

INGENIERÍA

INDUSTRIAL



FONDO
EDITORIAL

Revista de la Facultad
de Ingeniería

Edición
especial / 2024



UNIVERSIDAD
DE LIMA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial

Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Lima

Carrera de Ingeniería Industrial

N.º especial, mayo del 2024

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n>

© Universidad de Lima

Fondo Editorial

Av. Javier Prado Este 4600

Urb. Fundo Monterrico Chico

Santiago de Surco, Lima, Perú

Código postal 15023

Teléfono (511) 437-6767, anexo 30131

fondoeditorial@ulima.edu.pe

www.ulima.edu.pe

Edición, diseño, diagramación y carátula: Fondo Editorial de la Universidad de Lima.

Publicación semestral.

Los trabajos firmados son de responsabilidad de los autores.

Ingeniería Industrial se encuentra registrada bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ISSN 2523-6326

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2020-08605

DIRECTOR

Marcos Fernando Ruiz Ruiz, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-5147-8512>

EDITOR

Edilberto Miguel Avalos Ortecho, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0939-634X>

COMITÉ EDITORIAL

Gabriela Laura Gallardo, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-1426-8430>

Wilfredo Román Hernández Gorriti, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-6122-4935>

Silvia Ponce Álvarez, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-1583-7113>

José L. Zayas-Castro, University of South Florida, Estados Unidos
<https://orcid.org/0000-0001-7374-3479>

Marcos Leandro Silva Oliveira, Universidad de la Costa, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-7771-5085>

Hugo Romero-Bonilla, Universidad Técnica de Machala, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-7846-0512>

Neyfe Sablón-Cossío, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-6691-0037>

Marco Antonio Díaz Martínez, Tecnológico Nacional de México, México
<https://orcid.org/0000-0003-1054-7088>

Clara Inés Pardo Martínez, Universidad del Rosario, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-8556-319X>

COMITÉ CIENTÍFICO

Dra. Ruth Isabel Murrugarra Munares, Universidad Adolfo Ibáñez, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-7043-7983>

Dr. Igor Lopes-Martínez, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba
<https://orcid.org/0000-0002-1249-8833>

Dra. Maria Julia Brunette, The Ohio State University, Estados Unidos
<https://orcid.org/0000-0001-7932-5964>

Dra. María Lau, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-9058-7789>

Dr. Fabricio Paredes-Larroca, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-8857-9253>

Dr. Alberto Edel León, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-2260-3086>

Dr. Alexandre Carlos Brandão Ramos, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-8844-5116>

Dra. Martha Ruth Manrique Torres, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-3870-4965>

Dr. Yonni Angel Cuero Acosta, Universidad del Rosario, Colombia
<https://orcid.org/0000-0001-9565-3968>

Dr. Lei Zhao, Tsinghua University, China
<https://orcid.org/0000-0002-1028-9632>

Dra. Iara Tammela, Universidade Federal Fluminense, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-8914-6326>

Dra. Marcela Amaro Rosales, Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-1647-8901>

Dr. Felipe Schoemer Jardim, Universidade Federal Fluminense, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-9066-887X>

Dr. Héctor Enrique Gonzáles Mora, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-8455-3432>

Dr. Daniel Eduardo Lazo Martinez, Curtin University, Australia
<https://orcid.org/0000-0003-1757-5444>

Dr. Gibrán Sayeg Sánchez, Tecnológico de Monterrey, México
<https://orcid.org/0009-0009-6694-6142>

Dr. Wilfredo Yushimito, Instituto Politécnico Rensselaer, Estados Unidos
<https://orcid.org/0000-0002-5528-2477>

Dra. Carmen Pérez-Camino, Universidad de Sevilla, España
<https://orcid.org/0000-0001-7652-9582>

COMITÉ EVALUADOR

Alex Vidal Paredes	Universidad de Lima, Lima, Perú
Bertha Díaz	Universidad de Lima, Lima, Perú
José Taquía Gutiérrez	Universidad de Lima, Lima, Perú
Luis Bedoya	Universidad de Lima, Lima, Perú
Martín Collao	Universidad de Lima, Lima, Perú
Richard Meza	Universidad de Lima, Lima, Perú
Yvan García	Universidad de Lima, Lima, Perú
Paul Daniel Sánchez	Universidad de Lima, Lima, Perú
Gino Viacava Bonilla	Universidad de Lima, Lima, Perú
Rafael Chávez Ugaz	Universidad de Lima, Lima, Perú

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	9
Propuesta de mejora en la cadena de suministro de café: región Cajamarca	11
<i>Daniela Molina Buenaño, Alissa Rodríguez García, María Teresa Noriega Aranibar</i>	
Incremento de la productividad en una empresa ganadera láctea de la región Arequipa, Perú, mediante la aplicación de <i>lean manufacturing</i>	35
<i>Daniel Efraín Lozada Rivera, Carlos Nicolás Puertas Aragón</i>	
Proposal for the improvement in the replenishment of inventory in a peruvian retail company through lean tools	59
<i>Renato André Lino Robles, Marysell Jiménez Loaiza</i>	
Análisis de la cadena de valor del café liofilizado a través de la metodología Delphi y propuestas competitivas	73
<i>Sebastián Mauricio Carpio Espino, Renzo Luis Alberto Indacochea Torres, María Teresa Noriega Aranibar</i>	
Comparación de pronósticos con demanda intermitente en una empresa de empaques de plástico	97
<i>Alex Víctor Sánchez García, José Antonio Taquíá Gutiérrez</i>	
Implementing Lean Manufacturing to Optimize the Service Level: An Industrial Lubricating Oils Processing and Marketing Company Case Study	111
<i>David Felipe Herrera Barberena, María Fernanda Tomas Rivera</i>	
DATOS DE LOS AUTORES	133

PRESENTACIÓN

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n.7054>

La gestión de actividades, las operaciones logísticas y los servicios asociados, dada la magnitud de los volúmenes manejados y la creciente complejidad inherente, demandan la implementación de soluciones cada vez más innovadoras y técnicas. La ingeniería industrial, en constante evolución, a través de sus diversas disciplinas, técnicas y herramientas, proporciona soluciones que permiten a las empresas alcanzar gestiones logísticas más eficientes y competitivas.

En este contexto, la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima, orientando sus esfuerzos hacia el bienestar de la sociedad y buscando contribuir a un ámbito tan crucial como es el de la cadena de suministro para las organizaciones y empresas, llevó a cabo los días 23 y 24 de octubre del 2023 el III Congreso Internacional de Ingeniería Industrial “*Supply Chain 4.0: Tecnología e Innovación*”. En este evento, destacados científicos, investigadores y expertos de diversos países compartieron los últimos avances en la cadena de suministro, y abordaron temáticas clave como almacenes automatizados, transformación digital, analítica de datos, robótica e inteligencia artificial.

Asimismo, con el objetivo de fomentar la investigación en esta área, el congreso lanzó un *call for papers*, para que los investigadores y, en particular, los estudiantes de último año de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima, tengan la oportunidad de presentar sus investigaciones —en formato de artículo científico— durante el evento. Estos artículos forman parte de la presente edición de nuestra revista. Nos complace presentarla y confiamos en que su contenido sea de su interés y contribuya al propósito de generar conocimiento, con artículos que puedan ser relevantes en el desarrollo de implementaciones y soluciones.

Dr. Nicolás Salazar Medina
Presidente

III Congreso Internacional de Ingeniería Industrial

PROPUESTA DE MEJORA EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE CAFÉ: REGIÓN CAJAMARCA

DANIELA MOLINA BUENAÑO*

<https://orcid.org/0000-0002-7359-6525>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

ALISSA RODRÍGUEZ GARCÍA

<https://orcid.org/0000-0003-4500-3363>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

MARÍA TERESA NORIEGA ARANÍBAR

<https://orcid.org/0000-0001-6824-1415>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 10 de octubre del 2023 / Aceptado: 30 de octubre del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n.6547>

RESUMEN: Se analiza la cadena de suministro de los granos de café de las provincias de Jaén y San Ignacio en la región de Cajamarca, para proponer una mejora que permita incrementar la cantidad de producto destinado para exportación. Se realizó un estudio del sector, con alcance explicativo y diseño no experimental descriptivo, con las variables de investigación cadena de suministro y exportación. El enfoque es cualitativo, con la utilización de dos técnicas: una entrevista con una muestra seleccionada por conveniencia y una síntesis bibliográfica para la recolección de información. Se encontraron problemas en los eslabones de la cadena, destacando entre ellos la poca asociación de los caficultores en cooperativas, el bajo financiamiento, la escasez de insumos y la poca implementación tecnológica. Se presentan soluciones como la implementación del internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y la participación de nuevos actores, y se propone una nueva cadena de suministro para aumentar la producción y, con ello, destinar mayor cantidad de producto terminado a la exportación.

PALABRAS CLAVE: cadena de suministro / café / método Delphi / exportación / productividad / Cajamarca (Perú)

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: 20181209@aloe.ulima.edu.pe; 20181647@aloe.ulima.edu.pe; manorieg@ulima.edu.pe

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

IMPROVEMENT PROPOSAL FOR THE COFFEE SUPPLY CHAIN TO INCREASE EXPORTS: SECTOR ANALYSIS IN THE CAJAMARCA REGION

ABSTRACT: This paper examines the coffee supply chain in Jaen and San Ignacio (Cajamarca, Peru) to propose enhancements to increase the volume of produce destined for exportation. The study of the coffee sector had an explanatory scope and a descriptive non-experimental design focused on the research variables of supply chain and exportation. It used a qualitative approach that combined interviewing a convenience sample and a literature review to investigate supply chain dynamics and exportation. Findings reveal challenges within the chain, including insufficient participation of coffee growers in cooperatives, limited financing, input scarcity, and inadequate technological adoption. Proposed solutions entail implementing the Internet of Things (IoT) and involving new stakeholders alongside a redesigned supply chain to augment production and facilitate greater export output.

KEYWORDS: supply chain / coffee / Delphi method / exports / productivity / Cajamarca (Peru)

1. INTRODUCCIÓN

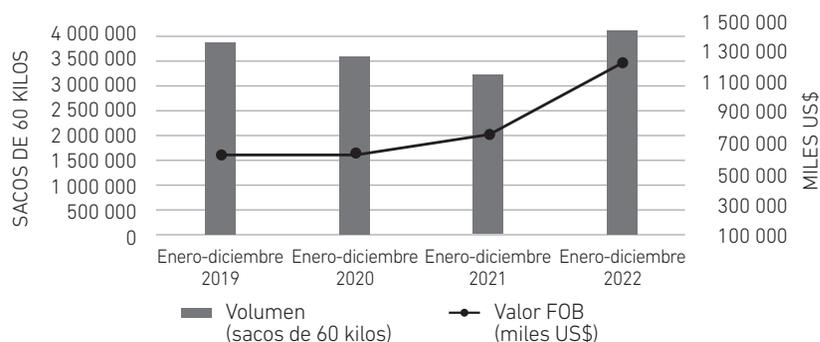
El café es uno de los productos de mayor consumo a nivel internacional y según la Organización Internacional del Café (2022) se calcula que su consumo mundial crecerá un 3,3 % y pasará (en 2021/2022) a 170,3 millones de sacos frente a los 164,9 millones de sacos del año cafetero 2020/2021.

El Perú es el noveno país productor de café y el séptimo exportador (Cámara Peruana del Café y Cacao, 2017). Con una posición conservadora, se espera que el volumen de la exportación de café sea de 3,8 millones de sacos de 60 kilos para el 2022. Esto indica un incremento del 18 % respecto del año anterior (Cámara Peruana del Café y Cacao, 2022). Sin embargo, se prevé que las exportaciones se encuentren más cerca de un escenario pesimista, con solo 3,3 millones de sacos. Esto se debe a los diferentes retos que presenta el sector, ya que los ingresos familiares y el nivel de empleo aún se hallan en un proceso de recuperación luego de la pandemia de COVID-19 (Café: Perú exportaría, 2022).

En el Perú se estima que existen 259 organizaciones (entre cooperativas y asociaciones) que representan a un 30 % de los productores. De ellas, un 61 % exporta de manera directa, mientras que el resto lo hace a través de alguna empresa exportadora (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2018).

Figura 1

Valor y volumen de exportación de café (2019-2022)



Nota. Adaptada de Veritrade (2023).

Cabe mencionar que los datos observados en la Figura 1 muestran evidencia del crecimiento de la exportación de café a lo largo de los últimos años; sin embargo, dado que dicho producto es un *commodity*, su precio es muy volátil. Su valor cambia por diferentes factores que en ocasiones son incontrolables, por lo que, si bien las

exportaciones pueden resultar prósperas en una época, no son constantes a lo largo de los años. Esta variabilidad y la existencia de escenarios inciertos impiden proyectar el comportamiento de las exportaciones en el tiempo.

Díaz Vargas y Carmen Willems (2017) indican que el café es el producto principal de exportación en el Perú y que un aproximado de 223 000 familias se dedican a producirlo. Además, 2,5 millones de personas —que generan más de 50 millones de jornales al año— dependen de esa cadena.

Por otro lado, el café es cultivado por pequeños productores que manejan entre una y cinco hectáreas y representan el 85 % del total de caficultores. Asimismo, los caficultores que no están agrupados no cuentan con los beneficios de los que sí lo están, con apoyo financiero o acceso a crédito, lo que significa una gran limitación. Además, el desarrollo social, económico y ambiental de las zonas cafetaleras es débil, ya que los productores y gremios usualmente no tienen un margen de ganancia, lo que les impide salir de su situación de pobreza o pobreza extrema (Díaz Vargas & Carmen Willems, 2017).

La investigación se centrará en la región Cajamarca, dado su mayor nivel de producción, de acuerdo a los resultados del 2022 de la Junta Nacional del Café (véase la Tabla 1).

Tabla 1

Producción de café pergamino según regiones en toneladas

Regiones	2021	2022	%
Ayacucho	2878	3138	9,03
Amazonas	50 117	53 941	7,63
Piura	4854	5216	7,45
Lambayeque	2222	2691	7,43
Cusco	26 433	27 662	4,65
La Libertad	203	200	1,48
Huánuco	12 409	12 524	0,93
Cajamarca	76 381	76 821	0,58
Junín	68 463	65 951	-3,67
Puno	8314	7925	-4,68
San Martín	77 994	69 950	-10,31
Ucayali	12 659	10 743	-15,15
Pasco	20 430	15 813	-22,6
Otros	210	238	-13,33
Total	363 567	352 813	-2,96

Nota. Tomado de Junta Nacional del Café (2022).

La investigación se propone como objetivos describir la situación actual de la cadena de suministro de café (en adelante CSC) de Cajamarca, desde su producción hasta su distribución a los puertos de exportación; identificar sus problemas principales; y proponer mejoras que permitan aumentar su eficiencia, a fin de incrementar la cantidad de producto destinado para exportación.

Los principales países latinoamericanos exportadores de café son Brasil y Colombia. De acuerdo a la Organización Internacional del Café (ICO, por sus siglas en inglés), a enero del 2022 Brasil exportó 3,23 millones de sacos de café de 60 kilos, siendo así el primer país exportador. Colombia quedó en tercer lugar, con 1,05 millones de sacos. Perú se posicionó en sexto lugar, pero la diferencia en cantidad de sacos exportados es notable a comparación de los países latinoamericanos antes mencionados (véase Tabla 2).

Tabla 2

Países exportadores de café a nivel mundial a enero del 2022

País	Sacos de café de 60 kg
Brasil	3 226 441
Vietnam	2 802 414
Colombia	1 045 119
Indonesia	639 900
Honduras	506 463
Perú	427 750

Nota. Adaptada de Organización Internacional del Café (2022).

El propósito de esta investigación es revelar los problemas de la cadena peruana de suministro de café, que impiden que compita a esa escala y se posicione en los primeros puestos a nivel mundial. Es por esta razón que se busca responder la pregunta de investigación: ¿cuál es el impacto de la implementación de las propuestas de mejora en la cadena de suministro de los granos de café en la región Cajamarca sobre el porcentaje de exportación de dichos granos?

La presente investigación es importante por diferentes motivos. Contreras-Medina et al. (2020) comentan que existe una exclusión tecnológica, principalmente de los pequeños productores en países en vías de desarrollo. En la agricultura tradicional se realiza un sistema de producción vulnerable al cambio y existen diversos factores —como las ganancias, el tamaño de la finca, la distancia al mercado, el nivel de asociatividad, entre otros— que influyen en la adopción de esta tecnología. Colombia, a pesar de ser un país en vías de desarrollo, invierte en investigaciones para intentar aminorar las brechas tecnológicas. Actualmente, en su cadena está implementando tecnología, como por

ejemplo el uso de sensores para controlar el estado y la temperatura de sus plantaciones de café, el procesamiento de imágenes en máquinas especializadas, el almacenamiento de datos en la nube, estudios de semillas híbridas, entre otros.

La caída de los precios del café en el mundo y el aumento de los costos de producción son dos de las causas que agravan la pobreza de quienes cultivan el café. El pequeño margen de ganancia que obtienen y la dificultad para obtener financiación les impiden realizar inversiones, con lo que el rendimiento y la calidad disminuyen y, junto con ello, también sus ingresos. (Coordinadora Estatal de Comercio Justo, 2019)

El desarrollo de una cadena de suministro óptima beneficia a todos sus actores. Se obtiene un comercio justo entre los productores, los intermediarios y el cliente final (Guardián Sedano & Trujillo Velásquez, 2019).

Álvarez et al. (2019), mediante un nuevo modelo de la CSC obtuvieron 71,43 % de eficiencia y 73 % de efectividad, pues redujeron tiempos y costos logísticos en el proceso de almacenamiento e inventario, sin perjudicar la calidad del producto. Además, se incrementó la satisfacción y la confianza de los clientes y también aumentó la productividad. Por otro lado, Contreras-Medina et al. (2020) afirman que la aplicación de herramientas de control y gestión en los procesos de la CSC logra mejorar la calidad de café entregado. Esto no solo genera un beneficio a nivel local, sino que también permitiría acceder a mercados externos. Además, una CS debe estar diseñada para organizar el flujo de productos, reducir al mínimo los costos de transporte y llegar a ser competitiva en el mercado (Todorovic et al., 2018).

En este caso, la CSC inicia con el proceso de compra de materia prima e insumos adicionales, continúa con la siembra y cosecha del café por parte de los caficultores y finaliza con la recolección por parte de las cooperativas, que se encargan de procesar los granos para exportar (Matos et al., 2019, p. 138).

Villalva-Cataño et al. (2019) identificaron las actividades que generan mayor valor y las que repercuten negativamente a la cadena, utilizando costeo ABC. Concluyen que una buena gestión de la cadena facilita los resultados esperados respecto de la calidad, servicio y costo del producto. Además, Matos et al. (2019) destacan la necesidad de analizar la CS para entender las relaciones internas y externas, y proponen —para tal análisis— un modelo enfocado en la integración.

Ngoc Bui y Thi Doan (2020) analizan el impacto de la gestión de la CS en el desempeño financiero y concluyen que existen correlaciones positivas entre el desempeño financiero y la relación con los clientes, proveedores y, en mayor grado, con los distribuidores. Estos autores proponen enfocarse en la relación con los distribuidores para conseguir beneficios mutuos, como reducir costos, conseguir mejores *lead time* y asegurar ventas.

Kumar et al. (2017) demuestran la correlación positiva entre la integración de una CS y su desempeño. Coinciden en que se logran múltiples beneficios, como la reducción de costos logísticos, el incremento en los ingresos y mejoras en la flexibilidad de la organización para responder ante cambios del mercado.

METODOLOGÍA

La investigación es de tipo aplicada, con diseño no experimental descriptivo, alcance explicativo y enfoque cualitativo. Se identifican los problemas, se explican las causas que los originan y, además, se describe el impacto de tales problemas sobre las variables CSC y exportación, independiente y dependiente, respectivamente.

Este estudio se enfoca en la región Cajamarca. Aunque se podría asumir que cuenta con una CS muy eficiente, debido a que es la región con la mayor producción de café en el país, la realidad es distinta. Esto se evidenció durante el análisis realizado al sector cafetalero. Actualmente la CSC se encuentra desintegrada y presenta diferentes problemas, como la falta de institucionalidad del sector, la falta de oportunidades a los productores, la infraestructura precaria, entre otros (Díaz Vargas & Carmen Willems, 2017). Para el presente estudio, la muestra no probabilística y por conveniencia está conformada por los actores que participan en la cadena: agricultores, comerciantes, distribuidores y exportadores de café en Jaén y San Ignacio, provincias de la región Cajamarca. Se visitaron tres cooperativas y una multinacional, por recomendación del presidente de la Cámara Peruana del Café y Cacao.

Además, se elaboraron cuestionarios con diez preguntas para agricultores, cinco preguntas para el personal del área de producción, diez preguntas para el personal de almacenamiento, ocho preguntas para el personal encargado de la distribución y transporte, seis para el personal de comercialización y seis para los exportadores. Se buscó entrevistar a caficultores de las zonas mencionadas, a trabajadores de distintos cargos de las empresas o cooperativas visitadas y al presidente de la Cámara Peruana del Café y Cacao. Se utilizó el método Delphi con la finalidad de obtener datos más precisos y actualizados. Cabe mencionar que la estructura de las entrevistas fue validada por cinco expertos.

RESULTADOS

La cadena de suministro de los granos de café verde u oro verde empieza con los proveedores de insumos: los de los germinados de cafeto, fertilizantes, pesticidas, así como aquellos de las herramientas o maquinaria utilizada. Continúan los caficultores, que son los encargados de la preparación, siembra, cosecha y mantenimiento de las plantaciones de cafeto para obtener la materia prima del proceso. Se puede dar el caso de que estos se encuentran asociados a cooperativas, para lo cual han pagado una inscripción voluntaria y a cambio reciben beneficios, pero también existen quienes no están asociados, ya que por diferentes motivos no pueden realizar esta inversión. También intervienen las *trading companies*, cuyos agentes trabajan con semi *brokers*, que buscan a productores para comprarles café y vendérselo a sus clientes importadores, con el objetivo de ofrecerles un producto de calidad y de manera constante.

Seguido de ellos, intervienen las cooperativas, que se encargan del acopio, almacenamiento y preparación del café verde, para lo cual necesitan de financiamiento. Antes de empezar las campañas cafetaleras, las cooperativas hacen acuerdos con financieras, mayormente del extranjero, para acceder a capital de trabajo para el pago a los proveedores, traslados e incluso algunos costos de producción.

Las cooperativas cuentan con diferentes puntos de acopio cerca de las plantaciones y también con un almacén principal en el que guardan el café pergamino acopiado. Algunas cooperativas realizan la producción secundaria para la obtención del café oro verde exportable en las instalaciones del almacén principal, y otras envían el café acopiado a las empresas exportadoras que tienen la maquinaria necesaria para hacerlo.

Las empresas comercializadoras también poseen puntos de acopio en diferentes lugares de la ciudad. En ambos casos (cooperativas y empresas comercializadoras), los caficultores asociados se acercan para dejar los sacos de café pergamino con los que se comprometieron en un inicio. En el caso de que no estén comprometidos con las cooperativas o que no estén satisfechos con el precio ofrecido por ellas, optan por llevar sus sacos a los acopiadores independientes, quienes se limitan a la compra, producción y venta en menor escala.

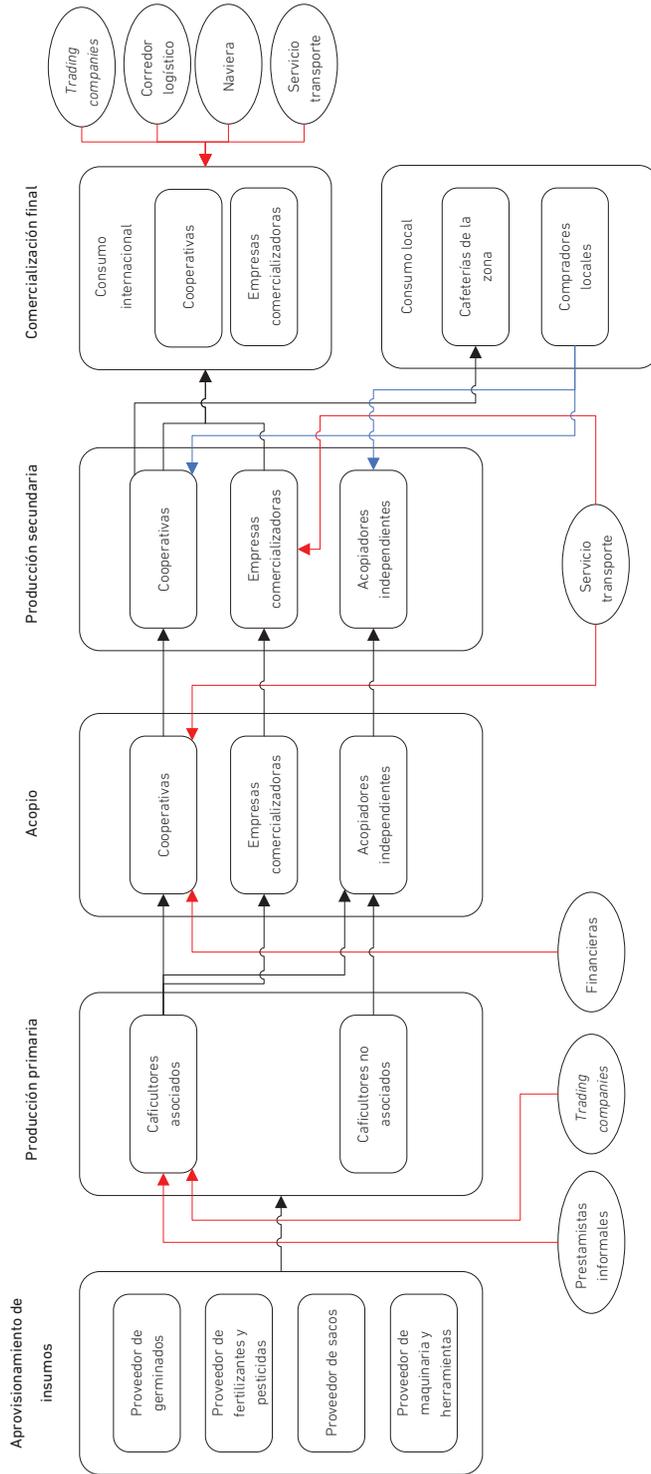
La producción secundaria también puede ser realizada por las empresas comercializadoras, que se encargan de la exportación del café verde junto con otros actores. Intervienen corredores logísticos, servicios de transporte y la naviera para colocar el producto terminado en el puerto acordado. Cabe mencionar que las *trading companies* también se mantienen en contacto con las cooperativas o empresas para comprarles café, pero también sucede que las cooperativas realizan estas actividades de exportación por su cuenta.

