad industrial con la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de impactos ambientales. No obstante, la viabilidad económica integral de las intervenciones requirió considerar también los costos de implementación, mantenimiento y recuperación de la inversión.

Entre las principales limitaciones del estudio se identificaron el diseño preexperimental sin grupo de control, la evaluación de una sola planta y el período reducido de seguimiento. Estas condiciones limitaron la posibilidad de atribuir exclusivamente las mejoras a las intervenciones y de generalizar los resultados a otras empresas agroindustriales. Asimismo, la variabilidad inherente a la producción artesanal y la aplicación simultánea de varias medidas dificultaron identificar el efecto independiente de cada estrategia. Por ello, se recomendó desarrollar investigaciones con períodos de seguimiento más amplios, evaluaciones económicas y comparaciones entre diferentes unidades productivas, para establecer la sostenibilidad de las mejoras observadas a largo plazo.

6. Conclusiones

La implementación conjunta de la ingeniería de métodos y la manufactura sustentable se asoció con mejoras estadísticamente significativas en los indicadores operativos y ambientales de la planta láctea estudiada, ubicada en la región Amazonas, Perú. La productividad global aumentó un 13,4 %, mientras que el consumo energético disminuyó un 42,14 %. Asimismo, se registraron reducciones del 32,65 % en productos defectuosos y del 17,3 % en envases defectuosos. Estos resultados evidenciaron diferencias favorables entre las mediciones del pretest y del postest, aunque el diseño preexperimental no permitió establecer una relación causal definitiva.

La integración de ambas estrategias permitió identificar oportunidades de mejora relacionadas con la organización del trabajo y el aprovechamiento de los recursos productivos. La estandarización de procedimientos y la combinación de actividades coincidieron con un incremento del 11,20 % en la productividad de la mano de obra y una reducción aproximada de 19 minutos en el tiempo de ejecución por jornada. Paralelamente, la sustitución de luminarias, el mantenimiento preventivo y la modificación de los materiales de envasado se relacionaron con mejoras en los indicadores energéticos y de desperdicio, mientras que la comercialización del suero de leche representó una alternativa para valorizar los subproductos generados.

El estudio cumplió su objetivo al evaluar los cambios operativos y ambientales registrados después de la aplicación conjunta de ambas estrategias en una pequeña empresa agroindustrial. Los hallazgos sugirieron que la ingeniería de métodos y la manufactura sustentable podrían constituir alternativas técnicamente viables para mejorar el desempeño productivo sin requerir la adquisición de nueva maquinaria ni la contratación de personal adicional. Sin embargo, su replicabilidad y sostenibilidad económica deberán comprobarse mediante investigaciones en otras unidades productivas, con períodos de seguimiento más amplios y evaluaciones de costos que permitan determinar la permanencia de los beneficios observados.

Referencias

Aguado, S. (2015). *Modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado a través de un proceso de innovación ambiental* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia]. e-Spacio UNED. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=53936

Alfaro, A., & Moore, R. (2020). Estudio de tiempos como base para trazar estrategias orientadas al incremento de la eficiencia del proceso de batido de una planta de producción de helados. *Industrial Data, 23*(1), 113–126. https://doi.org/10.15381/idata.v23i1.16651

Andrade, A., Del Río, C., & Alvear, D. (2019). Estudio de tiempos y movimientos para incrementar la eficiencia en una empresa de producción de calzado. *Información Tecnológica, 30*(3), 83–94. https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300083

Bayas, M. (2021). *Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de los procesos de producción, para la empresa textil "Confecciones María Elena" de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha* [Tesis, Universidad UTE]. https://n9.cl/rferr

Cadena, V. (2018). *Mejora de la productividad, en la línea de producción de queso cheddar, mediante el estudio de métodos en la empresa Milma* [Tesis, Escuela Politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19411

Calampa, L., Fernández-Jerí, A., & Bernal, W. (2018). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica de queso fresco en las cuencas lecheras de la Región Amazonas, Perú. *Agroindustrial Science, 8*(2), 117–121. https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2018.02.06