Cuando es así, las cooperativas se apoyan de los servicios de un corredor logístico que se encarga de tramitar los permisos necesarios para la exportación, la carga y descarga de mercancía, el transporte, entre otras funciones. El embarque del producto depende del contrato o *service contract* que tenga el cliente con la naviera. El cliente le brinda los detalles de la embarcación a la cooperativa y le indica a qué naviera se le debe entregar el producto, ya que todo esto ha sido acordado previamente con el importador.

El envío del café solo se realiza si anteriormente el cliente aceptó una muestra de oro verde enviada a su país de origen, la cató y corroboró la calidad del café pactado en el contrato.

La mayor parte de la producción del café se destina a la exportación. En menor cantidad se dirige a las cafeterías locales para el consumo en la zona o también para vender a compradores locales que desean adquirir los granos de café verde. A continuación, se muestra la Figura 2, que es la CSC actual, la cual ha sido diagramada según la información obtenida a partir de las entrevistas y del análisis del sector realizado.

Figura 2
Cadena de suministro de café actual en Jaén y San Ignacio - Cajamarca



Los papeles que se necesita tramitar para exportar café, de acuerdo a la Cámara Peruana del Café y Cacao (s.f.), son los siguientes: solicitud del código exportador, código de marca y serie ICO y solicitud de certificado de origen, el cual permite verificar que la operación está conforme de acuerdo con el reglamento de la Organización Internacional del Café.

Los cafés especiales, como el orgánico o *rainforest*, deben ser inspeccionados previamente a su comercialización. En el caso del café orgánico, el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) se encarga de establecer las normas de certificación, que es realizada por empresas privadas. En Perú, son once las empresas que auditan los procedimientos para que no ocurra contaminación cruzada entre los insumos y herramientas con el producto terminado. En el caso del café *rainforest*, la certificadora responsable es Rainforest Alliance, la cual verifica que el café se haya producido de manera sostenible en sus tres pilares: económico, social y ambiental.

A pesar de sus dificultades, la cadena actual de los granos de café de Cajamarca presenta fortalezas que le han permitido exportar granos verdes de muy buena calidad a diferentes mercados. Algunas de ellas son las siguientes:

- Los principales destinos son: Estados Unidos (23,3 %), Alemania (22,4 %), Bélgica (10,9 %), Colombia (9,2 %), entre otros (ComexPerú, 2022).
- Gran cantidad de proveedores (agricultores) del café pergamino.
- Proveedores con interés en adquirir conocimientos para el mejor cuidado de su cultivo.
- Producto de buena calidad.
- Condición geográfica favorable para el cultivo de café.
- Personal con experiencia en temas de cultivo, producción y exportación.
- Liderazgo en exportación.
- Agricultores con diferentes épocas de cosecha (varía según la altura), lo que permite tener una disponibilidad constante del producto.

Asimismo, esta cadena debería aprovechar las oportunidades presentes en el mercado actual, algunas de las cuales son las siguientes:

- Aumento en el consumo del café, mayor demanda mundial.
- Mayor conocimiento en infraestructura y maquinaria industrial.
- Reconocimiento de la calidad del café peruano a nivel mundial.
- Participación del café peruano en concursos.

- El mercado internacional del café experimentó, desde 2021, un incremento en sus precios (ComexPeru, 2022).
- Caída de la producción en Brasil, principal productor de café a nivel mundial (ComexPeru, 2022).

En base a la identificación de problemas encontrados en las entrevistas realizadas a los actores de la cadena de las zonas visitadas y al presidente de la Cámara Peruana del Café y Cacao, se determinaron las causas más importantes de estos problemas y se consideraron posibles soluciones —viabiles y de fácil implementación— que puedan ser utilizadas por los actores de la cadena. Por último, se elaboró un diagrama causa efecto (véase la Figura 3).

A continuación, se presenta la cadena ideal de suministro de café. Es decir, la propuesta de una cadena en la que se eliminan las intervenciones de actores que se consideran innecesarias y se adicionan las requeridas, con la descripción del rol que todos los actores deben cumplir. Cabe mencionar que las soluciones presentadas, en ocasiones abarcan más de un problema identificado, ya que se consideró importante que todos sean resueltos (véase la Figura 4).

Figura 3
Diagrama causa efecto

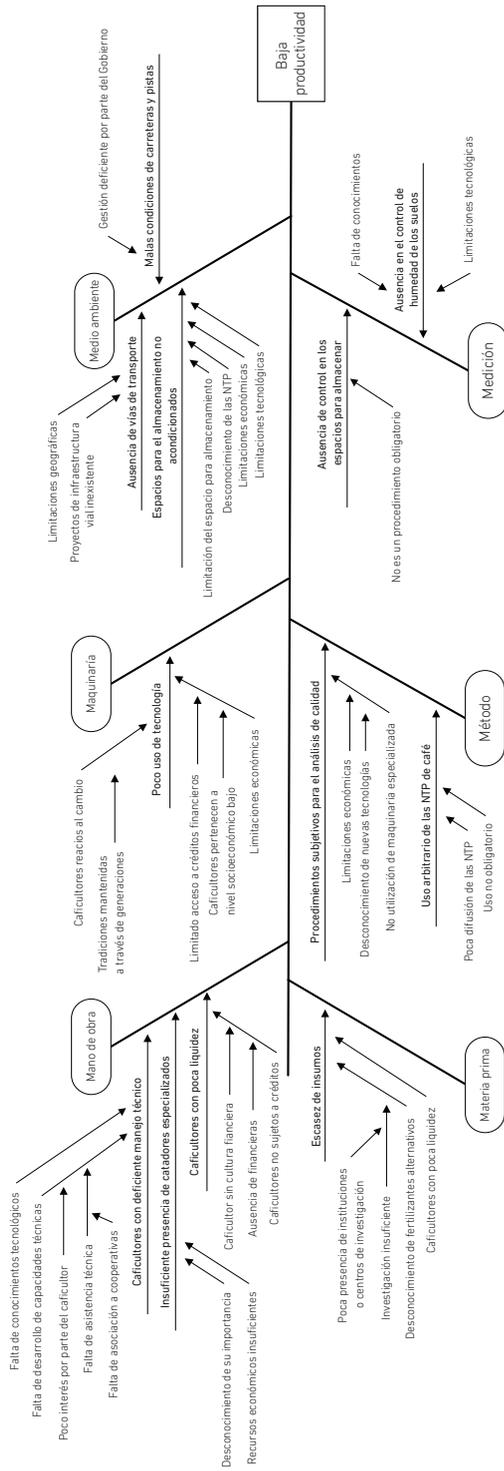
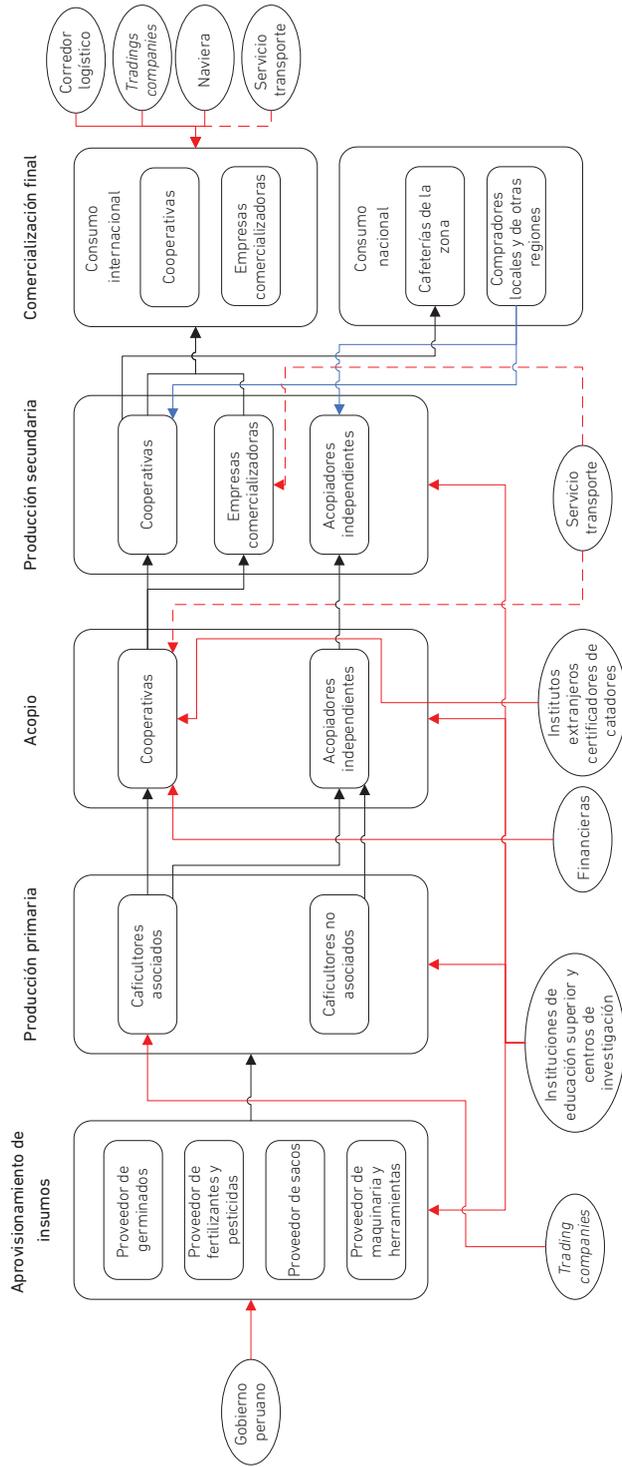


Figura 4
Propuesta de la nueva cadena de suministro de café



Se desplegaron propuestas de solución para cada eslabón de la CS, la cual se dividió en cinco fases: aprovisionamiento de insumos, producción primaria, acopio, producción secundaria y comercialización final. Los eslabones de la cadena empiezan ante la necesidad de una compra y terminan con el pago de los clientes por dicha compra (Pérez Carmona, A., 2021).

- Aprovisionamiento de insumos

Tabla 3

Propuestas de solución para el primer eslabón

Actividad	Propuesta de solución
Adquisición de fertilizantes	<p>Producir fertilizantes orgánicos alternativos para tener un abastecimiento más constante.</p> <p>Hay empresas que producen localmente abono orgánico en base de algas marinas, roca fosfórica, aves de corral y otros animales menores. Son ocho empresas de abonos orgánicos en diferentes regiones dispuestas a importar más maquinarias para elevar su producción, dado que hoy este tipo de insumos puede salvar más rápidamente al agro (Sobreexplotación de guano de isla, 2022).</p>

- Producción primaria

De acuerdo al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2018), las cooperativas han facilitado el acceso a sus socios a mejores mercados, en los que la diferenciación por calidad y sostenibilidad es compensada con mejores precios.

Se propone que las cooperativas, mediante el método de fidelización, fomenten la asociación de los caficultores, con campañas informativas en las que presenten el proceso de asociación y sus posibles beneficios: "asistencia técnica, programas de crédito, búsqueda de mercados, mejora de los canales de comunicación interna para garantizar la confianza en la cooperativa, entre otros" (García et al., 2009).

Tabla 4

Propuestas de solución para el segundo eslabón

Actividad	Propuesta de solución
Financiamiento	<p>Créditos otorgados por las cooperativas con facilidades en los pagos de cuotas y en la inscripción a la asociación. Además, brindar asesoramiento financiero y capacitaciones para que los productores aprendan a gestionar mejor sus recursos.</p> <p>Mayor presencia de las entidades financieras nacionales, que apuesten por ellos y los inviten a ser sus clientes.</p>

(continúa)

(continuación)

Actividad	Propuesta de solución
Preparación y mantenimiento de los suelos de las plantaciones de café	Inversión por parte de las cooperativas en la formación técnica de los caficultores. Usar IoT para recolectar data sobre el estado de las plantaciones y otros como la humedad de la tierra y temperatura del ambiente con ayuda de sensores. Emplear drones con sistemas de irrigación.
Almacenamiento de los granos de café pergamino	La NTP-ISO 8455:2018 recomienda que el ambiente de almacenamiento tenga una buena ventilación, sin cambios bruscos de temperatura, paredes impermeables, y que los sacos se coloquen sobre tarimas o parihuelas y alejados de la pared para lograr una buena circulación del aire (INACAL, 2021a).
Venta de los granos de café pergamino	La asociación en cooperativas permite que los productores tengan mayores e incluso mejores oportunidades de venta del café, considerando nuevos mercados, precios justos y con bonos.

- **Acopio y producción secundaria**

Tabla 5

Propuestas de solución para el tercer y cuarto eslabón

Actividad	Propuesta de solución
Transporte del café pergamino	El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) debe evaluar la correcta implementación de sus planes de acción para la conservación e inversión en carreteras y pistas, ya que, aunque el primer objetivo de su Plan Estratégico Institucional (PEI) 2020-2023 es proveer infraestructura de transporte para la integración interna y externa del país (PEI, 2020), no se está cumpliendo.
Producción de los granos de café verde	Implementación de maquinaria especializada que permita lograr la obtención de granos de café oro verde más homogéneos para que finalmente la calidad no sea alterada. Utilizar herramientas tecnológicas durante los controles de calidad para tener procedimientos más objetivos, como el procesamiento digital de imágenes.
Calidad del grano de café verde	Promover alianzas internacionales entre las cooperativas y los clientes de diferentes países para capacitar y certificar a los catadores y así asegurar que la cooperativa entregue la calidad de café pactada en el contrato con el cliente.

(continúa)

(continuación)

Actividad	Propuesta de solución
Almacenamiento del grano de café pergamino o grano de café verde	<p>Instalación de aspersores automáticos de agua para mantener la humedad y colocar techos voladizos con aislamiento térmico para un ambiente más fresco, con materiales como poliuretano expandido o lana de roca.</p> <p>Utilizar sensores de temperatura para que los aspersores se activen automáticamente al detectar un cambio en la humedad del ambiente.</p> <p>La NTP-ISO 8455 especifica las condiciones para el almacén: temperatura ~ 22°C y humedad relativa ~ 60 %. Además, recomienda el uso de sistemas de acondicionamiento de aire como humidificadores, deshumidificadores, extractores de humedad, entre otros (INACAL, 2021).</p>
Financiamiento para la producción	<p>Se cuenta con experiencia previa, como el apoyo del gobierno regional de Puno al sector cafetalero, en 2021, que invirtió más de siete millones de soles para la realización de acciones técnicas con la finalidad de elevar la competitividad y rentabilidad de los más de 1200 caficultores de esa región. (Aruquipa, 2021).</p>

- Comercialización final

Tabla 6

Propuestas de soluciones para el quinto eslabón

Actividad	Propuesta de solución
Calidad de los granos de café verde exportable	<p>Incluir el formato de evaluación sensorial y física con los criterios establecidos con el que el cliente quisiera que sea analizada su compra, para así evitar futuros inconvenientes y reprocesos.</p>

Finalmente, en la cadena propuesta se está considerando aumentar el nivel de ventas a nivel nacional, lo cual sería posible, ya que en términos generales se estaría aumentado la producción. Cabe resaltar que, con el acceso a internet, los productores tienen la posibilidad de ofrecer su café a través de diferentes plataformas y llegar así a más clientes. El *e-commerce* les permitiría ampliar la cobertura de la comercialización, tanto a nivel nacional como internacional, para de esta manera mejorar sus ingresos.

Las universidades, institutos y centros de investigación serían las instancias encargadas de inculcar la conciencia ambiental, para no llegar a la sobreexplotación. También de realizar estudios para conocer las posibles medidas de adaptación y preparar tanto las tierras como los cafetos, ya que el cambio climático tiene efectos en la productividad agrícola (entre ellos, cambios en los regímenes pluviométricos, sequías,

inundaciones y la redistribución geográfica de plagas y enfermedades) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2020).

Asimismo, podrían generar investigación sobre sustitutos de insumos escasos, o ayudar a que los caficultores aprovechen al máximo sus plantaciones, capacitándolos para emplear tecnología en el campo que facilite sus funciones y les permita obtener mayor rendimiento y calidad en sus granos. También podrían desarrollar estudios sobre las comunidades cafetaleras, evaluar su contexto económico y social y cómo se desenvuelven en la cadena.

Es necesario tener en cuenta los compromisos de la comunidad internacional con la promoción de la inclusión social y el empleo como condiciones esenciales para la reducción de la pobreza y el respeto a los principios y derechos fundamentales en el trabajo. (Organización Internacional del Trabajo, s.f.)

En cuanto al tercer y cuarto eslabón, estas instituciones pueden proponer diseños de plantas de producción o de almacenes, que incluyan tecnologías con procesamiento digital de imágenes, sensores de temperatura conectados a sistemas de aspersión de agua automáticos, etcétera, con el fin de lograr procesos más eficientes y evitar la pérdida de café por las inadecuadas condiciones de almacenamiento.

2. DISCUSIÓN

“La industria del café a nivel internacional es muy competitiva, el precio establecido por la bolsa de valores es muy volátil, y la oferta del producto es altamente dependiente de factores naturales, difíciles de controlar” (Chango Yosa & García Regalado, 2021). Es por esta razón que la única alternativa al alcance del sector cafetalero es la mejora de la cadena de suministro. Las acciones orientadas a aumentar los ingresos de las familias cafetaleras deben centrarse, principalmente, en mejorar los niveles de producción y eficiencia en el manejo del cultivo (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2018). Filassi y Leda (2022) mencionan que factores como la tecnología y la sostenibilidad permiten mejorar la competitividad y el acceso a otros mercados, por lo que se debe prestar atención a cada eslabón de la cadena y a los problemas que se presentan, para proponer soluciones que incrementen la producción y calidad de café en grano exportable y así mejoren la competitividad de la cadena.

Los países productores no tienen prácticamente ninguna capacidad para negociar los precios de venta. Por este motivo, la asociación en cooperativas, que es una solución utilizada globalmente, mejoraría la competitividad de los productores. Arboleda, Zabala y Cueto (2020) indican que las cooperativas de caficultores de Colombia han demostrado que la asociación es un camino adecuado para alcanzar el progreso y para aportar a la solución de necesidades de su población. Otro ejemplo es la cooperativa brasileña Cooxupé, que —para mantener asociados a sus caficultores— utiliza sus recursos y los

del sector financiero para ofrecer diferentes servicios, como la compra diaria de café a precio de mercado, la venta y entrega de insumos de calidad, el financiamiento a plazo de cosecha, la asistencia técnica, almacenes seguros, eventos para divulgación de nuevas tecnologías, ferias de maquinaria agrícola con pago en producto en el momento de la cosecha, entre otros (Robayo, 2014).

En lo que respecta a mejorar la calidad del café, una opción es capacitar a los catadores con instituciones extranjeras, como sucedió en la excooperativa Café Perú que, de acuerdo con García et al. (2009), entre sus alianzas internacionales resalta el convenio con el Instituto del Café de Calidad de Estados Unidos, que le permitió certificar a sus catadores.

La tecnología también permite mejorar la calidad de los granos, ya que se trata de una evaluación objetiva. Benítez Urbano y Campo Ceballos (2018) promueven el uso de “herramientas tecnológicas de visión artificial y algoritmos de análisis de datos, que respalden la evaluación sensorial del café de acuerdo a su nivel de tostación, color y matiz y sus propiedades organolépticas”.

Por otro lado, al incorporar tecnología, la cadena podría obtener grandes beneficios en la producción del café. El internet de las cosas (IOT) se puede emplear para recolectar data sobre pestes y enfermedades, fertilizar los cultivos con ayuda de drones, usar válvulas para irrigar los cafetos y sensores para controlar la humedad de la tierra. La agricultura digital permitirá encontrar riesgos en las tierras de cultivos, desde la plantación hasta el producto final (Kittichotsatsawat et al., 2021).

Más aún, Hernández Yáñez y Flores Montes (2021) proponen una ruta de transformación digital en dos fincas en Colombia. Esta se compone de una red de sensores junto a aspersores para la irrigación del suelo y un *gateway* que conecta los sensores, procesa la información y la envía a un computador ubicado dentro de la finca que recibirá y almacenará los datos que se generen. Estos datos se podrán migrar a un servidor *cloud*, lo que permitirá gestionarlos y monitorearlos desde cualquier lugar con acceso a internet.

Dicho modelo se puede replicar en fincas con poca madurez tecnológica en la etapa de la gestión de los cultivos, para obtener beneficios tanto en la producción del café como en la rentabilidad. Como señalan Ruiz Martínez y Ferro Escobar (2020), con la introducción de la tecnología se evidencia que algunos procesos —como la plantación y producción de café— se pueden mejorar y automatizar, permitiendo incrementar su rentabilidad. Tiene la posibilidad de traer nuevos horizontes a la productividad de un país y, adicionalmente, generar múltiples beneficios orientados a la siembra y producción de los cultivos.

Finalmente, lograr la implementación de tecnología en el sector cafetalero es tarea que le corresponde tanto a las instituciones educativas como al Estado. Un ejemplo es

Procolombia, una entidad encargada de promover el turismo, la inversión extranjera, las exportaciones y la imagen del país, la cual ha capacitado a comerciantes y productores agrícolas sobre los procesos de exportación directamente hasta el cliente final, a través de plataformas digitales como eBay y Amazon (Hernández Yáñez & Flores Montes, 2021).

3. CONCLUSIONES

La propuesta de cadena de suministro para los granos de café considera mejoras tomando en consideración la opinión de los expertos, actores de la cadena y la revisión de literatura relacionada. Estas mejoras permitirían obtener mayores volúmenes de producto terminado de una calidad estandarizada y mejor. Al mismo tiempo, gracias a la nueva tecnología que puede implementarse, se elevaría la productividad, se atendería la demanda de los diferentes clientes internacionales y se cumpliría con sus requerimientos, lo cual impactaría en un aumento en la exportación. Esto permitiría mejorar la competitividad del país para enfrentarse a otros productores que, en la actualidad, le llevan la delantera en el mercado internacional.

Es importante mencionar que, para lograr que la cadena tenga un mejor desempeño, es vital considerar la participación del Gobierno, ya que gran parte de los problemas se podrían solucionar con una mejor gestión. Por ejemplo, la obtención de insumo en el momento adecuado, la inversión en proyectos para mejorar las vías de transporte, y el apoyo financiero al sector para la mejora en términos de tecnología, competitividad y rentabilidad.

Es necesario que las universidades participen en el desarrollo de investigaciones, sobre todo en el ámbito tecnológico, para brindar dichos conocimientos a los actores de la cadena y que ellos puedan incorporarlos. Por otro lado, el aumentar la investigación sobre la implementación de nuevas tecnologías permitiría actualizar conocimientos y, a la vez, facilitar la identificación y aplicación de las oportunidades de mejora que tiene la cadena de suministro.

REFERENCIAS

- Arboleda, O., Zabala, H., & Cueto, E. (2020). El cooperativismo caficulator en Colombia: el caso de la Cooperativa de Caficultores de Andes en el Departamento de Antioquia, 1927-2015. *América Latina en la historia económica*, 27(1), 1-26. <https://doi.org/10.18232/alhe.1025>
- Aruquipa, L. (2021, 27 de agosto). Gobierno Regional Puno. Gobierno Regional invierte más de 7 millones para producción y comercialización de Café. *Gob.pe*. <https://www.gob.pe/institucion/regionpuno/>

noticias/513804-gobierno-regional-invierte-mas-de-7-millones-para-produccion-y-comercializacion-de-cafe

- Benítez Urbano, O. J. & Campo Ceballos, D. A. (2018). Evaluación de la calidad del café tostado utilizando herramientas de procesamiento digital de imágenes. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, (30), 32-43. Vista de Evaluación de la calidad el café tostado utilizando herramientas de procesamiento digital de imágenes | REVISTA DE LA ASOCIACION COLOMBIANA DE CIENCIAS BIOLOGICAS (revistaaccb.org)
- Café: Perú exportaría 3.8 millones de sacos en 2022 (2022, 29 de abril). *Agro Perú*. [https://www.agroperu.pe/cafe-peru-exportaria-3-8-millones-de-sacos-en-2022/#:~:text=Desde%20el%20punto%20de%20vista,un%20conservador%20\(3.8%20millones\)](https://www.agroperu.pe/cafe-peru-exportaria-3-8-millones-de-sacos-en-2022/#:~:text=Desde%20el%20punto%20de%20vista,un%20conservador%20(3.8%20millones))
- Café peruano camino a mejorar su rendimiento (2023, 29 de agosto). *Agencia Agraria de Noticias*. <https://agraria.pe/noticias/cafe-peruano-camino-a-mejorar-su-rendimiento-32996>
- Cámara Peruana del Café y Cacao (s.f.). Documentación para exportación de café. <https://camcafeperu.com.pe/ES/exportacion.php>
- Cámara Peruana del Café y Cacao (2017). *Estudio de mercado del café peruano. Posición internacional y el segmento de café sostenibles*. Proyecto Café & Clima. <https://camcafeperu.com.pe/admin/recursos/publicaciones/Estudio-de-mercado-del-cafe-peruano.pdf>
- Cámara Peruana del Café y Cacao (2021, 7 de setiembre). Efectos de la escasez de los contenedores en el comercio internacional de café. Efectos de la escasez de los contenedores en el comercio internacional de café (camcafeperu.com.pe)
- Chango Yosa, M. A., & García Regalado, J. O. (2021). Análisis de la competitividad de las exportaciones de café de Ecuador versus Colombia y Brasil hacia el mercado de USA. *X-Pedientes económicos*, 5(12). Superintendencia de compañías, valores y seguros de Ecuador. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/392/3922449005/html/>
- Comex Perú. (2022, 2 de setiembre). Exportaciones de café crecen un 328 % en el primer semestre del 2022. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/exportaciones-de-cafe-crecen-un-328-en-el-primer-semestre-de-2022>
- Contreras-Medina, D. I., Contreras-Medina, L. M., Pardo-Nuñez, J., Olvera-Vargas, L. A. & Rodríguez-Peralta, C. M. (2020). Roadmapping as a driver for knowledge creation: a proposal for improving sustainable practices in the coffee supply

chain from Chiapas, Mexico, using emerging technologies. *Sustainability*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/su12145817>

- Coordinadora Estatal de Comercio Justo (2019, 28 de noviembre). El Comercio Justo garantiza ingresos dignos para las organizaciones productoras de cacao y café. <http://comerciojusto.org/el-comercio-justo-garantiza-ingresos-dignos-para-las-organizaciones-productoras-de-cacao-y-cafe/>
- Cruces Flores, D., Valdivia Capellino, G., Ramírez Valdivia, C., Álvarez, J.M. & Raymundo, I. C. (2019). A cooperative logistics management model based on traceability for reducing the logistics costs of coffee storage in Peru's agro-export sector. [Presentación de paper]. International Conference on Industrial and Business Engineering - ICIBE 2019. *Association for Computing Machinery*, 49-52. <https://doi.org/10.1145/3364335.3364380>
- Díaz Vargas, C. & Carmen Willems, M. (2017). *Línea de Base del Sector Café en el Perú. Documento de Trabajo*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/2017/pncafe/sector-cafe-peru.pdf>
- Filassi, M. & Leda, A. (2022). Competitiveness drivers for soybean exportation and the fundamental role of the supply chain. *Revista de Economía e Sociología Rural*, 60(3). <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.235296>
- García, L., Cárdenas, E., de Weck, C., & La Torre, C. (2009). Cooperativistas y el café nuestro de cada mañana, en *Luces y sombras del poder* (321-338). DESCO. https://biblioteca.clacso.edu.ar/Peru/desco/20100313020820/14_Selva.pdf
- Guardián-Sedano, J. E., & Trujillo-Velásquez, I. A. (2019). Cadena de suministros para la exportación de granos andinos a Estados Unidos. *Ingeniería Industrial*, (37), 15-31. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2019.n037.4540>
- Hernández Yáñez, C. & Flores Montes, J. (2021). Propuesta de ruta de transformación digital para dos fincas cafeteras ubicadas en los municipios colombianos de Acevedo (Huila) y Vergara (Cundinamarca). [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás]. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33540>
- Instituto Nacional de Calidad INACAL (2021). *Guía de Implementación de la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 8455:2018. Café verde. Guía de almacenamiento y transporte*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2248038/GIP%20105%20-%20Gu%C3%ADa%20de%20Implementaci%C3%B3n%20de%20la%20Norma%20T%C3%A9cnica%20Peruana%20NTP-ISO%208455-2018%20Caf%C3%A9%20verde.%20Gu%C3%ADa%20de%20almacenamiento%20y%20transporte.pdf>

- Junta Nacional del Café (2022). Producción de café pergamino 2022-2021, según regiones. <https://juntadelcafe.org.pe/wp-content/uploads/2023/02/PRODUCCION-DE-CAFE-PERGAMINO.pdf>
- Kittichotsawat, Y., Jangkrajarn, V. & Tippayawong, K.Y. (2021). Enhancing coffee supply chain towards sustainable growth with big data and modern agricultural technologies. *Sustainability*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/su13084593>
- Kumar, V., Nwakama Chibuzo, E., Garza-Reyes, J.A., Kumari, A., Rocha-Lona, L. & López-Torres, G. C. (2017). The impact of supply chain integration on performance: evidence from the UK food sector. *Procedia Manufacturing*, 11, 814-821. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.183>
- Matos, D., Mesia, R., Ramos, E. & Ruiz, S. (2019). Organic coffee supply chain source process integration: a peruvian case. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(6), 133-145. <http://hdl.handle.net/10757/653826>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2018). *Plan Nacional de Acción del Café Peruano 2018-2030. Una propuesta de política para una caficultura moderna, competitiva y sostenible*. <https://www.undp.org/es/peru/publications/plan-nacional-de-acci%C3%B3n-del-caf%C3%A9-peruano-2018-2030>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020). *Plan estratégico institucional - PEI 2020-2023*. PEI_2020-2023_MTC.pdf (www.gob.pe)
- Ngoc Bui, D. & Thi Doan, B. (2020). How does supply chain management affect financial performance? Evidence from coffee sector. *Uncertain Supply Chain Management*, 8(4), 829-844. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2020.6.002>
- Pérez Carmona, A. (2021, 24 de marzo). Los eslabones de la cadena de suministro. *Meetlogistics*. <https://meetlogistics.com/cadena-suministro/los-eslabones-la-cadena-suministro/>
- Organización Internacional del Café (2022). *Exports of all forms of coffee by exporting countries to all destinations*. <https://www.ico.org/prices/m1-exports.pdf>
- Organización Internacional del Trabajo (s.f.). *Desarrollo económico y social*. <https://www.ilo.org/global/topics/economic-and-social-development/lang--es/index.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020). FAO en Guinea Ecuatorial. En Guinea Ecuatorial se emprenden acciones para la reducción del impacto ambiental. <https://www.fao.org/guinea-ecuatorial/noticias/detail-events/es/c/1259988/>
- Robayo, F. (2014). *Cooperativa de Cafeteros de Guaxupé, un modelo integral de desarrollo cooperativo*. Misión de estudios para la competitividad del café. <https://docplayer.>

es/94945497-Cooperativa-de-cafeteros-de-guaxupe-un-modelo-integral-de-desarrollo-cooperativo-1.html

- Ruiz Martinez, W. & Ferro Escobar, R. (2020). Internet of Things (IoT) system to monitor environmental variables in a coffee crop. *Journal of Agriculture and Horticulture Research*, 3(1).
- Sobreexplotación de guano de isla para este año pone en alerta a productores orgánicos. (2022, 2 de mayo). *Agencia Agraria de Noticias*. <https://agraria.pe/noticias/sobreexplotacion-de-guano-de-isla-para-este-ano-pone-en-aler-27788>
- Todorovic, V., Maslaric, M., Bojic, S., Jokic, M., Mircetic, D., & Nikolicic, S. (2018). Solutions for more sustainable distribution in the short food supply chains. *Sustainability*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/su10103481>
- Veritrade (2023). Exportaciones 090111: café sin tostar: sin descafeinar. <https://www.veritradecorp.com/es/peru/importaciones-y-exportaciones/cafe-sin-tostar-sin-descafeinar/090111>
- Villalva-Cataño, A., Ramos-Palomino, E., Provost, K. & Casal, E. (2019). *A model in agri-food supply chain costing using ABC Costing: a empirical research for Peruvian coffee supply chain*. [Presentación de paper]. International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC). <https://doi.org/10.1109/IESTEC46403.2019.00009>

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA EMPRESA GANADERA LÁCTEA DE LA REGIÓN AREQUIPA, PERÚ, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE *LEAN MANUFACTURING*

CARLOS NICOLÁS PUERTAS ARAGÓN*

<https://orcid.org/0009-0001-8147-7702>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

DANIEL EFRAÍN LOZADA RIVERA

<https://orcid.org/0009-0008-8806-571X>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 9 de octubre del 2023 / Aceptado: 20 de noviembre del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n.6667>

RESUMEN. Se investiga el impacto de la metodología *lean manufacturing* en el proceso de ordeño de una empresa ganadera en Arequipa. Primero, se reconocen el contexto, la situación actual de la industria y la problemática. Seguidamente, se comenta la metodología utilizada. Luego, se muestran los resultados: pretest, aplicación de 5S, *kanban* y *housekeeping*, y postest. Finalmente, se discuten los hallazgos y se presentan las conclusiones. La aplicación de la metodología demuestra ser efectiva en la empresa, pues se logra un incremento de 12,66 % en la productividad. Asimismo, la organización, estandarización de procesos y eliminación de elementos que no agregan valor permiten una reducción de las demoras en 25 %. Además, las mermas por volumen de leche producida disminuyen en 16,28 % por la limpieza e implementación de controles de salubridad. Al reducir el tiempo del proceso, el consumo de energía y los insumos utilizados, los costos directos sobre los ingresos descienden en 9,34 %.

PALABRAS CLAVE: vacas lecheras / productividad / producción eficiente / Arequipa (Perú)

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: 20184322@aloe.ulima.edu.pe; 20181068@aloe.ulima.edu.pe

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

PRODUCTIVITY INCREASE IN A DAIRY CATTLE COMPANY IN THE AREQUIPA REGION, PERU, APPLYING LEAN MANUFACTURING

ABSTRACT. This article presents the result of research on the impact of lean manufacturing methods applied to the milking process of a livestock company in Arequipa. It presents the industry's context, current state, and problems. Then, it discusses the methodology and presents the pre-test status, 5S, kanban, and housekeeping implementation, as well as the post-test status. Finally, it discusses the findings and conclusions. The study shows that lean manufacturing methods are effective in the company, achieving a 12,66 % increase in productivity. Additionally, organization, process standardization, and elimination of non-value-added elements lead to a 25 % reduction in delays. Furthermore, milk loss decreased by 16,28 % due to cleanliness and the implementation of health controls. By reducing process time, energy consumption, and input usage, direct costs on income decreased by 9,34 %.

KEYWORDS: dairy cattle / productivity / lean manufacturing / Arequipa (Peru)

1. INTRODUCCIÓN

Los eventos coyunturales sucedidos entre los años 2020 y 2023, como la pandemia del COVID-19, el conflicto entre Rusia y Ucrania y los conflictos sociopolíticos internos tras la salida del expresidente Pedro Castillo, evidencian la precariedad del sector ganadero lácteo en el Perú. La agricultura y la ganadería son sectores fuertemente golpeados debido a los impedimentos para acceder a los mercados por las restricciones impuestas por la coyuntura política, la ineficiencia en el manejo del negocio, el incremento del precio de los insumos, entre otros factores.

En el Perú, el 20,7 % de la población censada vive en la ruralidad. De ellos, el 79,1 % se dedica a la agricultura, pesca o minería (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017). En las medianas y pequeñas empresas (mypes) y en zonas rurales, la agricultura y ganadería son complementarias, dado que la ganadería permite obtener abono a bajo precio y la agricultura provee de alimentos al ganado (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2019). Los departamentos que más leche producen son: Cajamarca (18,2 %), Arequipa (17,9 %) y Lima (17,8 %); sin embargo, los que muestran mayor crecimiento en los últimos años son Ica (11,65 %), Cusco (10,54 %) y Junín (10,46 %) (MIDAGRI, 2019).

En el año 2020, el consumo anual per cápita de leche fluida en el Perú fue de 81 kilogramos (MIDAGRI, 2021). Sin embargo, dado que se recomienda que este consumo sea de 120 kilogramos per cápita (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO, 2019), existe una brecha de 39 kilogramos de leche. Este desnivel es cubierto en gran parte por las importaciones de leche en polvo, que del 2011 al 2021 han aumentado en 117 % (Salazar & Torres, 2022). De acuerdo a Piskulich (2001), la mayor parte de la leche producida proviene de negocios artesanales y pequeñas empresas, que no logran abastecer al mercado con la cantidad y calidad necesarias.

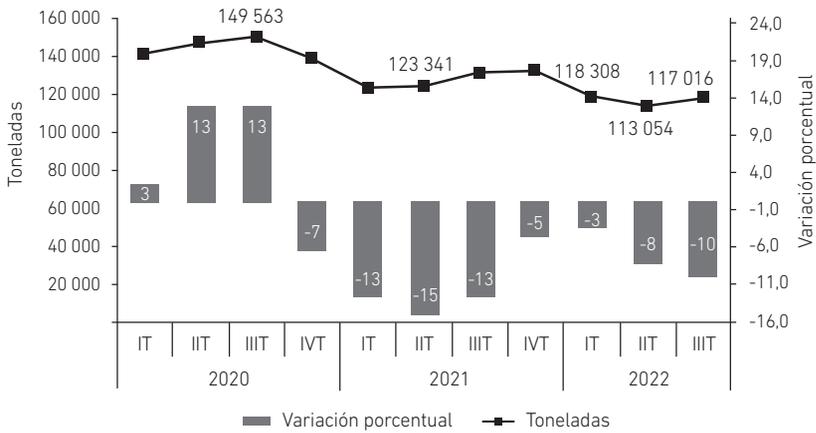
En el Plan Nacional de Desarrollo Ganadero, que está siendo ejecutado por el MIDAGRI desde el 2017 hasta el 2027, se reconocen los principales problemas que afectan a las empresas ganaderas, los cuales son: la gestión de recursos naturales, la productividad por especie, el escaso valor agregado del producto, la cobertura de servicios para el acceso al mercado y la debilidad en la institucionalidad y normativa (MIDAGRI, 2017).

La Figura 1 muestra la disminución en el acopio del producto desde el tercer trimestre del 2020. Las pymes muestran bajos rendimientos, que evidencian grandes brechas productivas, tecnológicas y de infraestructura (MIDAGRI, 2017). Debido a esto, se presentan ineficiencias a lo largo del proceso productivo, que se relacionan con las mermas generadas y las demoras por actividad.

Además, como estas empresas suelen carecer de un plan de producción claro, esto aumenta los costos debido a la falta de sustento técnico en la asignación de recursos (Onono et al., 2017). En ocasiones, la toma de decisiones se basa únicamente en la experiencia de los ganaderos.

Figura 1

Perú: Acopio trimestral de leche fresca de vaca, 2020-2022



Nota. Recuperado de MIDAGRI (2022).

En un análisis integral de la industria realizado por el MIDAGRI en el 2017, se señala que una empresa ganadera grande en el Perú debería tener una producción anual de 4,1 toneladas de leche por vaca, mientras que en la empresa en la que se realizó esta investigación es solo de 3,7 toneladas. La brecha es aún mayor si se compara la producción local con la de la Unión Europea, el mayor productor de leche del mundo, que alcanza las 7,3 toneladas.

De esta forma, se identifica que el problema principal de la empresa en la que se trabajó es la baja productividad en el proceso de ordeño, debido a las ineficiencias, demoras y mermas. Por ello, el objetivo principal es incrementar la productividad y rentabilidad de la empresa, aplicando herramientas de *lean manufacturing*, siendo 5S la principal, y *housekeeping* y *kanban* las complementarias.

No existen investigaciones que apliquen las mismas herramientas en la industria láctea, pero se recopilieron algunas relacionadas con el tema (ver Tabla 1). Destaca el trabajo de Samarín et al. (2020), que se centró en identificar variables climatológicas e infraestructurales para incrementar la producción de leche y minimizar el uso de recursos como energía y agua, utilizando un modelo de optimización basado en índices energéticos para disminuir este consumo y otros costos operativos. Drews et al. (2018), por su parte, utilizaron un modelo de ecuaciones estructurales (SEM) para optimizar factores de producción y obtener eficiencia económica y biológica. Campos Benvenega y de Alencar (2021) optimizaron un modelo matemático para reducir demoras en la duración del proceso de ordeño. Por otro lado, Adamie y Hansson (2021) señalaron el ordeño como fuente principal de pérdida de leche, representando el 15 % de los costos

de producción (Gözener & Mollaoğlu, 2021). En lo que respecta al *lean manufacturing*, Naeemah y Wong (2022) analizaron el impacto de la herramienta en la sostenibilidad, y Panayiotou et al. (2022) la aplicaron en pymes, considerando limitaciones económicas y tecnológicas.

Tabla 1

Tabla resumen de revisión de la literatura

País de origen	Tema	Autores
Kenia	Productividad en diferentes sistemas de producción de ganado en Kenia	Onono et al. (2017)
Turquía	Costos de producción de leche en granjas de ganado lechero: un estudio de caso del distrito de Bafra, provincia de Samsun, Turquía	Gözener y Mollaoğlu (2021)
Suiza	Racionalización de la ineficiencia en la producción de leche: evidencia de un enfoque a lo largo del tiempo	Adamie y Hansson (2021)
Alemania	Una evaluación de la eficiencia en la producción de leche utilizando modelado de ecuaciones estructurales	Drews et al. (2018)
Rusia	Optimización de índices de potencia y económicos de una granja para el mantenimiento de ganado	Samarin et al. (2020)
Francia/EE. UU./UK/Brasil	Evaluación de compensaciones ambientales y económicas en estrategias de alimentación de ganado utilizando optimización multiobjetivo	Marques et al. (2022)
República Checa	Análisis y optimización del proceso de producción en una empresa procesadora de leche	Jablonsky y Skocdopolova (2017)
Malasia	Impactos positivos de las herramientas de fabricación esbelta en aspectos de sostenibilidad: una revisión sistemática	Naeemah y Wong (2022)
Grecia	Uso de <i>lean six sigma</i> en pequeñas y medianas empresas para iniciativas de mejora de bajo costo/ alto impacto: un estudio de caso	Panayiotou et al. (2022)
Croacia	El impacto del uso de diferentes herramientas de fabricación esbelta en la reducción de desperdicios.	Leksic et al. (2020)

2. METODOLOGÍA

La presente investigación siguió una metodología propia de un estudio de caso, con diseño de pre y postest. Para tal efecto, se llevaron a cabo cuatro fases consecutivas. En la primera, se analizó detalladamente el proceso productivo de la producción de leche a través de un diagrama de actividades del proceso (DAP) y el flujograma. En la segunda fase se utilizó el diagrama de Ishikawa y Pareto para identificar los problemas y sus causas principales. Asimismo, se definieron y validaron las variables de la situación inicial (pretest).

En la tercera fase, se propuso una solución para los problemas encontrados, aplicando la técnica 5S, junto a *housekeeping* y *kanban*, todas herramientas *lean manufacturing*. En la cuarta y última fase, se volvieron a medir los indicadores una vez aplicadas las mejoras (postest) para verificar el impacto de la propuesta en la productividad (ver Tabla 2).

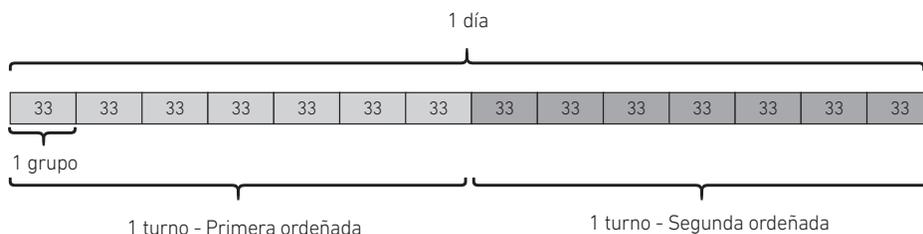
Tabla 2
Secuencia metodológica

Fase	Nombre	Técnicas	Herramientas	Validación
1	Identificación y análisis del proceso	Análisis del proceso	DAP, flujograma	Verificación en campo.
2	Identificación problemas y causas (pretest)	Análisis de causas raíz	Ishikawa, Pareto	Verificación con personal de la empresa.
3	Propuesta de solución	<i>lean manufacturing</i>	5S, <i>housekeeping</i> , <i>kanban</i>	Juicio crítico de expertos.
4	Validación de la propuesta (postest)	Medición de tiempos, producción, mermas	Medidas de tendencia central, desviación estándar	Juicio crítico de expertos.

El caso de estudio se centró en el proceso productivo de leche en la empresa Santa Gabriela SAC, con RUC 20498542264, ubicada en Avenida La Paz 511, en el cercado de Arequipa, Perú. Esta empresa se dedica a la producción agrícola y lechera y cuenta con 231 vacas lecheras.

El día laboral se divide en dos turnos (mañana y tarde). En cada turno se ordeñan siete grupos, cada uno compuesto por 33 vacas. Cada vaca es ordeñada dos veces por día; es decir, una vez en el turno de la mañana y otra vez en el de la tarde. Para calcular los indicadores en el pretest y postest, se utilizó el muestreo aleatorio simple, considerando un grupo de 33 vacas como unidad de análisis. El tamaño de la muestra es de 70 grupos de vacas, pues se consideraron los 14 grupos en cinco días aleatorios. Por cada grupo, se midió la producción total, mermas, tiempo total y demoras, antes y después de aplicar la herramienta, para así poder calcular los indicadores y el impacto producido. Asimismo, se utilizaron probetas, baldes con medidas, cronómetros y tablas en Excel para recolectar y analizar los datos.

Figura 2
Organización de ordeño durante un día



3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las fases descritas. En primer lugar, para evaluar la factibilidad de la aplicación de la herramienta, fue necesario conocer el proceso, medir los tiempos e identificar las características de cada actividad.

Se analizó detalladamente cada actividad del proceso con el apoyo de los operarios y demás trabajadores de la empresa, midiendo los tiempos y demoras. Asimismo, se identificaron nueve operaciones y tres inspecciones.

Actividades del proceso:

1. Traslado a la zona de ordeño: las vacas se dirigen a la zona de ordeño, donde se les acomoda y asegura para evitar que se lastimen.
2. Ingreso y posicionamiento: las vacas deben ingresar a la línea de ordeño de forma calmada para liberar oxitocina y permitir la extracción de leche. Las rejas se cierran para evitar que las vacas se muevan y dañen la maquinaria o se hagan daño.
3. Preparación de las herramientas: las bombas de vacío se encienden para verificar su funcionamiento. Además, se preparan los materiales de limpieza.
4. Inspección previa al *dipping*: se verifica que las ubres de las vacas estén libres de heridas o alguna condición que pueda dañarlas o impedir la extracción de leche.
5. Limpieza: las ubres se esterilizan con yodo y agua para evitar contaminar la leche. Asimismo, se les aplica humectantes con la finalidad de protegerlas.
6. Presellado: se les aplica el producto sellador para adherir la ubre al succionador. Esto sirve para evitar agentes contaminantes.
7. Inspección presellado: se verifica que se haya aplicado la cantidad correcta y de la manera adecuada.
8. Posicionamiento de succionadores: los succionadores se posicionan manualmente en las ubres.
9. Inspección succionadores: se verifica que haya correcta sujeción, succión y extracción de leche.
10. Ordeño: los succionadores funcionan quince minutos por turno, aproximadamente.
11. Registro de tiempo y cantidades: se registra la cantidad de leche que va ingresando a los tanques, la que se pierde y el tiempo que toma cada turno.
12. Liberación: se quitan los succionadores y se retiran las vacas.

13. Limpieza y traslado: las vacas son trasladadas a sus corrales para alimentarlas, mientras que se limpia la zona de ordeño con mangueras a presión para retirar todo desperdicio.

La Figura 3 muestra el diagrama de actividades del proceso (DAP), en el cual se representan las operaciones e inspecciones descritas.