Carrillo, D. (2017). *Propuesta de mejora de la productividad en la planta procesadora de lácteos "El Tambo", mediante la medición del trabajo y estudio de métodos validada con software SIMUL8* [Tesis; institución académica por verificar]. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18982

Deloitte. (2021). *Sustainable manufacturing: From vision to action*. https://n9.cl/qd4bfr

Franco-López, J., Uribe-Gómez, J., & Agudelo-Vallejo, S. (2021). Key Factors in Productivity Assessment: A Case Study. *Revista CEA, 7*(15), e1800. https://doi.org/10.22430/24223182.1800

Ganoza, V. (2018). *Aplicación de la ingeniería de métodos para incrementar la productividad en el área de empaque de la empresa Agroindustrial Estanislao del Chimú* [Tesis, Universidad Privada del Norte]. https://hdl.handle.net/11537/14846

Garetti, M., & Taisch, M. (2012). Sustainable manufacturing: Trends and research challenges. *Production Planning & Control, 23*(2–3), 83–104. https://doi.org/10.1080/09537287.2011.591619

Geyer, R., Jambeck, J., & Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances, 3*(7), e1700782. https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782

Gonzáles, X., & Vargas, D. (2021). *Buenas prácticas de sostenibilidad en la MIPYME peruana*. Global Reporting Initiative. https://n9.cl/2qykr

Gonzales-Malca, J., & Abanto-López, M. (2021). Calidad de los derivados lácteos producidos en la Región Amazonas, Perú. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable, 5*(1). https://doi.org/10.25127/aps.20211.759

Gutiérrez, R., Guerra, K., Haro, C., & Hechevarria, M. (2019). Mejora de la eficiencia energética en el proceso productivo de una empresa de tableros contrachapados. *Revista Espacios, 40*(28), artículo 15. https://www.revistaespacios.com/a19v40n28/19402815.html

Ilbay, C. (2023). *Diseño e implementación de un estudio de tiempos y movimientos enfocado en mejorar la productividad de la empresa textil RAM Jeans de la ciudad de Pelileo en el año 2022* [Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. https://n9.cl/u8r72

Maldonado, S. (2018). *Estudio de tiempos y movimientos para la mejora de la productividad en la línea de ropa interior en una empresa de confección* [Tesis, Universidad de Las Américas]. https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10232/1/UDLA-EC-TIPI-2018-54.pdf

Mathews, J. (2009). *Competitividad: El significado de la competitividad y oportunidades de internacionalización para las Mypes*. USAID. https://n9.cl/i69341

Osinergmin. (2024, junio). *Reporte de interrupciones del servicio eléctrico*. https://n9.cl/drt7x8

Palma, R. (2017). *Impacto social, económico y medioambiental de las prácticas de responsabilidad social empresarial en las más importantes empresas de la región Arequipa y análisis de su aplicación en Mypes* [Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3383

Sajadieh, S., Son, Y., & Noh, S. (2022). A conceptual definition and future directions of urban smart factory for sustainable manufacturing. *Sustainability, 14*(3), 1221. https://doi.org/10.3390/su14031221

Sangabriel, C., Sangabriel, I., & Mavil, J. (2019). *Las micro, pequeñas y medianas empresas ante la oportunidad de la sustentabilidad*. Universidad Veracruzana. https://www.uv.mx/iiesca/files/2020/09/07CA2020-01.pdf

Taylor, F. (1911). *The principles of scientific management*. Harper & Brothers. https://n9.cl/l9ydh

Vásquez, M. (2019). *Aplicación de ingeniería de métodos y su relación con la productividad de la línea de tanques de la empresa Heap Leaching Consulting SAC, periodo 2011–2012* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. https://n9.cl/ggnn6e

Yacob, P., Jaganathan, M., Zakaria, N., Eng Keong, L., Nodeson, S., Fong, Y., & Fared, M. (2017). Green initiatives adoption: Perspective of E&E manufacturing SMEs sustainability. *International Journal of Economic Research, 14*. https://www.researchgate.net/publication/323336857

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

Contribución de autoría

Juan Francisco Montes Camus: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Rosa Karol Moore Torres: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Oscar Rafael Tinoco Gomez: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Julio Alejandro Salas Bacalla: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.