Figura 3

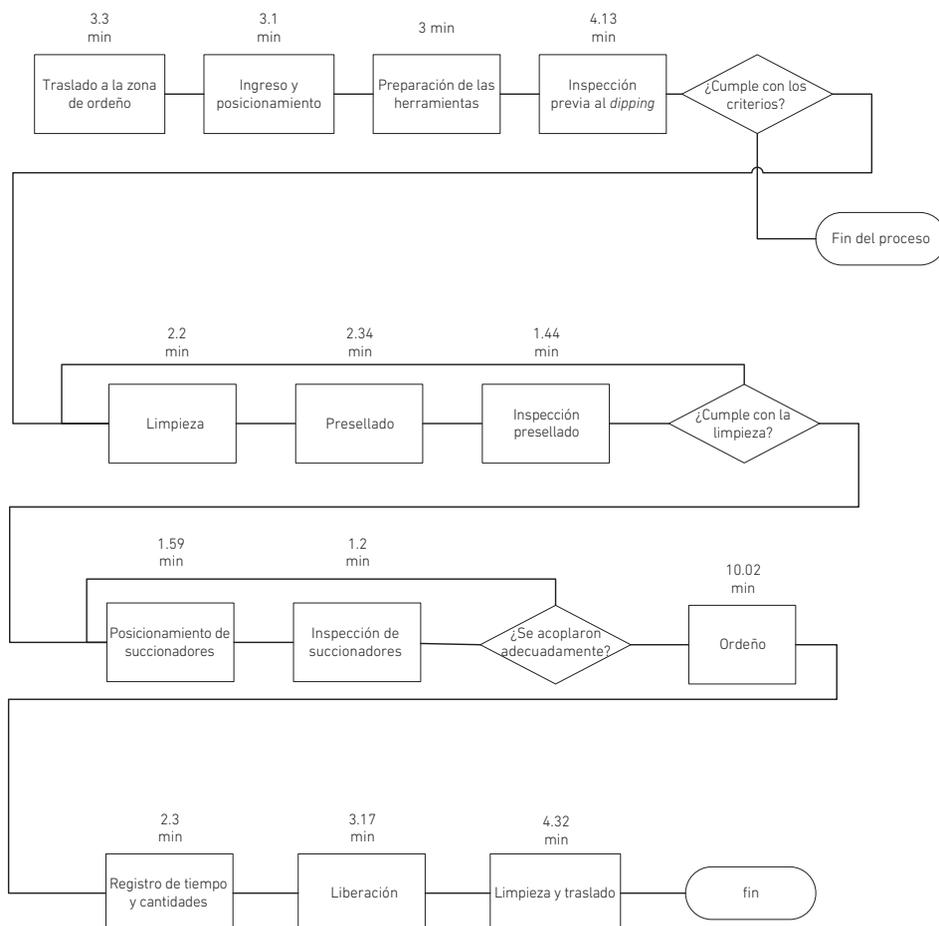
Diagrama de actividades del proceso (DAP)

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ORDEÑO									
Diagrama No. 1	Hoja No. 1	OPERARIO <input type="checkbox"/>		MATERIAL <input type="checkbox"/>		EQUIPO <input checked="" type="checkbox"/>			
Objetivo: Revisión de las tareas dentro del proceso de ordeño		RESUMEN							
		ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTO	ECONOMIA				
Proceso analizado: Proceso de ordeño de un grupo de 33 vacas		Operación	10						
Método: Actual <input checked="" type="checkbox"/> Propuesto <input type="checkbox"/>		Transporte	2						
Localización: Santa Rita de Siguan, Arequipa, Perú.		Espera	0						
Operario: Trabajador		Inspección	4						
Elaborado por: Daniel Lozada Nicolás Puertas		Almacenamiento	1						
Fecha: 16/8/2022		Distancia (m)							
Aprobado por: Médico Veterinario Saúl Laruta		Tiempo (hr/hombre)	4 H-H						
Fecha: 19/12/2022		Costo							
Comentarios		Total							
		Se realizó el diagrama de procesos en base a un turno de ordeño. Un turno consta de 33 vacas del total de 231							
Descripción	Cantidad	Distancia	Tiempo	Símbolo					Observaciones
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Ingreso y amarre en posición de ordeño	1	7 m	3.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Se cierran las rejas de ordeño	1	-	3.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Encendido de las máquinas	1	-	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Inspección 1 previa al dipping	1	-	4.13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Asegurar que no haya residuos
Presellado	1	-	2.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Limpieza	1	-	2.34	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Con yodo
Inspección de limpieza	1	-	1.44	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Posicionamiento de succionadores	1	-	1.59	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Colocar 4 succionadores por vaca
Inspección de correcta succión	1	-	1.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Verificar que salga leche
Extracción	1	-	10.02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Se tabula la cantidad y tiempo de producción	1	-	2.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Se libera a la vaca	1	-	3.17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Traslado y limpieza de zona	1	7 m	4.32	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Limpieza con manguera
Almacenamiento	1	-		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
TOTAL	14	14 m	42.11						

La Figura 4 presenta el diagrama de bloques con los tiempos promedio de cada actividad, lo cual proporciona una mejor visibilidad de la secuencia del proceso y permite identificar las actividades que requieren más tiempo en ejecutarse. Se identificó que la actividad de ordeño es la que consume mayor tiempo y afecta directamente en la cantidad de leche producida y la salud del animal.

Figura 4

Diagrama de bloques

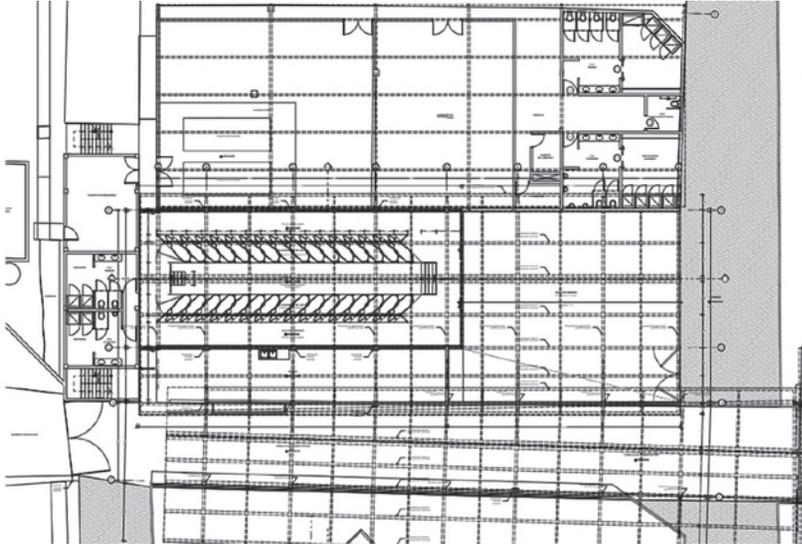


Asimismo, la sala de ordeño se divide en tres zonas principales:

1. Zona de espera: donde los animales se agrupan para esperar su turno de ordeño. Suelen llegar grupos separados por cada corral y entran sin orden específico a la zona de ordeño.
2. Zona de ordeño: donde las vacas se acomodan en filas alrededor de las herramientas y equipos para la extracción de leche.
3. Zanjón: ubicado en el medio de las filas de ordeño, se encuentra a un metro de profundidad para una mejor accesibilidad a las ubres del animal.

Figura 5

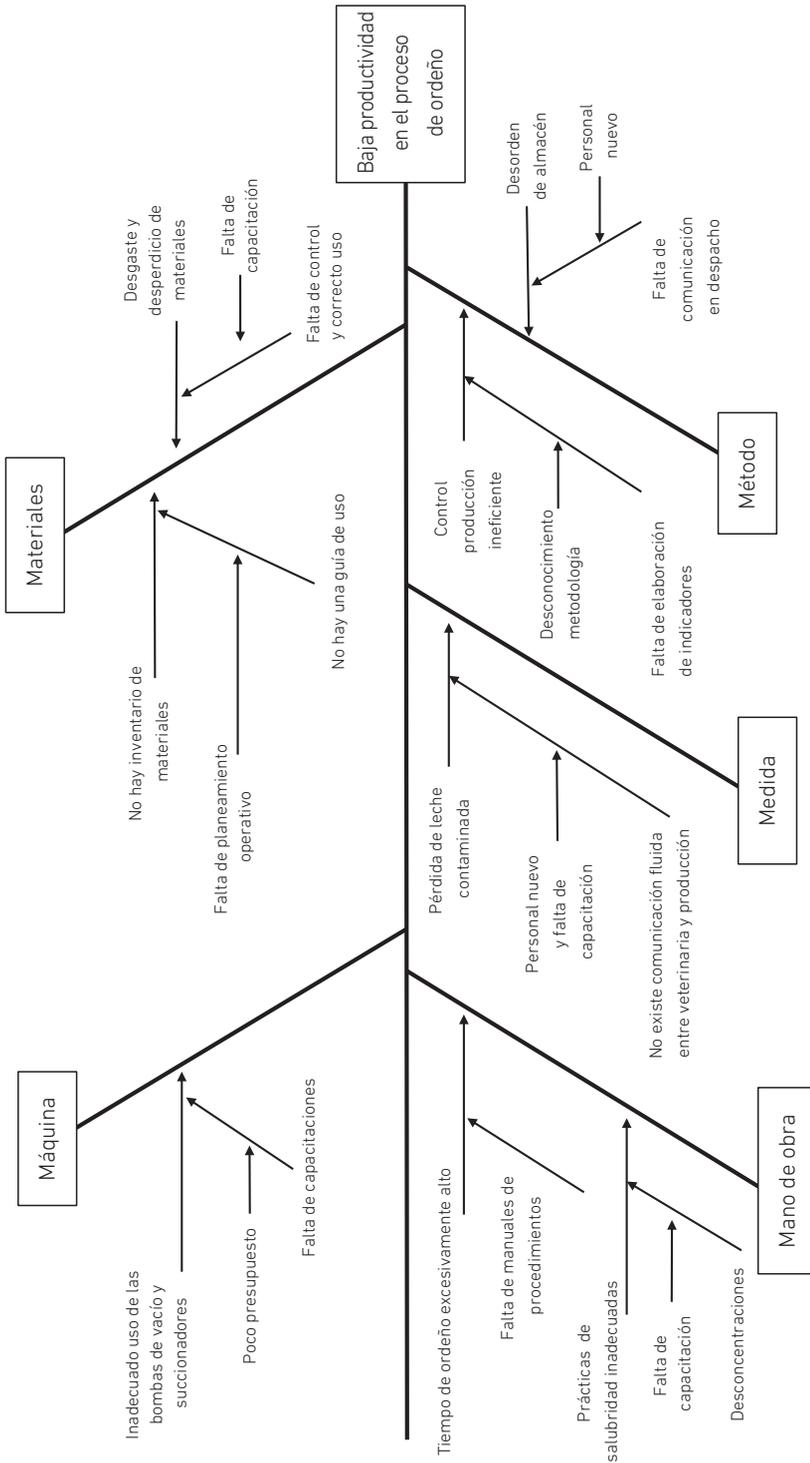
Plano de la sala de ordeño y espera



Luego de analizar el proceso, se realizó un diagrama de Ishikawa para examinar sistemáticamente las causas de las ineficiencias en el proceso de ordeño. Se priorizaron cinco factores: maquinaria, materiales, mano de obra, medida y método (ver Figura 6).

Asimismo, se identificaron dos tipos de costos principales en la empresa: la alimentación y los relacionados con el proceso de ordeño, como la mano de obra directa, la energía eléctrica y los materiales de limpieza. La alimentación representa aproximadamente el 70 % del costo total; sin embargo, reducirlo es menos viable, ya que los precios del alimento concentrado y forraje son determinados por el mercado internacional.

Figura 6
Diagrama de Ishikawa del proceso de ordeño



De este modo, se definieron las variables mostradas en la Tabla 3. En primer lugar, se encuentra la variable de productividad, que es el problema principal que se busca mejorar. Se calcula dividiendo la producción de leche (en litros) de las 33 vacas que ingresan en cada ronda, entre el tiempo que toma todo el proceso, desde que ingresan a la línea de ordeño hasta que vuelven a sus corrales. La segunda y tercera variable se establecieron en base a las causas encontradas en el análisis del proceso e identificación de causas raíz. La variable de mermas es la leche desperdiciada, la cual se genera en las operaciones 1, 6, 7 y 10, por el uso inadecuado de los instrumentos o la falta de orden. El tercer indicador son las demoras por ciclo, las cuales se definen como tiempos adicionales a cada actividad, por circunstancias no recurrentes, como la indisponibilidad de herramientas o dificultades de uso. Finalmente, se incluye un indicador económico para medir el impacto en la rentabilidad: se obtiene de dividir los costos de mano de obra directa más los costos por el consumo de electricidad y los productos utilizados directamente en el proceso de ordeño, entre los ingresos.

Tabla 3

Variables e indicadores del pretest

Variables	Indicadores	Pretest
Productividad (tiempo)	$\frac{\text{Producción de leche (L)}}{\text{Tiempo de cada ciclo (h)}}$	623,34 L/h
Mermas	$\frac{\text{Mermas (L)}}{\text{Producción de leche (h)}}$	0,86 L/h
Demoras	Demoras en cada ciclo (min)	4,68 min
Costos directos	$\frac{\text{Costos directos (S/)}}{\text{Ingresos (S/)}}$	4,71 %

A continuación, se aplicó la metodología *lean manufacturing*, de la que se seleccionaron tres herramientas específicas: 5S, *housekeeping* y *kanban*. En base a las 5S, se tuvieron en cuenta los siguientes pasos:

- “Paso 1. Clasificar las herramientas de trabajo.
- Paso 2. Organizar las herramientas.
- Paso 3. Limpiar los espacios de trabajo.
- Paso 4. Estandarizar los procedimientos.
- Paso 5. Seguir mejorando” (Procem Consultores, 2019).

Se escogieron las herramientas *housekeeping* y *kanban* con el objetivo de maximizar el impacto en cada uno de los pasos descritos.

Paso 1. *Seiri* (clasificar)

Primeramente, se clasificaron las herramientas y materiales que intervenían de manera directa en cada actividad (ver Tabla 4).

Tabla 4

Herramientas por actividad

	Actividad	Herramientas y materiales
Actividad 1	Traslado a la zona de ordeño.	-
Actividad 4	Limpieza.	Yodo y papel periódico.
Actividad 5	Presellado.	Sellador de ubre.
Actividad 8	Registro de tiempo y cantidades.	Pizarra y plumón.
Actividad 10	Traslado y limpieza.	Detergente ácido y alcalino, escoba, manguera, balde y trapeadores.

Luego, se definió la manera en la que los materiales deberían clasificarse, almacenarse e inventariarse. Para ello se dividieron en tres categorías: materiales para la limpieza de áreas o herramientas, materiales para la limpieza del animal y materiales administrativos (ver Tabla 5).

Tabla 5

Clasificación de materiales

Categoría	Materiales
Material limpieza áreas	Detergente ácido y alcalino, escoba, manguera, balde y trapeadores.
Material limpieza animal	Sellador de ubre, yodo y papel periódico.
Materiales administrativos	Pizarra y plumón.

Para separar los materiales de esta forma, se consideró la escalabilidad; es decir, que en el futuro más materiales o herramientas puedan almacenarse cuando se requiera. Otro motivo es la independencia, pues cada una de las categorías tiene un objetivo diferente. Es necesario que los materiales que tengan contacto con el animal estén aislados del resto, para no afectar la inocuidad del proceso. Además, los materiales administrativos deben estar fuera del área de ordeño.

Paso 2. *Seiton* (ordenar)

Luego, se organizaron los materiales para que estén disponibles cuando requieran ser utilizados. Como propuesta de solución, se diseñó una tarjeta informativa para cada producto, con el fin de identificar la ubicación dentro de la sala de ordeño y la cantidad a utilizar, y así controlar el inventario (ver Tabla 6).

Tabla 6

Tarjeta informativa de productos y materiales

Nombre del artículo	
Categoría:	Comentarios:
<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza • Animal • Administrativo 	
Fecha:	Cantidad:
Localización en el ordeño:	Frecuencia de uso:
Firma	Firma fin

Asimismo, se calcularon las cantidades que se deberían utilizar a partir de las fichas técnicas de los productos químicos y las buenas prácticas definidas por los ingenieros (ver Tabla 7).

Tabla 7

Identificación medidas de materiales

	Marca	Precio	Unidades	Uso por turno	Duración estimada
Yodo	Proadine	S/. 211 x 3,5 L	4 mL por litro de agua	40 mL en 10 litros de agua	43 días
Papel periódico	-	S/. 5 x kg	kg	1 kg	-
Sellador de ubre	Selladine	S/. 506,86 x 30 L	mL	500 mL	30 días
Detergente ácido	PressurePro detergente activo	S/. 597 x 10 L	mL	500 mL	10 días
Detergente alcalino	ff 30+ – detergente alcalino clorado	S/. 180 x 10 L	mL	1 000 mL	10 días

A partir de la tabla anterior, se realizó el planeamiento de los costos que se tendrían anualmente (ver Tabla 8).

Tabla 8

Costos anuales por materiales

	Cantidad	Precio por lote	Precio anual
Yodo	9 envases de 3,5 L	S/. 211 x 3,5 L	S/. 1899
Papel periódico	750 kg -	S/. 5 x 750 kg	S/. 1500

(continúa)

(continuación)

	Cantidad	Precio por lote	Precio anual
Sellador de ubre	12 galoneras de 30 L	S/. 506,86 x 30 L	S/. 6082,32
Detergente ácido	37 galoneras de 10 L	S/. 597 x 10 L	S/. 22 089
Detergente alcalino	37 galoneras de 10 L	S/. 180 x 10 L	S/. 6660

Paso 3. *Seiso* (limpiar)

En colaboración con los trabajadores se diseñó un plan de limpieza para toda el área, que se enfoca en dos zonas principalmente: el zanjón y la superficie. Esta actividad se dividió en tres fases (antes, durante y después del ordeño), para mantener altos estándares de calidad e inocuidad, y prevenir la contaminación del producto.

Antes del ordeño se deben limpiar tanto el suelo como las máquinas. La limpieza de los suelos es esencial para la seguridad de los animales y colaboradores, pues se evitan posibles accidentes por la acumulación de lodo, excremento, agua, grasas, entre otros. La limpieza de las máquinas es necesaria, ya que son instrumentos que tienen contacto directo con las vacas y el producto. Para asegurar que se realice de manera efectiva, se designó un encargado de limpieza por turno, el cual será responsable de evitar contaminantes en el producto y accidentes en el proceso. Se acordó que, dentro de cada turno, el encargado dejará su firma en un nuevo recuadro en la pizarra de seguimiento de tiempos y producción, como evidencia de que se cumplió con la limpieza del suelo y de las máquinas (ver Tabla 9).

Tabla 9

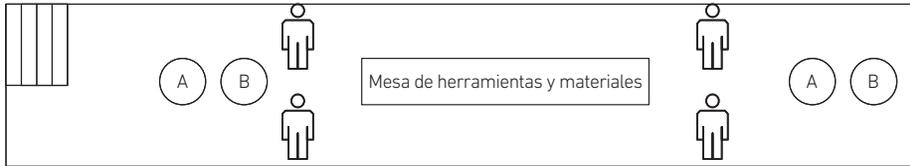
Recuadro de constancia de limpieza

Responsable turno 1	Responsable turno 2
Firma	Firma

Durante el ordeño, los colaboradores a menudo enfrentan dificultades para seguir un plan de limpieza estandarizado, debido a la rapidez del proceso. Para abordar esta necesidad, se designaron espacios específicos dentro de la zona de ordeño, en los que se ubicaron los materiales de limpieza y los basureros debidamente señalizados y diferenciados según los tipos de residuos que contienen. Dado que los operarios pasan la mayor parte del tiempo del proceso dentro del zanjón, a excepción de la entrada y salida de los animales, se colocaron los basureros dentro de esta área para que tengan acceso a ellos oportunamente (ver Figura 7).

Figura 7

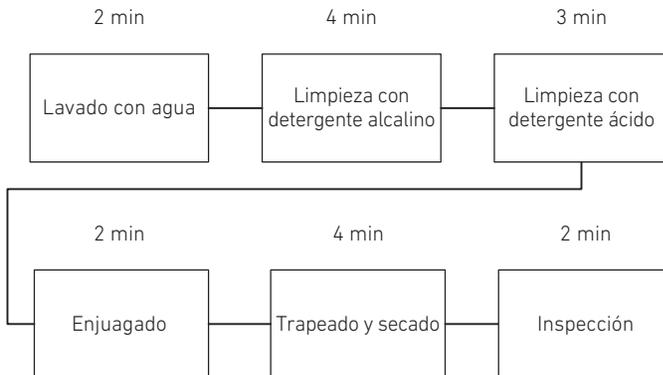
Croquis del zanjón



A partir de la figura anterior, se identificó que los puntos extremos del zanjón eran ideales para evitar obstruir el paso de los operarios, prolongar el tiempo de cada actividad y ocasionar incidentes. Después de cada turno, es esencial llevar a cabo una limpieza similar a la que se realiza antes de iniciar el proceso, pero de manera más exhaustiva para mantener las máquinas y asegurar la inocuidad de las instalaciones. En esta etapa se utilizan productos detergentes, tanto ácidos como alcalinos, para ayudar a eliminar cualquier residuo de la zona. Junto con los operarios y el ingeniero encargado, se definió un flujo con los pasos dentro de esta actividad (ver Figura 8).

Figura 8

Flujo de limpieza después de cada turno



Anteriormente se desconocía el impacto de aplicar un tipo de detergente después de otro; sin embargo, se determinó que los detergentes alcalinos son los más adecuados para emulsionar y eliminar materia orgánica como grasa, sangre, restos de heces, entre otros. Luego se utiliza el detergente ácido, que ayuda en la eliminación de restos de cal y óxido. Seguir un orden determinado en el uso de detergentes es importante.

A partir del documento elaborado por Zotal Laboratorios, se determinaron una serie de aspectos a tomar en cuenta durante esta limpieza para asegurar su eficacia y la seguridad de los colaboradores:

- “Los productos químicos de limpieza y desinfección deben almacenarse en un lugar fresco, siguiendo las indicaciones del fabricante.
- Las tapas de bidones o contenedores deben ser herméticas.
- Siempre deben usarse guantes resistentes a sustancias químicas, además de protección en los ojos y calzado protector antideslizante.
- Todos los productos químicos de desinfección y limpieza deben tener (y conservar) las etiquetas originales.
- Se debe leer la etiqueta y seguir las instrucciones del fabricante.
- Los productos químicos deben mezclarse en zonas abiertas y ventiladas.
- El detergente se mezcla con agua tibia.
- Nunca mezcle compuestos de cloro con otros detergentes o ácidos, ya que puede producir gases letales de cloro” (Zotal Laboratorios, 2023, p. 3).

Para concluir el proceso, se acordó que el mismo encargado de la limpieza inicial también sea responsable de certificar la limpieza final. Para dicho propósito, se incorporó un campo adicional en la pizarra de resumen de ordeño, similar al utilizado para la limpieza inicial (ver Tabla 9). En este nuevo campo se registrará que se han seguido los pasos según el flujograma elaborado, y el encargado certificará tal cumplimiento mediante su firma.

Paso 4. *Seiketsu* (estandarizar)

Para estandarizar el trabajo de los operarios, se establecieron criterios de cumplimiento para cada actividad, que permiten completarlas en el tiempo establecido. Asimismo, se asegura la ejecución regular y consistente de las actividades en todo el proceso (ver Tabla 10).

Tabla 10

Criterios para la estandarización de las actividades

	Proceso	Criterios
Actividad 1	Traslado a la zona de ordeño	Asegurar el movimiento continuo de las vacas hasta llegar a la zona de espera. Mover la totalidad de los animales durante el traslado.
Actividad 4	Limpieza	Ser rigurosos al momento de inspeccionar la limpieza. Utilizar solo los productos para los animales. Evitar dañar al animal. Utilizar las cantidades indicadas para evitar desperdicios.
Actividad 5	Presellado	Realizar la inspección correctamente. Asegurar el correcto trabajo del sellador. Utilizar las cantidades indicadas para evitar desperdicios.

(continúa)

(continuación)

	Proceso	Criterios
Actividad 8	Registro de tiempo y cantidades	Realizar el registro con precisión. Ser eficientes para evitar demoras. Completar registros con claridad para asegurar datos precisos.
Actividad 10	Traslado y limpieza	Mover a los animales en conjunto y de manera constante. Empezar la limpieza de atrás para adelante en la medida en que salen, con el fin de evitar la sobrecarga laboral. Seguir flujo establecido para asegurar calidad de la limpieza.

Paso 5. *Shitsuke* (disciplina)

Como parte del plan de mejora continua, los ingenieros realizarán una inspección mensual del proceso en su totalidad, para garantizar el cumplimiento de las implementaciones. Se diseñó un plan de capacitación y comunicación con los operarios, a fin de asegurar que estén equipados con el conocimiento y las habilidades necesarias para aplicar la metodología de manera efectiva. Se proporcionará información sobre los beneficios de la implementación, tanto para la empresa como para los colaboradores. Estas capacitaciones incluirán una sesión mensual dedicada a la herramienta, y habrá también la posibilidad de explorar otras herramientas y metodologías ágiles que puedan ser relevantes para la empresa. Los ingenieros de la planta y el veterinario estarán a cargo de las capacitaciones.

Además, se establecerá una dinámica mensual con los colaboradores encargados del ordeño, en la cual compartirán sus acciones para aplicar la herramienta y los beneficios que han observado. Se discutirán puntos de mejora en los que los colaboradores puedan haber avanzado. Las reuniones mensuales se registrarán en el siguiente formato, para evaluar el progreso y plantear nuevas oportunidades de mejora (ver Tabla 11).

Tabla 11

Acta de dinámica

Responsable presentación	Responsable 2
Tema por tratar	
Beneficios a la empresa y al colaborador	Cómo mantener la mejora
Oportunidades de mejora	Acciones correctivas
Firma	Firma

Herramientas de soporte: *housekeeping* y *kanban*

La integración de herramientas derivadas de *lean manufacturing*, como *housekeeping* y *kanban*, potencian la aplicación efectiva de las 5S en el contexto del proceso productivo de leche y multiplican el impacto dentro de cada una de las etapas de 5S.

En primer lugar, *housekeeping* promueve la limpieza y organización en el entorno de trabajo. Se vincula intrínsecamente con las primeras dos etapas de las 5S: *seiri* (clasificación) y *seiton* (orden). La implementación de *housekeeping* establece un ambiente organizado y limpio, donde cada elemento dentro de la zona de ordeño tiene su lugar designado, lo cual evita búsquedas innecesarias y optimiza la disposición de los recursos necesarios para el proceso de ordeño de manera eficiente. Asimismo, al garantizar un espacio de trabajo ordenado, se facilita la identificación temprana de posibles desperdicios —para aplicar medidas correctivas— y se establece una base sólida para la implementación de las siguientes etapas de las 5S.

Por otro lado, *kanban*, un sistema de control de la producción basado en señales, se alinea particularmente con las etapas de *seiton* (orden) y *seiso* (limpieza) de las 5S dentro de este proceso de ordeño. *Kanban* permite la visualización en tiempo real del flujo y la disponibilidad de insumos. En el contexto del proceso de ordeño, esto significa que los elementos necesarios, como equipos y materiales, se reponen automáticamente cuando alcanzan un nivel predeterminado. Al aplicar *kanban*, se evita la escasez o el excedente de recursos, y se contribuye así a la organización óptima, a la reducción de costos y a la minimización de desperdicios relacionados con el manejo de materiales dentro del ordeño.

La combinación de *housekeeping* y *kanban*, junto con las 5S, permite establecer una estructura operativa altamente eficaz. *Housekeeping* contribuye al entorno físico óptimo, mientras que *kanban* asegura una gestión de materiales en tiempo real. Ambas herramientas respaldan las etapas de clasificación, orden y limpieza (*seiri*, *seiton*, *seiso*) de las 5S, potenciando la productividad, eficiencia y calidad en el proceso de ordeño, conforme a las necesidades específicas y retos identificados en el sector ganadero y la empresa. Esta sinergia propulsa la mejora continua y sostenible.

Validación de la propuesta

Después de aplicar la herramienta de *lean manufacturing* en el proceso, se midieron y calcularon los datos sobre la producción de leche, las mermas, el tiempo de ejecución del proceso, las demoras adicionales a cada actividad, los ingresos por venta de leche y los costos directos (que incluyen mano de obra directa, materiales de limpieza y consumo de energía eléctrica). En la Tabla 12 se presentan los indicadores obtenidos en el postest, luego de aplicar la misma metodología estadística que en el pretest. Asimismo, la variación tras haber aplicado las herramientas muestra una mejora en las cuatro variables medidas.

Tabla 12

Variables e indicadores del pretest versus el posttest

Variables	Indicadores	Pretest	Post test	Variación
Productividad (tiempo)	Producción de leche (L)	623,34	702,23	12,66 %
	Tiempo de cada ciclo (h)			
Mermas	Mermas (L)	0,86 %	0,72 %	-16,28 %
	Producción de leche (L)			
Demoras	Demoras en cada ciclo (min)	4,58	3,51	-25,00 %
Costos directos	Costos directos (S/)	4,71 %	4,27 %	-9,34 %
	Ingresos (S/)			

4. DISCUSIÓN

A continuación, se analizan e interpretan los resultados obtenidos, comparándolos con la situación teórica y real del sector, y otras investigaciones. También se exponen las limitaciones del trabajo y se brindan sugerencias para futuras investigaciones.

En la Tabla 12 se aprecian mejoras en todas las variables medidas después de aplicar la herramienta. En primer lugar, en relación con los indicadores de productividad del tiempo y las demoras, se observa una variación de 12,66 % y -25 % respectivamente. La disminución es más evidente en las actividades en las que se aplicó la herramienta directamente (es decir, las actividades 1, 4, 5, 8 y 10). La reducción de las demoras se debe a que, después de aplicar *lean manufacturing*, los materiales necesarios para el proceso están disponibles de inmediato para el operario.

Además, los procesos se estandarizan bajo condiciones de salubridad y calidad establecidas por la empresa y las entidades reguladoras. Por otro lado, aunque la alimentación representa la mayor parte de los costos totales, los costos directos de producción se redujeron en un 9,34 % debido a la disminución del tiempo del proceso. Esto afecta el costo de mano de obra directa, reduce el consumo de energía eléctrica y estandariza el uso de materiales o insumos, gracias a las herramientas aplicadas.

En teoría, la producción de leche por vaca es de 4,1 toneladas por año, pero en la empresa en la que se trabajó era de 3,74. La producción, después de aplicar la herramienta, es de 4,07 toneladas, lo que representa una mejora de 0,33 toneladas o un aumento del 8,82 % en la producción de leche por vaca. Este resultado muestra una mejora evidente y resalta la posibilidad de futuras investigaciones para reducir aún más esta brecha.

En la investigación de Adamie y Hansson (2021), en la que se aplicó el análisis multidireccional de la eficiencia y el análisis dinámico transicional de Markov, la eficiencia

del proceso se incrementó en 16,56 % en un año, evidenciando la importancia de una visión transversal y estratégica a lo largo del tiempo. Sin embargo, su ratio de costos / ingresos incrementó en 4,64 % de un año a otro, lo cual contrasta con la disminución de 9,34 % del mismo indicador en la presente investigación. Esto muestra el impacto positivo que tuvo la aplicación de las herramientas, tanto en el proceso productivo como en el aspecto económico. Es importante mencionar que se han realizado pocas investigaciones acerca de la productividad o eficiencia del proceso productivo lácteo, por lo que se deja la puerta abierta a futuras investigaciones.

Una limitación importante para el desarrollo del proyecto de investigación fue la falta de facilidades para aplicar las metodologías estudiadas, lo que retrasó la investigación. Por lo tanto, se sugiere que exista una colaboración constante por parte de la empresa participante y el apoyo activo de todos los colaboradores para obtener la información necesaria durante el desarrollo de la investigación.

6. CONCLUSIÓN

Tras la implementación de las 5S, *housekeeping* y *kanban* en el proceso productivo de leche, se concluye que esta metodología ha generado un impacto positivo en los indicadores de productividad y financieros de la empresa.

En primer lugar, la implementación de las herramientas demostró una reducción del tiempo requerido en el proceso productivo de leche. La demora promedio por actividad se redujo de 4,58 minutos a 3,51 minutos. A través de la organización y orden de equipos, herramientas y materiales involucrados, se eliminó la necesidad de búsquedas innecesarias, se evitaron tiempos muertos y se logró así mayor eficiencia. Asimismo, la implementación de las 5S condujo a una disminución significativa de las mermas y desperdicios en el proceso productivo, pasando de 0,86 % de leche desperdiciada a 0,72 %, lo cual representa una mejora del 16,28 %. Al eliminar elementos innecesarios o que no agregan valor al proceso, se minimizaron los errores y pérdidas de producto. Esto se tradujo en una reducción de los costos de producción asociados con las mermas y desperdicios, generando ahorros financieros significativos para la empresa en un 9,34 %. Esto también se debe a la disminución del costo de mano de obra directa, consumo de energía eléctrica y estandarización del uso de materiales e insumos.

La implementación de esta metodología incrementa la estandarización de las actividades dentro del proceso, a la vez que reduce la variabilidad del tiempo requerido y los errores. Esto se ve reflejado en la reducción del 25 % en las demoras de las actividades. Finalmente, se cumple con el objetivo principal propuesto inicialmente de incrementar la productividad (en función del tiempo) en 12,66 %, al eliminar elementos que no agregan

valor, organizar los materiales y estandarizar los procesos. La implementación de *lean manufacturing* promueve una cultura de mejora continua y búsqueda constante de oportunidades de mejora, fortaleciendo la competitividad de la empresa y su capacidad de adaptación a los cambios en el entorno.

7. REFERENCIAS

- Adamie, B., & Hansson, H. (2021). Rationalising inefficiency in dairy production: evidence from an over-time approach. *European Review of Agricultural Economics*, 49(2), 433–471. <https://doi.org/10.1093/erae/jbaa034>
- Campos Benvenga, M., & De Alencar, I. (2021). Application of Hybrid Metaheuristic Optimization Algorithm (SAGAC) in Beef Cattle Logistics. En A. Dolgui, A. Bernard, D. Lemoine, G. von Cieminsk, D. Romero (Eds). *Advances in production management systems. Artificial Intelligence for sustainable and resilient production systems*. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems, 631, 585–593. Springer, Cham. https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85902-2_62
- Drews, J., Czycholl, I., Junge, W., & Krieter, J. (2018). An evaluation of efficiency in dairy production using structural equation modelling. *Journal of Agricultural Science*, 156(8), 996–1004. <https://doi.org/10.1017/S0021859618001041>
- Durisin, M., & Hirtzer, M. (2023, 14 de julio). *Trigo y maíz suben a pocos días de que expire acuerdo sobre cereales con Ucrania*. Bloomberg Línea. <https://www.bloomberglinea.com/2023/07/14/trigo-y-maiz-suben-a-pocos-dias-de-que-expire-acuerdo-sobre-cereales-con-ucrania/>
- Gözener, B., & Mollaoğlu, E. (2021). Milk production costs of dairy cattle farms; a case study from bafra district of Samsun Province, Turkey. *Custos e Agronegócio*, 17(1), 166–183. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v17/OK%208%20milk%20english.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2017*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf
- Jablonsky, J., & Skocdopolova, V. (2017). Análisis y optimización del proceso de producción en una empresa procesadora de leche. *Información Tecnológica*, 28(4), 39–46. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000400006>
- Leksic, I., Stefanic, N., & Veza, I. (2020). The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. *Advances in Production Engineering & Management*, 15(1), 81–92. <https://doi.org/10.14743/apem2020.1.351>

- Marques, J., de Oliveira, R., Barioni, L., Hall, J., Fossaert, C., Tedeschi, L., & Moran, D. (2022). Evaluating environmental and economic trade-offs in cattle feed strategies using multiobjective optimization. *Agricultural Systems*, 195, 103308. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103308>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MIDAGRI (2017). *Plan Nacional de Desarrollo Ganadero 2017-2027*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/dg-ganaderia/plan-nacional-ganadero-2017-2027.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022). *Observatorio de commodities. leche y derivados*. https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/1405/1/Observatorio%20de%20Commodities%20Leche%20y%20Derivados_%20jul-set%202022.pdf
- Naeemah, A., & Wong, K. (2022). Positive impacts of lean manufacturing tools on sustainability aspects: a systematic review. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 39(7), 552-571. <https://doi.org/10.1080/21681015.2022.2041742>
- Onono, J., Wieland, B., & Rushton, J. (2017). Productivity in different cattle production systems in Kenya. *Tropical Animal Health and Production*, 45, 423-430. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0233-y>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2019). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028*. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/CA4076EN>
- Panayiotou, N., Stergiou, K., & Panayiotou, N. (2022). Using lean six sigma in small and medium-sized enterprises for low-cost/high-effect improvement initiatives: a case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39(5), 1104-1132. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2021-0011>
- Piskulich, R. (2001). Mercado peruano de lácteos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 12(2), 29-32. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172001000200006&lng=es&tlng=es
- Procem Consultores (2019). *¿Cómo implementar la metodología 5s?*. <https://procemconsultores.com/metodologia-5s/>
- Salazar, E., & Torres, H. (2022, 1 de febrero). Gobierno no evalúa aplicar aranceles a importación de leche en polvo. *La República*. <https://larepublica.pe/economia/2022/02/01/leche-en-polvo-gobierno-no-evalua-aplicar-aranceles-a-importaciones-ganaderos-lecheros>
- Samarin, G., Vasilyev, A., Dorokhov, A., Mamahay, A., & Shibanov, A. (2020). Optimization of power and economic indexes of a farm for the maintenance of cattle. En P.

Vasant, I. Zelinka, G.W. Weber (Eds.) *Intelligent Computing and Optimization*, 1072, 679-689. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4_66

Zotal Laboratorios (2023). Higiene en ordeño. Cuatro pasos para limpiar correctamente tras el ordeño mecánico. *Bioseguridad en ganadería*. <https://bioseguridad.net/higiene-en-ordeno/cuatro-pasos-limpiar-correctamente-ordeno-mecanico/>

PROPOSAL FOR IMPROVING INVENTORY REPLENISHMENT THROUGH LEAN TOOLS IN A PERUVIAN RETAIL COMPANY

RENATO ANDRÉ LINO ROBLES*

<https://orcid.org/0000-0003-0121-8266>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

MARYSELL JIMÉNEZ LOAIZA

<https://orcid.org/0000-0001-8885-2950>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Received: October 10th, 2023 / Accepted: October 20th, 2023

ABSTRACT. This research work aims to improve inventory replenishment in a retail company as it is essential for any company to meet product demand. Therefore, by analyzing the percentage of canceled orders within the retail company and using an Ishikawa diagram, it was determined that the absence of distribution centers led to cost overruns in the logistics process. By employing this methodology, the improvement proposal was divided into three stages: logistics hubs information collection and diagnosis; design and validation of the improvement proposal; and evaluation of the improvement proposal viability, risks and implementation time. These stages indicate that the proposed solution would involve establishing a logistics hub to serve as a low-cost distribution warehouse. Furthermore, during this research, we used the 5S methodology, one of the most popular lean tools, applicable to every department and action. Based on the analysis of the cost flow and economic scenarios, it is concluded that implementing the hub is feasible. This would not only increase product availability and assortment but also result in savings on transportation costs from the distribution center in Lima to the hub located in Tarapoto, Peru.

KEYWORDS: commercial distribution / inventory control / business logistics / lean manufacturing / warehouses / Peru

This study was not funded by any entity.

* Corresponding author.

Email addresses in order of appearance: 20170836@aloe.ulima.edu.pe; 20172252@aloe.ulima.edu.pe

This is an open access article, distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.

PROPUESTA PARA LA MEJORA EN LA REPOSICIÓN DE INVENTARIO EN UNA EMPRESA RETAIL PERUANA MEDIANTE HERRAMIENTAS LEAN

RESUMEN. La reposición de inventario es fundamental en toda empresa retail para poder satisfacer la demanda del producto. Es por ello que mediante el porcentaje de pedidos cancelados en la empresa retail y un diagrama de Ishikawa se determinó que el problema se encontraba en que no contaban con centros de distribución por lo que el proceso logístico producía sobrecostos, mediante la metodología aplicada la propuesta de mejora se divide en tres etapas, las cuales consisten en la recolección de información y diagnóstico de Hubs logísticos, el diseño y validación de la propuesta de mejora y por último la viabilidad, riesgos y tiempos que tomarían ejecutar la propuesta, estas etapas determinan que la solución a tomar sería colocar un Hub logístico que apoyaría con la distribución como almacén de bajo costo. Se concluye que es viable implementar el centro de operaciones, lo cual incrementaría la disponibilidad de mercadería, al igual que el surtido y se ahorraría en transporte del centro de distribución de lima al Hub ubicado en Tarapoto.

PALABRAS CLAVE: distribución comercial / gestión de stocks / logística empresarial / producción eficiente / almacenes / Perú

1. INTRODUCTION

Inventory replenishment ensures that a company responds quickly to customer needs, thus achieving a proper balance between product outputs (sales) and inputs (purchases). Effective inventory management offers benefits not only in terms of sales but also when it comes to responding to customer portfolio requests. While it is true that all companies depend on their inventory, there are some sectors in which this aspect is essential to remain competitive. One of those sectors is retail.

Retail is an economic sector that includes companies specialized in the mass marketing of products. Companies in this sector seek to reach the largest number of consumers through a massive stock of products, which is why their inventory replenishment policy is critical to meet the needs of their customers. According to Praveen et al. (2020), the key tasks of a retail business are: determine the needs of its customers and guide the company towards satisfying all their needs. During recent years, increased competition in retail sector has led to new cooperative arrangements between third-party logistics providers in the form of hub systems. Logistics hubs are large-scale structures within which different logistics service providers collaborate in order to offer value-added services by sharing assets (Viera & Luna, 2016).

Recognizing today's endless globalization and internalization, companies are required to improve their logistic capacity. The developments and advancements in logistics sector have facilitated major business functions such as production, distribution, and marketing. This provides a significant competitive advantage in international trade transactions. It is argued that effective and accurate planning of logistics sector is able to contribute to the economic growth of a nation. (Engman, 2005, as cited in Mohsin & Daud, 2018, pp. 141–142)

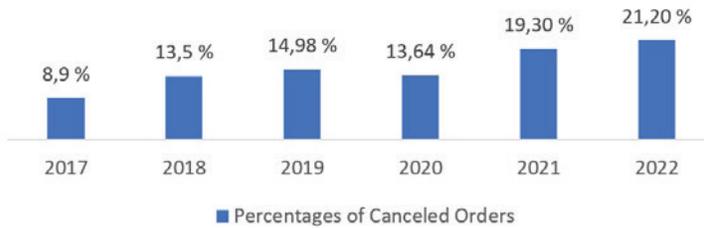
At the regional level, the Global Retail Development Index (GRDI) placed Peru in a list of the 30 most attractive emerging countries to invest in the retail sector. Most consultants consider Peru very attractive for this sector due to its sustained economic growth over the past two decades (Reátegui et al., 2017). In addition, it is one of the sectors that has shown the strongest recovery from the drop in sales caused by the pandemic. This is largely due to the adoption of digitization strategies and adequate replacement policies, ensuring their coverage for their entire target audience.

The company under study specializes in the marketing of appliances and household items. With operations in several countries, including Peru, it has successfully positioned as one of the leaders in distribution and logistics. During the last years, it has implemented a very powerful web platform that allows people from all over the country to buy products through the website and pick them up in store or receive them at home. However, since the implementation of this platform, the company has experienced prolonged delays in shipping products to the Amazonian Region. Moreover, direct shipments from the

distribution center to this area resulted in cost overruns that did not guarantee the long-term economic viability of forest operations. Below are the historical percentages of orders canceled in the Amazonian Region of the country.

Figure 1

Percentages of Canceled Orders



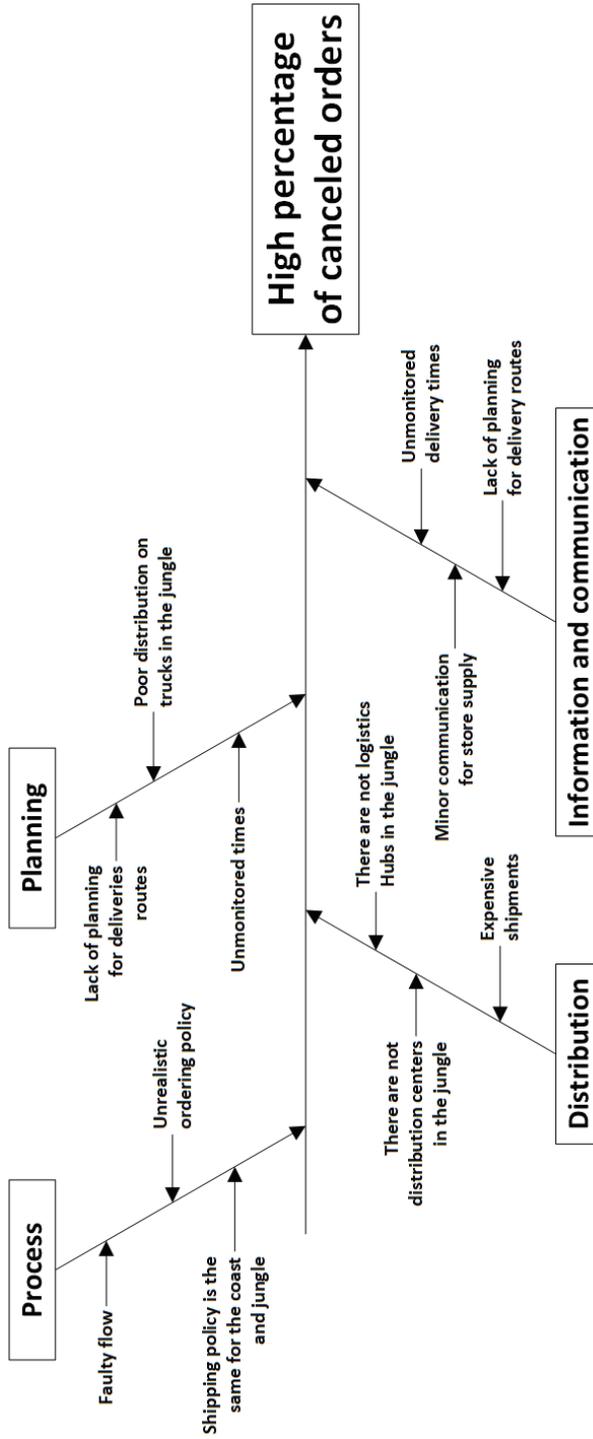
As shown in Figure 1, there was a significant increase between 2020 and 2021; the main reason was the implementation of a web platform, resulting in a higher volume of order requests across the national territory. Thus, throughout 2021, the company experienced a 19,30 % rise in the number of canceled orders, totaling 1 200 orders in the Amazonian Region alone. The predominant reason for this percentage was delays in orders fulfillment, surpassing the company's established policy.

The cities with the highest number of canceled orders were Juanjuí, Moyobamba, Pichanaqui, Yurimaguas and Tarapoto. One of the reasons for the delay in fulfilling orders is the limited presence of own distribution centers near these locations. Therefore, the company seeks alternatives to improve said situation. To achieve this objective, the present project proposes the establishment of a logistics hub in such a way to enhance the efficiency of order delivery to the Amazonian Region, which currently experiences the most significant delays; i.e., the project aims to optimize transportation, sorting, delivery and distribution processes in the Peruvian jungle.

The current supply frequency for cities such as Juanjuí and Yurimaguas is approximately once per week, while for Moyobamba and Tarapoto, it is twice a week. Also, as of % of the total sales of stores that would be supplied by the implemented hub. In terms of costs, Region 6 (jungle) allocates USD 1e500 per month to cover redistribution expenses for sales in cities like Tarapoto, Juanjuí, Moyobamba and Yurimaguas.

Figure 2

Ishikawa Diagram of High Percentage of Cancelled Orders in the Amazonian Region



As shown in Figure 2, the problem of order cancellations is directly linked to the scarcity of warehouses in the jungle area and the unstocked stores within that region. It is also important to note that there are other significant issues such as inadequate route planning for order delivery, lack of information for order tracking, etc. However, a project to implement new delivery routes across the country would be very expensive; therefore, the most viable solution to solve order-related problems in the medium term is the establishment of a distribution center in the Amazonian Region.

The sales performance of the company under study is currently not at its peak. Moreover, the recent investment in the web platform required a significant capital outlay, leading to the implementation of budget reduction policies across different areas such as Planning, Supply Chain, etc. Consequently, in economic terms, establishing a distribution center in the jungle would entail a substantial financial investment since it involves the acquisition of large premises, allocation of inventory, purchase of additional trucks, etc. Therefore, a more feasible solution would be the implementation of a logistics hub, as it is a cheaper option and does not involve such a radical logistical change. According to Cheong et al. (2007), hubs serve as transshipment facilities that allow the construction of a network where large numbers of direct connections between nodes (including suppliers, warehouses and customer locations) can be replaced with fewer, indirect connections. In solving hub location problems, two distinct aspects need to be addressed: finding the best locations for the hubs and identifying the best route for material flows from the origin nodes to the destination nodes via the hubs. One of the pioneering studies in hub location was conducted by O'Kelly et al. (1986), who demonstrated that the single hub location problem is equivalent to the Weber's least cost theory: to establish a small distribution center that constantly supplies nearby stores and handles home orders.

Warehouse optimization: Identifying gaps in the location of some hubs is essential to address key issues such as the modeling of economies of scale while using the most complex times and objectives as resources. There are many strategies for warehouse improvement and expansion, including the 5S methodology and ABC classification.

Hubs have been implemented in small- and medium-sized businesses (PYMEs) considering various factors, including demand, as reflected by consumption points, evaluation of distribution channels, product standardization and the sales record of the companies (Escalona & Ramos, 2015).

The implementation of the 5S methodology directly impacts service quality. According to the analysis carried out in this research, it can be determined that the 5S correlates strongly with service failures and quality, which allows its effectiveness in the study. This analysis involved 200 consumers—though only 150 responded to the survey—verifying the reliability of the 5S methodology. Additionally, this methodology has been

used in retail companies for approximately 30 years. Moreover, the implementation of lean tools has shown positive results in terms of profitability (Davatgaran et al., 2019).

The 5S methodology is a tool focused on organization and contributes to a reduction in rework time (Yu et al., 2017). For example, implementing 5S in a franchise in Bandung resulted in a 71-second reduction in inspection time. Furthermore, once the problems were identified, strategies could be developed, leading to a decrease in the number of accidents to two per year. Management indicators are employed to assess the performance of several logistics processes in order to reduce errors and find solutions. One approach involves proposing a set of tools such as direct observation and cause-and-effect diagrams to understand and identify deficiencies in a company's distribution chain.

At the same time, the interrelationship between products, materials, components and final products can be demonstrated. It has been determined that external communication and productivity offset manufacturing costs. Implementing the 5S methodology can help reduce production losses. According to Reina and Adarme (2014), distribution is the most important step in a logistic process flow. Therefore, all production must be scheduled based on consumer demand and the availability of materials in stock.

It also highlights that inventory optimization is often a complex process where the organization accepts some unknown damages during implementation; however, by means of a suitable simulation model, damages can be mitigated to the greatest extent possible.

The process begins with the development of a conceptual scheme of the model. Basically, at this stage, it is sought to represent the process in a general manner within a scheme. Then, the system and its correct functioning are verified using various tools. At this point, the conceptual model becomes a statistical, mathematical or graphical structure. Finally, the system is validated as a final output. This involves validating the performance of the simulation using outputs. It can be demonstrated through any simulation that the proposed inventory management will lead to a better control of the merchandise, thereby optimizing storage costs (Oldham & Fornito, 2019).

It has been proven that simulating demand beforehand helps small- and medium-sized businesses to maintain optimal inventory levels employing forecasting techniques in this simulation aids to reduce overstock by facilitating better product allocation (Holweg et al., 2005).

In summary, in scenarios where the dataset is small and well-structured, algorithms based on decision trees demonstrate superior accuracy compared to other models. Theoretically, the XGBoost algorithm evolved from the Bagging algorithm.

2. METHODOLOGY

The methodological design of this research involves a case study wherein a new strategy was proposed to enhance order delivery and store supply in the Amazonian Region of Peru. According to Andersson et al. (2010), supply chain management entails a set of approaches used to effectively integrate suppliers, manufacturers, warehouses and stores, so that merchandise is produced and distributed at the right quantities. In the proposed improvement, the projection of flows based on the sales history was developed, and the required jungle space in cubic meters for merchandise was taken into account to determine the size of the logistics hub. In addition, the input of three logistics experts in the retail sector, who served as manager of supply chain and planning and replenishment analysts in a Peruvian retail company, was crucial for validating the reliability of flows, projections and scenarios. It should be noted that these professionals have extensive knowledge in hub implementation since they have participated in similar projects in other regions of Peru, such as Ica and Cusco.

The methodological process of the research was structured in three consecutive stages, each of which will apply engineering techniques crucial for the reliability of the improvement proposal:

Table 1
Stages of the Improvement Proposal

Stage	Scope	Techniques and/or Tools
1. Information collection and diagnosis	Collection of information on hub location alternatives	Documentary analysis
	Cost estimation for each location	Demand projection
2. Design and validation of the improvement proposal	Elaboration of the hub project total cost flow	Three scenarios for operational utility
	Establishing a preliminary route following the implementation of the hub	
3. Evaluation of the improvement proposal viability, risks and implementation time	Elaboration of the project schedule and risk matrix	Irrigation matrix
	Preparation of conclusions on project feasibility	Gantt chart

In the first stage, all necessary information was collected to complete the flow projections, i.e., rental costs of potential locations, labor costs in the city, security costs, maintenance expenses, sales data of previous years, past order volumes and inventory replenishment policies. It should be noted that this information was sourced from the

historical flows of the company under study. The reliability of the data was validated by comparing it with the company's historical records.

In the second stage, all the information collected in the previous stage was used to develop the project cost flow with a horizon of no less than four years. Additionally, the economic projection was made based on three specific scenarios: optimistic, expected and pessimistic. These projections allowed for an initial assessment of the project's economic viability, considering factors such as time, costs, etc. The validation of results in this stage was conducted within the margins provided by experts, based on the projected sales.

Finally, in the third stage, a risk matrix was proposed for the project. This matrix served as a management tool to objectively identify relevant risks to the safety and health of workers throughout the hub implementation. Furthermore, a detailed contingency plan was outlined for each identified risk. In addition, a Gantt chart was created to visualize the project's key components and organize them into smaller and manageable tasks.

3. RESULTS

The results obtained from each stage of the improvement proposal are presented below, as detailed in the methodology.

According to the analysis, the first stage involving information collection and diagnosis was assessed. This stage determined that the required capacity for the Tarapoto Hub is 1 000 m³, Pichanaqui requires 700 m³ and Yurimaguas needs 400 m³, according to the average sales volume in m³ for the year 2021 (considering peak periods such as Mother's Day and national holidays).

The following table presents the number of stores and the capacity needed for each location.

Table 2

Capacity Needed and Number of Stores

	Capacity Needed (m ³)	Number of Stores
Tarapoto	1 000	2
Yurimaguas	400	2
Pichanaqui	100	1
Moyobamba	100	1

Based on data obtained from the cities, Tarapoto shows the highest demand for merchandise based on the historical trends in the Amazonian Region. Therefore, it is prioritized for the establishment of a new route and rental hub in that area.

The current total frequency is outlined below with the proposed frequency obtained from the needed capacity calculations:

Table 3
Summary of Tarapoto Route

Shop	Current Frequency	Proposed Frequency With Improvement	m3 x Week	Proposed Route	Products m3
e	2	4	13	Tarapoto Ciudad	53
e	2	4	12	Tarapoto Ciudad	41

In the second stage, the design and validation of the improvement proposal were undertaken. With the introduction of this new route, the stores intended to supply the Tarapoto Hub consisted of two direct stores and 11 per route, all of which are currently serviced from the distribution center in Lima. This rerouting aims to mitigate cost overruns.

The total route was 517 km and the approximate travel time accounted for 9 hours and 46 minutes. Additionally, the costs of implementing the Tarapoto Hub were calculated, followed by the projection of flows over a four-year period:

Table 4
Tarapoto Hub Implementation Costs (USD)

Reduction of alternate warehouses	-5 206
Regional office savings	-1 320
Current freight route through the jungle	-12 446
New fethe distribution center to the hub	10 825
New hub freight to stores	5 684
New security	1 600
New payroll	1 540
e	3 160
New investment racks	6 900

In Table 3, the costs of the project are outlined, and it is evident that significant savings would result from the project. Through the reduction of alternate warehouses and current freight alone, the company would achieve savings of more than USD 18 000.

Table 5

Logistics Hub Flow Costs (USD)

Total Month	Total Cost Year 1	Total Cost Year 2	Total Cost Year 3
-5206	-62 476	-62 476	-62 476
-1316	-15 789	-15 789	-15 789
-12 447	-149 363	-149 363	-149 363
10 823	1 298 802	1 298 802	1 298 802
5684	68 211	68 211	68 211
1605	19 263	19 263	19 263
1533	18 392	18 392	18 392
3158	37 895	37 895	37 895
551	6612	6612	6612
4386	51 625	51 625	51 625
Annual Margin Income	Income Year 1	Income Year 2	Income Year 3
407 953	4 895 442	5 140 214	5 384 987
373 957	4 487 489	4 711 863	4 936 238
356 959	4 283 512	4 497 688	4 711 863
	Total Cost Year 1	Total Cost Year 2	Total Cost Year 3
	52 625	52 625	52 625

Based on the costs of the logistics hub and sales projections, a reliable flow was established, summarizing the totals over a four-year period. Additionally, three operational utility scenarios were developed based on this flow, considering that the costs of implementing the Tarapoto Hub would remain constant over the next four years. For the optimistic, conservative and pessimistic scenarios, an annual margin income of 100 %, 91,6 % and 87,5 %, respectively, were considered.

Table 6

Tarapoto Hub Implementation Costs (USD)

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4
Optimistic Operating Profit	4 842 817	5 087 589	5 332 362	5 577 134
Conservative Operating Profit	4 434 864	4 659 238	4 883 613	5 107 987
Pessimistic Operating Profit	4 230 887	4 445 063	4 659 238	4 873 414

According to the third stage, the improvement proposal viability, risk and implementation time were evaluated. Initially, the risk matrix and contingency plan, fundamental for any implementation project, are presented.

Table 7

Risk Matrix

#	Risk	Rationale	Contingency Plan
1	Failures in the assembly of the racks.	The purchased racks may have quality issues that prevent them from being assembled correctly.	Ensure timely delivery of the racks to allow for a preliminary quality control.
2	Delays in recruitment.	It is possible that, within the allotted timeframe, suitable candidates may not be found to fill the positions.	Outsource the security service to an agency and temporarily fill hub staff positions with certified workers from nearby stores.
3	Failure to find a rental location within budget.	Given that the premises must be located in a specific area, it is possible that a suitable location may not be found at the desired price.	Allocate a contingency reserve to accommodate potential budget increases if a location at the desired price is not found.
4	Delay in hub delivery.	Due to the aforementioned risks, the completion of the hub's construction could be delayed beyond the original schedule.	Manage the arrival of new merchandise within one month after the hub's delivery.

4. DISCUSSION

According to Lolli et al. (2017), the need of potential locations for the implementation of distribution centers should be prioritized. Through the analysis carried out in this research, it was determined that the merchandise requirement for the Tarapoto Hub was 1 000 m³. Consequently, Tarapoto was selected as the ideal location for implementing the logistics hub based on two key factors: the stores that will supply along the route and the weekly replenishment frequency.

According to Osorio (2008), the conservative or most likely scenario is the one with the highest probability of occurrence. Hypotheses are formulated to adjust net cash flows based on expected long-term outcomes. Based on the study conducted and the sales increase across the three scenarios, the viability of implementing the logistics hub can be deduced. Even in a conservative scenario, there is an 11 % sales increase. In the worst-case scenario, the project remains viable with a 5 % sales increase. In addition, the project will enhance merchandise availability for both in-store sales and e-commerce deliveries, as stores will be better stocked and benefit with a new route to reduce delivery times.

According to Inprasit and Tanachutiwat (2018), it is crucial, during project schedule planning, to eliminate early starts and multitasking in order to enhance project activity speed and efficiency.

In this research, the main tasks were prioritized based on their duration in days (main criterion), with multitasking minimized accordingly.

5. CONCLUSIONS

The implementation of the hub remains feasible even under a pessimistic scenario, which results in a 5 % sales increase. Additionally, it will enhance merchandise availability in e-commerce deliveries, as stores will be better stocked and benefit from a new route to reduce delivery times. Furthermore, the stores will no longer face bankruptcy due to inventory shortages, as the logistics hub will increase delivery frequency from 2 to 4 times per week. On the other hand, the breakdown of assortment for stores supplied from the region will progressively decrease from 15 % to 5 % over the four-year implementation period. Finally, with a daily supply to the hub, supplier shipments will go directly to it, eliminating the need for transport from the distribution center in Lima to the Tarapoto Hub.

6. REFERENCES

- Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G., & Løkketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Computers & Operations Research*, 37(9), 1515–1536. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.11.009>
- Cheong, M., Bhatnagar, R., & Graves, S. C. (2007). Logistics network design with supplier consolidation hubs and multiple shipment options. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 3(1), 51–69. https://ink.library.smu.edu.sg/cgi/viewcontent.cgi?article=3448&context=sis_research
- Davatgaran, V., Saniei, M., & Mortazavi, S. S. (2019). Smart distribution system management considering electrical and thermal demand response of energy hubs. *Energy*, 169, 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.005>
- Escalona, A. I., & Ramos, D. (2014). Global production chains in the fast fashion sector, transports and logistics: the case of the Spanish retailer Inditex. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, (85), 113–127. <https://doi.org/10.14350/rig.40002>
- Holweg, M., Disney, S., Holmström, J., & Småros, J. (2005). Supply chain collaboration: Making sense of the strategy continuum. *European Management Journal*, 23(2), 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2005.02.008>

- Inprasit, T., & Tanachutiwat, S. (4-7 de julio de 2018). *Reordering point determination using machine learning technique for inventory management* [Sesión de conferencia]. 2018 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST). Phuket, Thailand. <https://doi.org/10.1109/ICEAST.2018.8434473>
- Lolli, F., Gamberini, R., Regattieri, A., Balugani, E., Gatos, T., & Gucci, S. (2017). Single-hidden layer neural networks for forecasting intermittent demand. *International Journal of Production Economics*, 183, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.10.021>
- Mohsin, A., & Daud, D. (2018). Oman as a future logistics hub: A conceptual study. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, 6(6), 141–148. <https://ijecm.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/6610.pdf>
- O'Kelly, M. E., Bryan, D., Skorin-Kapov, D., & Skorin-Kapov, J. (1996). Hub network design with single and multiple allocation: A computational study. *Location Science*, 4(3), 125–138. [https://doi.org/10.1016/S0966-8349\(96\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0966-8349(96)00015-0)
- Oldham, S., & Fornito, A. (2019). The development of brain network hubs. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 36, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2018.12.005>
- Osorio, C. (2008). Modelos para el control de inventarios en las pymes. *Panorama*, 2(6), 4–10. <https://doi.org/10.15765/pnrm.v2i6.241>
- Praveen, K. B., Kumar, P., Prateek, J., Pragathi, G., & Madhuri, J. (2020). Inventory management using machine learning. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9(6), 866–869. <https://www.ijert.org/research/inventory-management-using-machine-learning-IJERTV9IS060661.pdf>
- Reátegui, D., Castro, P., & Ramírez, J. (2017). *Implementación de un hub logístico de repuestos Honda en Latinoamérica* [Final project, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/311183>
- Reina, L., & Adarme, W. (2014). Logística de distribución de productos perecederos: estudios de caso Fuente de Oro (Meta) y Viotá (Cundinamarca). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(1), 80–91. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i1.2802>
- Vieira, C., & Luna, M. (2016). Models and methods for logistics hub location: A review towards transportation networks design. *Pesquisa Operacional*, 36(2), 375–397. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2016.036.02.0375>
- Yu, Y., Wang, X., Zhong, R. Y., & Huang, G. Q. (2017). E-commerce logistics in supply chain management: Implementations and future perspective in furniture industry. *Industrial Management & Data Systems*, 117(10), 2263–2286. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2016-0398>

ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DEL CAFÉ LIOFILIZADO A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DELPHI Y PROPUESTAS COMPETITIVAS

SEBASTIÁN MAURICIO CARPIO ESPINO*

<https://orcid.org/0000-0001-5656-4866>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

RENZO LUIS ALBERTO INDACOCHEA TORRES

<https://orcid.org/0000-0002-6026-5946>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

MARÍA TERESA NORIEGA ARANÍBAR

<https://orcid.org/0000-0001-6824-1415>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 5 de octubre del 2023 / Aceptado: 12 de diciembre del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n.6700>

RESUMEN. El objetivo principal de la investigación fue realizar un análisis de la actual cadena de valor del café liofilizado peruano e identificar sus ventajas comparativas y competitivas en los mercados internacionales, debido a que, actualmente, la cadena de valor de este café tiene una participación discreta con respecto a sus competidores. La metodología que se empleó fue de enfoque mixto y con diseño cuasi experimental. A partir del análisis de la actual cadena de valor y de la actual cadena de suministro del café liofilizado peruano, se identificaron con precisión los principales problemas que presentan los eslabones que conforman la cadena de valor. Con ello, es posible proponer el diseño de un modelo que abarque desde la producción primaria hasta la comercialización del café liofilizado peruano, y que sea capaz de aportar en la competitividad de este producto en los mercados internacionales.

PALABRAS CLAVE: cadena de valor / café / comercio exterior / método Delphi / Perú

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: sebascarpio6@gmail.com; renzo_leo_28@hotmail.com; manorieg@ulima.edu.pe

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ANALYSIS OF THE VALUE CHAIN OF FREEZE-DRIED COFFEE THROUGH THE DELPHI METHODOLOGY AND COMPETITIVE PROPOSALS

ABSTRACT. This study analyzes the Peruvian freeze-dried coffee value chain and identifies its comparative and competitive advantages in international markets. It uses a mixed-method approach with a quasi-experimental design to identify the primary problems in the freeze-dried coffee value chain and supply chain. These results enable the proposal of a model design that spans primary production to commercialization to enhance the product's competitiveness in international markets.

KEYWORDS: value chain / coffee / international trade / Delphi method / Peru

1. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los principales productos del sector agrícola peruano. Ocupa el primer puesto en exportación a nivel nacional y el noveno a nivel mundial, y posee más de 660 000 hectáreas dedicadas a su cultivo (Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo, 2023). En el Perú hay diecinueve regiones productoras de granos de café, pero solo seis de ellas representan el 91 % del total de la producción: San Martín, Junín, Cajamarca, Cusco, Puno y Amazonas (Caballero et al., 2021)

Figura 1

Exportaciones de café (mil sacos de 60kg) 2018-2023

Exports						
Brazil	41 426	40 265	45 675	39 685	36 645	45 350
Vietnam	28 318	27 326	25 300	29 010	28 900	27 500
Colombia	13 615	13 005	12 755	12 365	11 900	12 100
Uganda	4450	5350	6514	5850	6250	6515
India	5778	5185	5794	7240	6225	6336
Indonesia	6150	7152	7872	7428	8795	6240
Honduras	6910	4900	6010	4650	5000	5200
Ethiopia	4174	4135	4675	4831	4820	4820
European Union	2966	3490	3860	4505	4900	4700
Peru	4293	3720	3326	4065	3490	4060
Other	24 810	24 052	22 579	23 531	23 114	23 274
Total	142 890	138 571	144 360	143 160	140 039	146 095

Nota. Adaptado de United States Department of Agriculture (2023)

A pesar de que el Perú tiene una buena producción y exportación primaria del café, la cadena de valor del café liofilizado peruano cuenta con una participación discreta en los mercados internacionales. Según el Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales (2023), actualmente el Perú registra, por la exportación del producto, ingresos inferiores a países como Suiza y Alemania, cuya producción primaria está por debajo a la registrada en Perú.

Países vecinos como Ecuador tienen algunos problemas en la productividad en el sector agrícola debido a los bajos rendimientos por hectárea. Esto sucede distinto en el Perú, que tiene una buena productividad a nivel nacional (Durán & Alcívar, 2020). Sin embargo, a diferencia de Colombia, el Perú no posee un buen posicionamiento de marca de café como el denominado "Café de Colombia" (Barrientos, 2018).

La participación del café peruano en el mercado internacional es tan pequeña que el incremento o decremento de las exportaciones peruanas no afecta en el precio internacional del café. Cabe anotar que, desde el 2011, el Perú no ha llegado a obtener una participación del 25 % de exportación del café (Dilas Jiménez et al., 2021).

Dicha disyuntiva se debe a la actual estructura productiva del café peruano de cara al comercio internacional, porque la industria cafetera peruana se dedica exclusivamente al sector primario (Cáceres, 2019). A lo anterior se le añade la gran variedad de productos derivados del café presentes en el sector, siendo que los productos de mayor cuota de mercado son las presentaciones de granos tostados, molidos y liofilizado (Dilas Jiménez et al., 2020).

Colombia, uno de los competidores de Perú en el mercado internacional, tiene tres veces más ventas de café que el Perú anualmente, y también un mejor posicionamiento de marca. La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) posee una estrategia en la que promueve la imagen de que el café es "100 % colombiano", con lo que ha logrado que los consumidores identifiquen fácilmente el producto y reduzcan así sus costos de búsqueda (Tirado et al., 2017). A diferencia de Colombia, el Perú no tiene suficiente apoyo del Estado. La FNC ofrece capacitaciones y promueve su marca de manera internacional, con el fin de buscar mayor presencia del caficultor colombiano que participa en la cadena de valor. La ausencia de un organismo público que contribuya en la promoción, defensa, financiamiento, administración y control de la producción de café, para que Perú tenga una denominación parecida a Café de Colombia, ha causado que el país tenga un estancamiento en el posicionamiento del café internacional (Meneses & Vilchez, 2017).

El presente estudio tiene como finalidad mejorar la competitividad del café liofilizado peruano en los mercados internacionales, tomando en consideración los elementos de la cadena de valor que la componen. En ese sentido, se considera tanto a los productores, proveedores y clientes que componen la industria, como también las relaciones existentes entre ellos (Christopher, 2014).

El café liofilizado es el nombre que se le da al café soluble que ha sido procesado mediante la liofilización (Ramos Cotacallapa et al., 2019). Este proceso consiste en el congelamiento del café líquido para la conservación de los atributos básicos del café. Una vez congelado, el café se traslada a una cámara de vacío para separar el agua por sublimación, y obtener así el café liofilizado (Febres & Requejo, 2021).

La mejora de la cadena de valor no solo beneficia e incrementa la posición de una empresa determinada, sino que también puede influir positivamente en el bienestar de una nación (desarrollo económico, infraestructura y condiciones de vida, por ejemplo). (Parente-Laverde, 2020).

La orientación de la cadena de valor del café está encaminada a ofrecer precios más competitivos, productos de mejor calidad y demás factores que brinden alguna ventaja competitiva. Para ello es necesaria una gestión armónica en la que sus componentes se relacionen adecuadamente, a fin de aportar el mayor valor final apreciable por el cliente (Guzmán & Chire Fajardo, 2019). Además, siendo que el sector cafetero actualmente se

maneja sobre lineamientos y estándares tecnológicos sumamente maduros, la innovación se focaliza principalmente en sus operaciones logísticas y comerciales (Scott, 2014).

El café es un producto de alta rotación, en el que las elecciones de los consumidores se ven encaminadas por varios factores, uno de los cuales es el precio, que varía constantemente según el sabor, aroma y métodos de procesamiento (Tsai et al., 2023). No obstante, la promoción es determinante, pues la percepción del valor sobre el café se ve influenciada por aspectos culturales y sociales, afectando no solo su elección, sino también su frecuencia y ritmo de consumo (Queirolo Bobadilla, 2010).

En el primer eslabón de la cadena de valor del café liofilizado peruano se encuentra el sector primario productivo del café, área caracterizada por la predominancia de pequeños productores que carecen de la inversión necesaria para alcanzar algún grado de automatización. Aún más, dicho rubro es altamente susceptible a las plagas y, dadas sus necesidades de temperatura y humedad, también al cambio climático, que ya ha afectado sobremanera la producción normal de los cultivos (Acosta-Alba et al., 2020).

En el trabajo realizado por Morales et al. (2022), denominado "Planificación para la adaptación: un enfoque sistémico para comprender el papel de la cadena de valor en el apoyo a la capacidad de adaptación de los pequeños productores de café en el Perú", se expone la vulnerabilidad de los pequeños productores que participan en la cadena de valor del café en la zona noreste del país, dados los cambios y riesgos climáticos que afectan la producción de este cultivo. Los investigadores, además, emplean métodos mixtos por etapas, y evalúan la distribución territorial actual y futura de la exposición al cambio climático; la adaptación y sensibilidad de la cadena de valor; la vulnerabilidad de los agricultores. También identifican oportunidades para disminuir tal vulnerabilidad.

El mencionado trabajo se relaciona con la presente investigación, ya que propone la participación de instituciones gubernamentales que apoyen a los pequeños agricultores y fortalezcan las capacidades de los actores de la cadena de valor para la innovación tecnológica, la cooperación del sector público con el privado y la planificación de la adaptación.

La producción agrícola en el Perú que está orientada a la exportación tiene un desarrollo significativo que puede influir positivamente en la economía, pero los pequeños agricultores presentan ciertas limitaciones para competir contra los grandes exportadores (Ayala Gómez et al., 2016).

El Estado y los empresarios involucrados en el rubro podrían brindar apoyo a los pequeños agricultores. El Estado tiene la posibilidad de brindarles herramientas para mejorar su producción y productividad en beneficio del país; los empresarios, por su parte, pueden darles la oportunidad de ser representados en el mercado internacional como parte de sus proveedores (Barrientos, 2019).

En cuanto a la producción, la industria cafetera se caracteriza por haber alcanzado un alto grado de desarrollo y estandarización. Como resultado de esto, el sector se encuentra principalmente dominado por grandes empresas de amplia experiencia (Lagrasta et al., 2021). Dicha perspectiva imposibilita el ingreso de nuevas empresas, ya que para participar competitivamente es necesario superar grandes barreras, como el grado de inversión, el nivel de tecnología, la experiencia y el conocimiento necesario del área (Murray-Prior et al., 2018).

Otro aspecto a considerar es la distribución y comercialización, puesto que —de acuerdo con las preferencias de los clientes— estas actividades se van adaptando según el desarrollo y contexto del mercado (Flores Tenorio, 2014). Las tendencias de los consumidores de café giran en torno a la identidad de marca adoptada por aquellos productores que comunican un valor añadido diferenciador, el cual puede ser representado por un sentimiento de inclusión (Hernández Tolentino & Favila Tello, 2019).

La cadena de valor comienza con los acopiadores y rescatistas y llega hasta el consumidor final. En la cadena productiva de café, los productores se segmentan en dos partes, para llegar a dos tipos de mercado. Solo el 5 % de café corresponde al mercado nacional, mientras que la gran mayoría se exporta al mercado internacional (Quiroz, 2021).

Bajo este contexto, la presente investigación tiene como objetivo identificar el diseño actual y analizar la cadena de valor del café liofilizado peruano, reconociendo las ventajas comparativas y competitivas existentes en los mercados internacionales. Finalmente, se busca fortalecer los eslabones de la cadena de valor, en función de las deficiencias encontradas.

2. METODOLOGÍA

Con el objetivo de desarrollar un análisis integral de la situación actual de la cadena de valor del café liofilizado peruano (Thibaut, 1994), se optó por el uso de la metodología Delphi. Esta consiste en la estructuración del proceso de comunicación grupal, que permite a grupos de individuos (como agricultores, productores y comercializadores) tratar con problemas complejos existentes en el sector (Linstone & Turoff, 1975).

El alcance y diseño de la investigación fueron de tipo explicativa y cuasi experimental. Se evaluó la efectividad y el impacto de las propuestas enfocadas en la competitividad del café liofilizado peruano en los mercados internacionales. La metodología de la investigación fue de enfoque mixto, debido a que se recolectaron y procesaron datos cualitativos y cuantitativos (Vega-Malagón et al., 2014).

En este caso, la muestra fue no probabilística y por conveniencia y estuvo conformada por los actores de la cadena: agricultores, comerciantes, productores,

distribuidores y exportadores de Cusco, Lima y Callao. Se visitaron cuatro cooperativas y una multinacional en el Cusco.

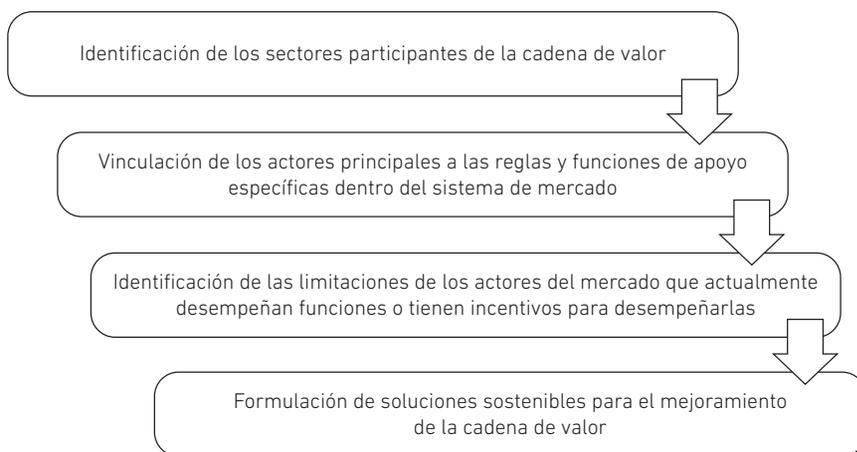
Además, se elaboraron diferentes cuestionarios con preguntas abiertas y cerradas. Diez preguntas para agricultores, seis para el personal del área de producción, diez para el personal de almacenamiento, ocho preguntas para el personal encargado de la distribución y transporte, también ocho para el personal de comercialización, diez preguntas para los productores de café liofilizado y otras diez para los exportadores. Esto se hizo con la finalidad de obtener información de una diversa gama de actores involucrados: caficultores de las zonas mencionadas, gerentes y trabajadores de distintos cargos de las empresas o cooperativas visitadas y la especialista en comercio exterior de la Cámara Peruana del Café y Cacao.

Se utilizó el método Delphi para obtener datos más precisos y actualizados (Bitzer et al., 2013). Cabe mencionar que la estructura de las entrevistas fue validada por tres expertos pertenecientes a la Cámara Peruana del Café y Cacao.

Finalmente, para el análisis de la información recolectada se optó por el uso de la metodología de la cadena de valor desarrollada por Nutz y Sievers (2016) para la Organización Internacional de Trabajo.

Figura 2

Modelo de análisis de las cadenas de valor y diseño de intervenciones



Nota. Adaptado de Nutz y Sievers (2016).

Para ello, se procedió a realizar un análisis enfocado en las limitaciones de la participación de los actores de la cadena, considerando las respuestas brindadas por ellos y comparándolas con las observaciones de la visita realizada a Cusco y con

la revisión de la literatura relacionada. Posteriormente, se generaron propuestas focalizadas en las oportunidades identificadas y, por último, se procedió a compartir los resultados obtenidos con las empresas partícipes, favoreciendo el interés de futuras investigaciones en el sector o en otras líneas de investigación relacionadas (Boaventura et al., 2018).

3. RESULTADOS

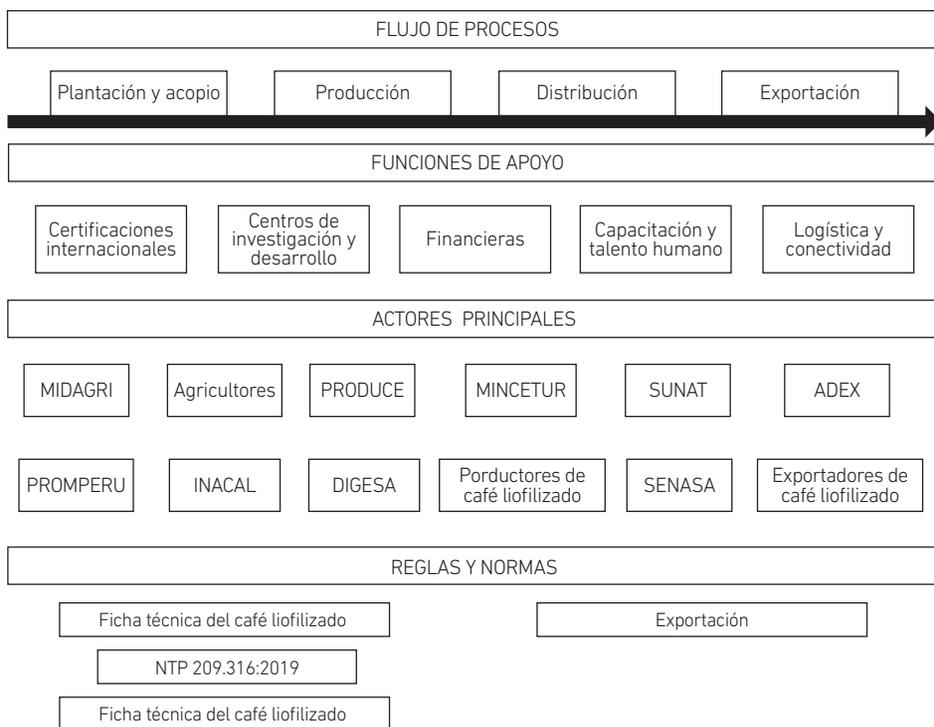
A continuación, se presentan los resultados de las etapas desarrolladas y validadas por expertos del sector cafetero peruano.

3.1 Identificar los sectores participantes

Como resultado del trabajo de campo se identificó el flujo de procesos, los actores principales, las funciones de apoyo de la cadena de valor y las reglas y normas regulatorias. Además, también a entidades que contribuyen en dicha cadena y en su promoción, como PROMPERU y el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. Ver Figura 3.

Figura 3

Mapeo de la actual cadena de valor del café liofilizado peruano



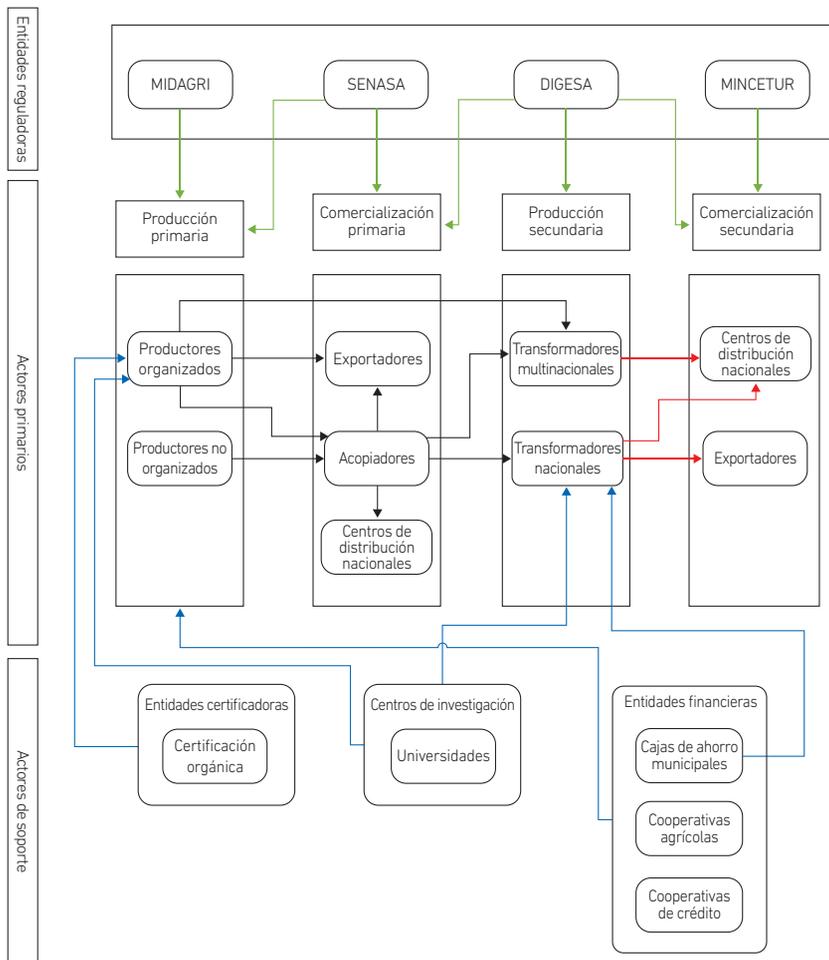
Se han contemplado como actores primarios a los participantes directos en el flujo de procesos necesarios en la elaboración y exportación del café liofilizado y como actores de soporte a aquellas entidades que participan indirectamente en el desarrollo de la cadena de valor, mediante la prestación de servicios, productos, asesorías y tecnología.

Finalmente, se consideraron a las entidades gubernamentales que ponen a disposición las reglas y normativas nacionales e internacionales necesarias de cumplir para la ejecución de las tareas de agricultura, transformación, distribución y exportación de café liofilizado.

Una vez identificados los elementos de la cadena de valor, se procedió a relacionar actores principales, de apoyo y entidades regulatorias presentes en la Figura 4, de elaboración propia.

Figura 4

Modelo actual de la cadena de valor del café liofilizado



En la Figura 4 también se logró identificar diferentes flujos. Primero los flujos de color negro, que representan los movimientos de granos de café verde, pergamino u otra forma de café sin mayor procesamiento; los de color rojo indican el movimiento de café liofilizado procesado; los de color azul indican la presencia de servicios o bienes de consumo de soporte y, finalmente, las líneas verdes denotan la presencia de las distintas entidades regulatorias gubernamentales que actúan sobre los actores primarios de la cadena de valor.

Una vez conocidos los elementos de la cadena de valor y la interrelación presente entre ellos, se procedió a identificar las limitaciones que afectan tanto el desarrollo aislado del actor, como las problemáticas que impactan de manera determinante en aquellos actores con los que tiene contacto directo o mediante algún intermediario.

A. Proveedores

Se denomina como proveedores al sector primario encargado de la producción de café en grano, siendo esta misma la materia prima necesaria para la elaboración de café liofilizado. Perú produce casi exclusivamente café arábica, del cual más del 70 % es de la variedad típica, seguido de caturra (20 %) y otras (10 %) (Fórumcafé, 2020). El sector está dominado por agricultores no organizados o, en su defecto, por organizaciones (como comités, asociaciones, cooperativas, comunidades campesinas) que carecen de asistencia técnica y de acceso a los servicios básicos. Además, tienen un bajo nivel de asociatividad y han desarrollado escasamente el mercado de bienes y servicios agrarios de calidad (Díaz & Carmen, 2017).

La selección y separación del café en el Perú es inconsistente, debido a que se tiende a mezclar cafés de diferentes calidades o inclusive se llega a vender café con certificación orgánica en lotes de café sin certificación. Esto último como un medio de venta acelerado de existencias (Castro et al., 2019).

Asimismo, actualmente se carece de planificación frente a la presencia de plagas o desastres naturales propios de las tierras de cultivo (Jacinto, 2019). Esto, sumado a lo anteriormente mencionado, se refleja en un producto inconsistente, volátil y de alto riesgo frente a las proyecciones de compra.

B. Productores

En el Perú, la producción secundaria de café es poco desarrollada, pues el sector se limita mayormente a la producción de café tostado o, en su defecto, café verde (Díaz & Carmen, 2017). Asimismo, para el caso del tostado, al no haber algún estándar establecido en base al destino y a los usos que se le dará al café resultante, se opta por una torrefacción intensa que limita sus usos, dadas las características de tonalidades fuertes y poco ácidas presentes.

Adicionalmente, entre las barreras de entrada en el sector está el nivel de inversión necesario para la adquisición de equipos (como máquinas de lixiviación y liofilización, por ejemplo), con lo cual este obliga a que la mayor parte de la producción nacional sea transformada por compradores extranjeros (López Cardona & Gonzáles Gómez, 2012).

C. Distribución

Las redes logísticas de conectividad peruana son sumamente ineficientes. Las vías terrestres que comunican los principales centros agrícolas y de acopio se encuentran en mal estado en el interior del país (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2020). Asimismo, en cuanto al flujo de información, se presenta una carencia de alianzas estratégicas y convenios que permitan al sector primario especializarse y estandarizar su ritmo de producción en relación con los principales transformadores y exportadores presentes a nivel nacional.

D. Exportación

Entre los principales países a los que el Perú exporta café se encuentran: Estados Unidos, Alemania, Colombia, Bélgica y Canadá. Según datos de la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria, el Perú ha llegado a exportar un total de 191 490 y 254 282 toneladas de café verde en los años 2021 y 2022, respectivamente (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2023).

Tabla 1

Exportaciones de café verde peruano en los años 2021-2022

Países	2021 (t)	2022 (t)	Var porcentual 22/21	Estructura porcentual 2022
Estados Unidos	42 755	56 198	31,4	22,1
Alemania	38 676	50 648	31	19,9
Bélgica	20 178	30 283	50,1	11,9
Colombia	22 085	23 503	6,4	9,2
Suecia	9055	13 812	52,5	5,4
Canadá	9611	11 180	16,3	4,4
Italia	8420	10 144	20,5	4
Inglaterra	6574	9009	37	3,5
Holanda	2895	7450	157,3	2,9
Corea del Sur	6421	7124	10,9	2,8
Francia	8033	6949	-13,5	2,7
Japón	2459	5679	130,9	2,2

(continúa)

(continuación)

Países	2021 (t)	2022 (t)	Var porcentual 22/21	Estructura porcentual 2022
España	2266	4445	96,1	1,7
Australia	2379	2191	-7,9	0,9
México	1076	2191	53,1	0,6
Rusia	1708	1648	-26,5	0,5
Portugal	538	1255	98,6	0,4
Resto de Países	6359	1068	83,9	4,6
Total mundo	191 490	254 282	32,8	100,0

Nota. Adaptado de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2023)

“El consumo de café peruano a nivel nacional es de 1,4 kilos de café al año. De ese total, 900 gramos son café nacional y 500 gramos café importado” (Junta Nacional del Café, 2022). A pesar de que Perú consume en la mayoría café soluble o liofilizado, la cantidad de exportación de ese tipo de café es insignificante comparada con otros países como Brasil, por lo que se importa más de lo que se exporta con relación al café liofilizado (Junta Nacional del Café, 2022).

Tabla 2

Exportación del café liofilizado 2018-2022

País de destino	Total registros	Total FOB (dólares)	%	Total kg	US\$/kg
Colombia	36	139 187	58,26 %	3627	38 379
Estados Unidos	14	57 800	24,19 %	9828	5881
Bolivia	19	23 669	9,91 %	400	59 158
Chile	20	8785	3,68 %	1512	5809
Hong Kong	2	3750	1,57 %	150	25
Ecuador	1	2453	1,03 %	336	7305
China	2	2415	1,01 %	95	25 539
Otros	21	839	0,37 %	433	110 304
Total	115	238 898	100 %	16 381	14 584

Nota. Adaptado de Veritrade (s.f.)

Perú exporta café en grano a países como Brasil o Colombia. Sin embargo, el Perú le compra café liofilizado ya procesado a estos mismos países. Un claro ejemplo es el producto “Nescafé Premium”, en cuyo etiquetado se indica que es elaborado con granos de café peruano, pero su fabricación se da en la empresa Bugalagrande de Nestlé, en

Colombia. Es decir, se importa el café liofilizado en vez de fabricarlo en Perú, como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3

Importación del café liofilizado 2018-2022

País Origen	Total registros	Total CIF (dólares)	%	Total kg	US\$/kg
Brasil	632	43 711 156	51,48 %	6 497 439	6727
Ecuador	133	16 807 020	19,80 %	1 094 916	15 350
Colombia	1144	12 350 715	14,55 %	1 058 539	11 668
México	121	3 327 626	3,92 %	397 086	8380
Reino Unido	89	2 305 484	2,72 %	160 821	14 336
Chile	178	2 227 343	2,62 %	236 588	9414
Malasia	85	985 422	1,16 %	58 105	16 959
Italia	90	761 369	0,90 %	26 992	28 207
Estados Unidos	122	670 022	0,79 %	22 676	29 547
Suiza	20	561 355	0,66 %	25 122	22 346
Otros	103	1 193 465	1,40 %	105 241	277 211
Total	2 717	84 900 977	100%	9 683 525	8 768

Nota. Adaptado de Veritrade (s.f.)

En las tablas 1 y 2 se puede observar una diferencia en las exportaciones del café peruano en las presentaciones de café verde y liofilizado. En tan solo un año, el Perú exportó más de 190 mil toneladas de café verde, mientras que en cinco años solo pudo exportar 16 381 kilogramos de café liofilizado, lo cual ratifica el hecho de que el país está muy por debajo en la competitividad contra otros países exportadores de este tipo de café.

La información previamente descrita denota la baja producción de café liofilizado en el Perú y evidencia la incapacidad de abastecer la demanda nacional, lo cual se suple con las importaciones de los mismos países a los cuales se les exporta café en grano.

E. Certificaciones

Actualmente, cerca del 60 % del café cosechado en el territorio nacional cuenta con la certificación orgánica (Vásquez Barajas et al., 2020). Sin embargo, dicho porcentaje es insuficiente frente a las exigencias del mercado internacional, en el cual no solo el café con certificación orgánica es el de mayor demanda. La presencia de certificaciones de calidad o de origen representan un valor añadido diferenciador con miras a competir en tal mercado.

F. Centros de investigación

En el Perú no existe un centro de estudio especializado en la investigación del café. Las principales investigaciones del sector, a nivel nacional, son realizadas por universidades y entidades internacionales. El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) no considera el café como un área de investigación específica; en cambio, lo identifica como parte del programa de cultivos para la exportación.

G. Entidades financieras

Los servicios financieros presentados a los agricultores están concentrados en tres tipos de proveedores: cooperativas de crédito, cajas de ahorro municipales y cooperativas agrícolas (Julca Otiniano et al., 2018). No obstante, su alcance y desarrollo no se ha focalizado en las áreas de mayor oportunidad de crecimiento de los agricultores, a quienes muchas veces les resulta imposible adquirir productos competitivos con los cuales participar en el mercado.

En base a los problemas encontrados, se propone la aplicación de las siguientes estrategias enfocadas en el desarrollo conjunto de la cadena productiva nacional.

Tabla 4

Propuestas de solución para el eslabón "producción primaria"

Actividad	Propuesta de solución
Adopción de la normativa internacional CODEX alimentarius	Reducir el riesgo de incumplimiento de las especificaciones, en base a las normas y directrices exigidas por el SENASA, ya sea que el café sea orgánico certificado o no. Las prácticas de siembra y cosecha se deben potenciar y estandarizar con la norma internacional Codex alimentarius (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación & Organización Mundial de la Salud, 2018).
Estandarización del cultivo	Usar la subespecie de café arábica típica de mayor demanda, dadas sus características organolépticas. Además, establecer una política de certificación orgánica sobre la producción agrícola cafetera.
Desarrollo de esquemas de garantías y seguros	Se propone el desarrollo de esquemas de garantías y seguros para mitigar los riesgos comerciales y crediticios, así como el establecimiento de fondos de inversión especializados para el sector cafetero, como apoyo frente los desastres naturales, plagas u otros acontecimientos fortuitos que afecten el desempeño de las cosechas.

(continúa)

(continuación)

Actividad	Propuesta de solución
Agrupación en cooperativas	Se debe apuntar a la formalización de la mayor cantidad de pequeños y medianos agricultores no afiliados, así como unificar a los ya existentes, a fin de trabajar con economías de escala. Esto con el objetivo de conseguir un mayor empoderamiento en las negociaciones de precios, además del acceso de mercados financieros.
Financiamiento	Para el caso del desarrollo financiero del sector, se plantea la adopción de productos asequibles y competitivos, como —por ejemplo— los microcréditos colaborativos.

Tabla 5

Propuestas de solución para el eslabón “producción de café liofilizado (producción secundaria)”

Actividad	Propuesta de solución
Establecer alianzas estratégicas en el sector	Se propone crear un canal de contacto directo entre agricultores y transformadores de café liofilizado. Con ello, se omite a los intermediarios que no aportan valor a la cadena. También idear medidas de protección de los elementos de la cadena (la fijación de precios de compra de la producción y compras futuras de lotes, por ejemplo). Como consecuencia, se espera que se fomente la creación de nuevas plantas de transformación secundaria o, en su defecto, se incremente la capacidad de las ya existentes.
Estandarización del proceso de tostado	Establecer un nivel de tostado medio dirigido hacia la industria según la demanda y las preferencias de los consumidores, que permita establecer una presencia y distintivo frente a las otras opciones presentes en el mercado internacional.
Conglomeración del proceso de lixiviado y liofilizado	Se propone la disgregación de operaciones del proceso productivo. Fomentar que las asociaciones y cooperativas en conjunto conglomeren los procesos de liofilización y lixiviación, dada la elevada inversión que estos representan frente los demás equipos utilizados en el proceso.

Tabla 6

Propuestas de solución para el eslabón “distribución nacional”

Actividad	Propuesta de solución
Mejorar la infraestructura	Promover iniciativas de mejora de infraestructura pública y privada. Enfatizar la conectividad de la selva y sierra del interior del país con el puerto de Callao, principal centro de acopio de importación a nivel nacional.
Creación de canales de comunicación	Implementar un foro de comunicación conjunto y accesible para los diferentes eslabones de la cadena de valor. Se proponer que este sea de fácil uso y esté focalizado en la divulgación de la oferta de los agricultores con miras a la producción nacional.

Tabla 7

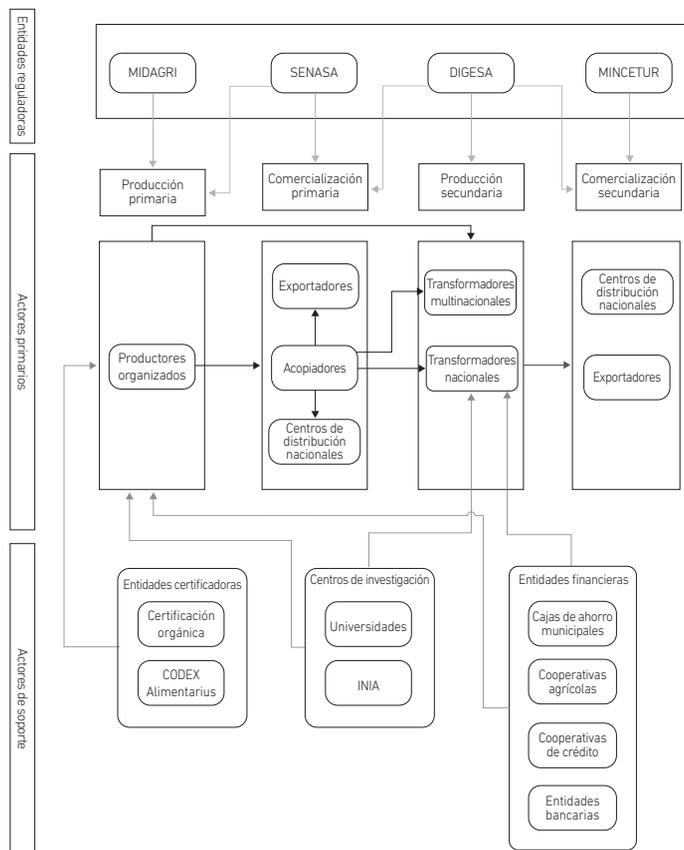
Propuestas de solución para el eslabón exportación

Actividad	Propuesta de solución
Presencia de marca	Plantear una marca diferenciadora de café peruano que sea distintivo de calidad y que tenga las características organolépticas deseadas. Se buscará consolidar la percepción positiva de la marca, mediante la implementación progresiva de propaganda a través de medios convencionales y redes sociales.
Ingreso a mercados desarrollados	Adquirir certificaciones de buenas prácticas, origen, ambientales y de calidad que permitan el ingreso del café liofilizado peruano a países con normativas alimentarias más estrictas. Además, recibir asesoramiento científico de parte de las autoridades de salud alimentarias para cumplir con las políticas de los países a los que se exportará el café liofilizado y así contribuir en proteger a los principales consumidores de café.

A continuación, se muestra el modelo propuesto de la cadena de valor, en el cual se consideran las oportunidades de mejora mencionadas.

Figura 5

Modelo propuesto de la cadena de valor del café liofilizado



La reestructuración de la cadena de valor está basada en la interrelación de los agricultores, intermediarios y productores secundarios, con el objetivo de que se les permita adquirir mayor poder, tanto en la producción como al momento de negociar y ofrecer su producto final en el mercado internacional.

Asimismo, en lo que respecta a la comercialización, se propone reajustar la proporción de café destinado al mercado internacional y al mercado nacional para el empoderamiento de la comercialización del café peruano. Además, en cuanto a las tareas de soporte, se sugiere promover el desarrollo del sector financiero, de los centros de investigación y de las entidades certificadoras especializadas presentes en el sector.

Finalmente, los resultados obtenidos se compartieron y debatieron con las entidades entrevistadas y de este modo se validaron las propuestas, en bases a sus características, impacto y alcance sobre la situación actual.

4. DISCUSIÓN

Una vez colocados los hallazgos obtenidos en los resultados, se encontraron ciertas limitaciones en el estudio, que podrían tomarse como referencias en posteriores investigaciones sobre el sector. Por ejemplo, el alcance de las propuestas de solución en la institucionalidad o el papel del Estado respecto de su participación en la cadena de valor del café liofilizado peruano. Díaz Vargas & Carmen Willems (2017) nos plantean el estado actual de rutas en el interior del país y dan a conocer cómo esta situación perjudica el transporte de café desde el acopio hasta el puerto de exportación. Si bien esta propuesta puede ser expuesta al Estado peruano, solo él podrá tomar la decisión de implementar (o no) tales medidas. Considerando el mismo estudio, los planes de infraestructura para mejorar el transporte vial que sirva a la producción de los agricultores también deberán considerar dificultades (atrasos, robos, pérdidas o detrimento de la mercancía) que acrecientan su dificultad y aumentan los costos logísticos implicados, a fin de combatir efectivamente el problema.

Por otro lado, los resultados de esta investigación con respecto a la comercialización primaria sugieren que se tome como ejemplo el caso de Café de Colombia con la Federación Nacional de Cafeteros. Ellos diseñaron una política de comercialización cuidadosa en la que las cooperativas caficultoras tienen un papel fundamental para que se ejecute la política de garantía de compra como bien público que la institucionalidad cafetera tiene la responsabilidad de defender y proteger (Venegas & Romero, 2022). Sin embargo, factores geográficos, de estructura y sociales hacen que la situación actual en el Perú sea diferente. No obstante, sirve de referencia para trabajar los objetivos a medio y largo plazo para el sector cafetero peruano.

La investigación y el desarrollo resultan cruciales en la búsqueda de competitividad en el mercado internacional. La implementación de nuevas tecnologías, procedimientos y estrategias permitiría superar las dificultades presentes en el sector, como la baja productividad por hectárea respecto al estándar internacional, la dificultad de acceso a maquinaria y asistencia técnica necesaria para la liofilización del café y la considerable merma producida en el transporte y almacenaje de café en grano. Sin embargo, bajo la perspectiva actual, se carece tanto de la red logística como de la información necesaria para el desarrollo integral del sector (Dilas, 2013). Padilla (2017) plantea optar por un rol más dominante en el cual se planifiquen estratégicamente las posturas de todos los participantes de la cadena. Una estrategia enfocada en las relaciones entre los actores posibilitaría alianzas *win to win* orgánicas y acuerdos con el crecimiento y contexto presentes.

5. CONCLUSIONES

El manejo de la cadena de valor debe incluir a todos los actores participantes, tanto de manera directa como indirecta (es decir, quienes participan en las actividades primarias, secundarias y las actividades de soporte), porque la ausencia de alguno de ellos puede afectar el rendimiento y efectividad en la aplicación de las herramientas de mejora propuesta.

La industrialización y transformación del café en el Perú está poco desarrollada. Los agricultores prefieren destinar su producción a la exportación de materia prima. En respuesta a esta situación, la inversión en investigación y tecnología es vital para el desarrollo conjunto de innovaciones disruptivas capaces de incentivar y hacer crecer la industria transformadora de café liofilizado peruano.

La informalidad y la desorganización de los pequeños agricultores de café en el sector primario ha impactado tan negativamente en la competitividad y desarrollo de este sector, que a pesar de que es el producto agrícola más exportado a nivel nacional, solo llega a ocupar el séptimo lugar en exportaciones a nivel mundial. Debido a que no se cuenta con los recursos necesarios para luchar contra las plagas (como pasó con la roya en 2012) ni con un organismo del Estado que promueva al café en el mercado internacional, el sector se encuentra resentido y sometido a las adversidades climatológicas locales. A través de participaciones internacionales (con Promperú, por ejemplo) para promover el café peruano, el país podría aumentar su competitividad en el mercado internacional.

6. RECOMENDACIONES

Las empresas del sector cafetero peruano deberían implementar planes de desarrollo a largo plazo, que consideren investigación, desarrollo de producto, optimización de sus propios procesos, estrategias de comercialización, implementación de cadenas

logísticas eficientes, posicionamiento y gestión de marca.

En el marco legal nacional, resulta necesario velar por el derecho y protección del capital nacional y extranjero sobre el sector, propiciando la inversión y, con ella, el desarrollo progresivo de economías de escala que participen en la cadena de valor.

Por último, se sugiere promover e incentivar el establecimiento de vínculos con organismos internacionales que busquen el desarrollo del sector cafetero para, en consecuencia, implementar mejores prácticas y acceder a fuentes de información clave para el desarrollo de la industria nacional.

7. REFERENCIAS

- Acosta-Alba, I., Boissy, J., Chia, E., & Andrieu, N. (2020). Integrating diversity of smallholder coffee cropping systems in environmental analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 252-266. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01689-5>
- Ayala Gómez, E. J., Bernabé Ponte, E., Montoya Amemiya, M., & Pinedo Gamarra, J. Á. (2016). *Planeamiento estratégico del café en el Perú* [Tesis para obtener el grado de Magíster en Administración Estratégica de Empresas, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7523>
- Barrientos, P. (2018). La agricultura peruana y su capacidad de competir en el mercado internacional. *Equidad y Desarrollo*, 1(32), 143-179. <https://doi.org/10.19052/ed.5056>
- Barrientos, P. (2019). Estrategia de integración del pequeño agricultor a la cadena de exportaciones. *Semestre Económico*, 22(51), 83-123. <https://doi.org/10.22395/seec.v22n51a5>
- Bitzer, V., Glasbergen, P., & Arts, B. (2013). Exploring the potential of intersectoral partnerships to improve the position of farmers in global agrifood chains: findings from the coffee sector in Peru. *Agriculture and Human Values*, 30, 5-20. <https://doi.org/10.1007/s10460-012-9372-z>
- Boaventura, P. S. M., Abdalla, C. C., Araujo, C. L., & Arakelian, J. S. (2018). Value co-creation in the specialty coffee value chain: the third-wave coffee movement. *Revista de Administração de Empresas*, 58(3), 254-266. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020180306>
- Caballero, E., Coz Del Castillo, S., Veliz, I., Vicente, W., & Galarza, C. (2021). Analysis of internal logistic cost on exports of peruvian coffee in the period 2015 – 2019. *Acta Logística*, 8(1), 73-81. <https://doi.org/10.22306/al.v8i1.206>

- Cáceres Lara, C. M. (2019). Exportación de café tostado y molido en filtrante de taza a Santiago de Chile [Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de Licenciado en Negocios Internacionales]. Repositorio Institucional de la Universidad de Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/9963>
- Castro, V., Alvarado, L., Borjas, R., Julca, A., & Tejada, J. (2019). Comunidad de malezas asociadas al cultivo de "café" *Coffea arabica* (Rubiaceae) en la selva central del Perú. *Arnaldoa*, 26(3), 977-990. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26308>
- Food and Agriculture Organization. (2018). *Codex Alimentarius International Food Standards. Guidelines on Nutrition Labeling CAC/GL 2-1985*. https://www.fssai.gov.in/upload/uploadfiles/files/Guidelines_Nutrition_Labelling_16_08_2018.pdf
- López Cardona, L., & Gonzáles Gómez, J. (2012). TIC, redes sociales y la cadena de valor para la comercialización del café. *Scientia et Technica*, 2(51), 138-144. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4272216>
- Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales (2023). *Reporte de Tendencias (café)*. https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2023/05/Reporte_RT_Mayo_2023_RevGA.pdf
- Christopher, M. (2014). *Del insumo al producto. Logística y administración de la cadena de valor*. Trillas.
- Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo. (2023). *Perú en el top diez de productores de café arábico a nivel mundial*. <https://www.gob.pe/institucion/promperu/noticias/823939-peru-en-el-top-diez-de-productores-de-cafe-arabico-a-nivel-mundial>
- Díaz Vargas, C., & Carmen Willems, M. (2017). *Línea de base del sector café en el Perú*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. <https://www.undp.org/es/peru/publications/l%C3%ADnea-de-base-del-sector-caf%C3%A9-en-el-per%C3%BA>
- Dilas J. (2013). *Identificación de oportunidades de innovación tecnológicas en la producción del café en la región Cajamarca* [Tesis de maestría en Políticas y Gestión de la Ciencia, Tecnología e Innovación, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. Repositorio Institucional de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. <https://hdl.handle.net/20.500.12866/1315>
- Dilas Jiménez, J., Zapata Ruiz, D., Arce Almenara, M., Ascurra Toro, D., & Mugruza Vassallo, C. (2020). Análisis comparativo de los costos de producción y rentabilidad de los cafés especiales con certificación orgánica y sin certificación. *South Sustainability*, 1(2). <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-017>
- Dilas Jiménez, J., Diaz, J., Torres, J., Mendoza Pumapillo, J. E., & Tamayo, C. (2021). Producción, precios y dinámica de las exportaciones del café peruano. *Llamkasun*, 2, 99–109. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v2i4.66>

- Durán, G., & Alcívar, J. (2020). La cadena de valor en el proceso agrícola de maracuyá. *ECA Sinergia*, 11(2), 108-118. https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v11i2.2415
- El café de Perú. (2020, setiembre). *Fórum café*, 82. <https://juntadelcafe.org.pe/wp-content/uploads/2020/09/Elcafe%CC%81dePru%CC%81.pdf>
- Febres Cervantes, M. A., & Requejo Pinzon, A. A. (2021). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de café liofilizado para el mercado de Lima [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, Universidad de Lima]. Repositorio institucional de la Universidad de Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/1498>
- Flores Tenorio, P. (2014). Identificación de preferencias adaptables para los productores de café peruanos y colombianos: análisis desde el enfoque de capacidades. *Apuntes. Revista de Ciencias Sociales*, (52/53), 135-154. <https://doi.org/10.21678/apuntes.52/53.534>
- Guzmán, J., & Chire Fajardo, G. (2019). Assesment of the value chain of Peruvian cacao (*Theobroma cacao* L.). *Enfoque UTE*, 10(1), 97-116. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.339>
- Hernández Tolentino, A., & Favila Tello, A. (2019). La mercadotecnia en la competitividad internacional del café mexicano: revisión de literatura. *Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, 8(22), 1-18. <https://doi.org/10.36677/recai.v8i22.11454>
- Jacinto, E. N. (2019) Factores competitivos para el desarrollo de la caficultura peruana. *Pensamiento Crítico*, 23(2), 97-114. <https://doi.org/10.15381/pc.v23i2.15806>
- Julca Otiniano, A., Alarcón Águila, G., Alvarado Huamán, L., Borjas Ventura, R., & Castro Cepero, V. (2018). Comportamiento de tres cultivares de café (Catimor, Colombia y Costa Rica 95) en el valle del Perené, Junín, Perú. *Chilean journal of agricultural and animal sciences*, 34(3), 205-215. [10.4067/S0719-38902018005000504](https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000504)
- Junta Nacional del Café (2022, 24 de agosto). *Consumo per cápita de café en Perú alcanza los 1.4 kilos y la meta al 2030 es llegar a los 2 kilos por persona al año*. <https://juntadelcafe.org.pe/consumo-per-capita-de-cafe-en-peru-alcanza-los-1-4-kilos-y-la-meta-al-2030-es-llegar-a-los-2-kilos-por-persona-al-ano/>
- Lagrasta, F. P., Pontrandolfo, P., & Scozzi, B. (2021). Circular economy business models for the Tanzanian coffee sector: a teaching case study. *Sustainability*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/su132413931>

- Linstone, A., & Turoff, M. (1975). *The Delphi method: techniques and applications*. Addison Wesley Publishing Company.
- Meneses, J., & Vilchez, E. (2017). *Estudio de la marca-ingrediente: caso Juan Valdez, como factor de posicionamiento y contribución al aumento de exportaciones en el mercado del café* [Tesis para optar al Título de Licenciado en Negocios Internacionales, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/621556>
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2015). *Guía de orientación al usuario de transporte terrestre*. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/D93175C6F8C11A5E052582C50055B8B8/\\$FILE/Paginas_01_al_46_Guia_Transporte_Terrestre.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/D93175C6F8C11A5E052582C50055B8B8/$FILE/Paginas_01_al_46_Guia_Transporte_Terrestre.pdf)
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MIDAGRI (2023). *Observatorio de commodities*. Boletín Trimestral, 4-2022. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4488181/Commodities%20Caf%C3%A9%3A%20oct-dic%202022.pdf?v=1685571960>
- Morales, L. V., Robiglio, V., Baca, M., Bunn, C., & Reyes, M. (2022). Planning for adaptation: a system approach to understand the value chain's role in supporting smallholder coffee farmers' adaptive capacity in Peru. *Frontiers in climate*, 4. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.788369>
- Murray-Prior, R., Batt, P. J., Dambui, C., & Kufinale, K. (2018). Improving quality in coffee chains in Papua New Guinea. En P.J. Batt (editor), *ISHS Acta Horticulturae 794* [Simposio]. II International symposium on improving the performance of supply chains in the transitional economies. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.794.30>
- Nutz, N. & Sievers, M. (2016). *Guía general para el desarrollo de cadenas de valor. Cómo crear empleo y mejores condiciones de trabajo en sectores objetivos*. Organización Internacional de Trabajo. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/---ifp_seed/documents/instructionalmaterial/wcms_541432.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación & Organización Mundial de la Salud (2018). *Guidelines on Nutrition Labeling CAC/GL 2-1985*. https://www.fssai.gov.in/upload/uploadfiles/files/Guidelines_Nutrition_Labelling_16_08_2018.pdf
- Padilla, R. (Ed.) (2017). *Política industrial rural y fortalecimiento de cadenas de valor*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL

- Parente-Laverde, A. M. (2020). Value chain and economic development: the case of the Colombian coffee industry. *Organizations and Markets in Emerging Economies*, 11(1), 173–188. <https://doi.org/10.15388/omee.2020.11.29>
- Queirolo Bobadilla, C. (2010). *Promoción del consumo interno del café en el Perú: lineamientos de estrategia*. [Tesis para optar al Título de Magíster en Comunicaciones, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1038>
- Quiroz, A. M. (2021). Evaluación de la cadena de valor de la producción del aceite de palta peruana y propuestas competitivas. *Ingeniería Industrial*, (41), 151-170. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5543>
- Ramos Cotacallapa, E., Lima-Medina, I., & Cornejo-Condori, G. B. (2019). Comparativo de calidad organoléptica de café (*Coffea arabica* L.) en Puno (Perú) y La Paz (Bolivia). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(4), 283-292. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.505>
- Scott, G. J. (2014). Agregando valores a las cadenas de valor. *Revista de Administração de Empresas*, 54(1), 67-79. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020140107>
- Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (s.f.). *Medidas impositivas para las mercancías de la subpartida nacional 0901.11.90.00 establecidas para su ingreso al país*. Recuperado el 15 de enero del 2023, de <http://www.aduanet.gob.pe/servlet/AIScrollini?partida=901119000>
- Tirado Mejía, Á., López Díez, J. C., Álvarez Múnera, J. R., Vélez Vallejo, R., Leibovich, J., & González Sanguino, N. (2017). *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia 1927-2017, 90 años. Vivir el café y sembrar el futuro*. Editorial EAFIT. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4277>
- Thibaut, J.P. (1994). *Manual de diagnóstico en la empresa*. Ediciones Paraninfo.
- Tsai, J.-J., Chang, C.-C., Huang, D.-Y., Lin, T.-S., & Chen, Y.-C (2023). Analysis and classification of coffee beans using single coffee bean mass spectrometry with machine learning strategy. *Food Chemistry*, 426. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136610>
- United States Department of Agriculture - USDA (2023). *Coffee: World Markets and Trade*. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>
- Vásquez-Barajas, E., Bastos-Osorio, L., & Mogrovejo-Andrade, J. (2020). Metodología para la evaluación interna de una cadena de valor. *Clío América*, 14(27), 401-408. <http://dx.doi.org/10.21676/23897848.3685>

Vega-Malagón, G., Ávila-Morales, J., Vega-Malagón, A. J., Camacho-Calderón, N., Becerril-Santos, A., & Leo-Amador, G. E. (2014). Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo. *European Scientific Journal*, 10(15), 523-528.

Venegas Segura, A. A., & Romero Álvarez, V. A. (2022). Producción del café orgánico en Colombia. En D. C. Monroy-Sánchez (Ed.) *Anuario de Investigación Formativa en Contextos Globales (1)* (pp. 18-20). Universidad Católica de Colombia. <https://hdl.handle.net/10983/27852>

Veritrade (s.f.). *Exportaciones e importaciones de café liofilizado en el Perú 2018-2022*. Recuperado el 22 de mayo de 2023, de <https://www.veritradecorp.com/>

COMPARACIÓN DE PRONÓSTICOS CON DEMANDA INTERMITENTE EN UNA EMPRESA DE EMPAQUES DE PLÁSTICO

ALEX VÍCTOR SÁNCHEZ GARCÍA

<https://orcid.org/0000-0002-2847-5791>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

JOSÉ ANTONIO TAQUÍA GUTIÉRREZ*

<https://orcid.org/0000-0002-1711-6603>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 13 de octubre del 2023 / Aceptado: 17 de octubre del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n.6715>

RESUMEN. En el presente artículo se comparan tres métodos de pronósticos de demanda, aplicados en una empresa peruana productora de envases de plástico para el sector cosmético con demanda intermitente. Los métodos comparados fueron Croston, Croston TSB y suavizamiento exponencial. Las métricas de error que se usaron y compararon para realizar los pronósticos fueron el error medio absoluto, el error porcentual medio y el error cuadrático medio. Se observó que el modelo de Croston TSB obtuvo un mejor rendimiento que los otros dos, con un error menor a 20 % contra la venta real.

PALABRAS CLAVE: envases de plástico / cadena de suministro / aprendizaje automático / previsión de ventas / oferta y demanda / suavizamiento exponencial / prospectiva

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor correspondiente.

Correos electrónicos en orden de aparición: 20162521@aloe.ulima.edu.pe; Jtaquia@ulima.edu.pe

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

MACHINE LEARNING APPLIED TO FORECAST INTERMITTENT DEMAND IN A PLASTIC PACKAGING COMPANY

ABSTRACT. This article compares three demand forecasting methods applied to a Peruvian cosmetic plastic packaging company with intermittent demand. The comparison between the error metrics for forecasting Mean Absolute Error, Mean Percentage Error, and Mean Squared Error obtained by the Croston, Croston TSB, and Exponential Smoothing methods showed that the Croston TSB model outperformed the other two, with an error of less than 20 % compared to actual sales.

KEYWORDS: plastic containers / supply chain / machine learning / sales forecasting / supply and demand / exponential smoothing / forecasting

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de operaciones en una empresa de consumo masivo requiere pronosticar con la mayor precisión posible los cambios de la demanda (Nikolopoulos et al., 2016), debido a que la demanda futura influye en la planificación de la producción y la gestión de inventarios. Además, el pronóstico de la demanda es crucial en la cadena de abastecimiento, tanto para la satisfacción del cliente como para el rendimiento financiero.

Usualmente, para calcular la cantidad de pedidos solo se requieren pronósticos generados con la demanda promedio por periodo; esto afecta el inventario y se tiene que calcular con parámetros de desviación estándar para los cuales se asume que no cambian con el tiempo (Willemain et al., 2004). Sin embargo, existen casos en que la demanda es esporádica o intermitente, lo que obliga a que la gestión de inventarios considere restricciones de tiempos de reabastecimiento de proveedores y asignación adecuada de espacios de almacenamiento que cambian periódicamente (Sharma et al., 2021).

Croston (1972), afirma que la demanda intermitente, puede aumentar el nivel de reposición de existencias y sesgar las estimaciones de la demanda media. Además, puede haber niveles de *stock* y, en estos casos, aumentan de manera considerable los costos de producción, almacenamiento, procesamiento de pedidos y entregas.

Pronosticar erróneamente la demanda trae consigo diferentes problemas, entre ellos la sobrestimación, es decir, una situación en que los registros de consumo de ventas para varios productos que se habían mantenido estables durante un periodo de tiempo, presentan existencias en almacén más altas que la demanda máxima que habían requerido para cumplir con la venta.

Uno de los sectores que más ha incorporado la incertidumbre en la gestión de demanda es el sector de manufactura, lo que ha provocado el desarrollo de muchos métodos y técnicas de pronóstico (Gutiérrez et al., 2008), aunque hay que tomar en cuenta que la demanda intermitente también se observa con frecuencia en otros rubros como los negocios de repuestos, maquinaria industrial, etcétera. En todos estos sectores se constata que es muy difícil predecir con precisión la demanda intermitente con las técnicas de pronóstico tradicionales como promedios móviles o suavización simple (Altay et al., 2008).

Entre los aportes de la academia al sector industrial está el diseño de métodos de pronóstico adaptados de un enfoque de serie de tiempo con autocorrelación (Kourentzes, 2013). Entre estos enfoques tenemos el suavizamiento exponencial, el método de Croston Syntetos y la aproximación de Boylan (Syntetos & Boylan, 2001) y, más recientemente, el método Teunter, Syntetos y Babai. Es importante para el adecuado funcionamiento de los métodos de pronóstico de la demanda intermitente que, por la naturaleza incierta de esta, incorporen la idea de recurrencia para hacer más robusta la proyección (Prak et al., 2017).

Ante lo expuesto, la pregunta de investigación para el presente artículo es: ¿cuál de las técnicas se desempeña mejor como método de pronóstico ante una demanda intermitente?

La estructura del artículo es la siguiente: en la sección de métodos, se dará mayores detalles de la metodología a emplear y los datos utilizados; a continuación, se expondrán los resultados experimentales producto del estudio y, finalmente, en la parte de discusión y conclusiones, se analizarán los resultados obtenidos, se discutirá su significado y alcance, y se los comparará con resultados de referencias internacionales.

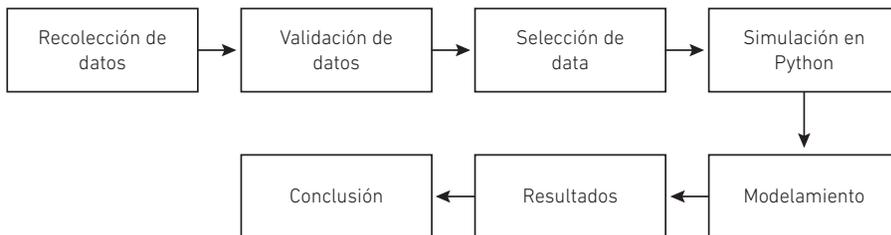
2. METODOLOGÍA

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, de diseño no experimental, de tipo descriptivo. Se utilizó la base de datos de PIERIPLAST SAC, una empresa proveedora de empaques para el sector de higiene y cuidado personal del rubro de cosméticos, líder en el mercado, con una facturación anual de US\$ 30 millones.

En la Figura 1 se muestra la gráfica de la metodología empleada para el presente trabajo de investigación.

Figura 1

Esquema de trabajo



Suavizamiento exponencial

Suavizamiento exponencial simple, o SES por su abreviatura en inglés, es un método de pronóstico de series de tiempo univariantes; es decir, el análisis está basado en una sola variable. Este parámetro, llamado alfa (α) y también conocido como factor de suavizado o coeficiente de suavizado, controla la influencia de las observaciones de períodos anteriores. Alfa se establece en un valor entre 0 y 1. Si alfa presenta un valor alto, indica que el modelo presta atención a las observaciones pasadas más recientes. Por otro lado, si el valor es bajo, significa que se tiene en cuenta una mayor parte del historial al hacer una predicción. Asimismo, el método de suavizamiento exponencial solo tiene en cuenta el tamaño de la demanda de cada periodo de tiempo (Yang et al., 2021). Para hallar el pronóstico se utiliza la siguiente fórmula:

$$\hat{D}t = \hat{D}(t-1) + \alpha (Dt - \hat{D}(t-1))$$

$\hat{D}t$: Es la demanda promedio estimada por periodo para el tiempo t+1 realizada en el momento t.

Dt : Es la demanda real de un artículo en el momento t.

α : Es un parámetro de suavizado que satisface $0 \leq \alpha \leq 1$

Método de Croston

Croston es el método estándar utilizado para pronosticar artículos de demanda intermitente (Babai et al., 2014). Particularmente, implica un suavizamiento exponencial simple separado del tamaño de la demanda y el periodo de tiempo entre demandas. Algunos de los términos para el procedimiento de Croston son los siguientes:

$\bar{T}t$: Es el intervalo de demanda estimado en el periodo t.

Tt : Es el intervalo de demanda observado en el periodo t.

α , Es un parámetro de suavizado que satisface $0 \leq \alpha \leq 1$

$\hat{z}t$: Es el tamaño de la demanda promedio estimado en el momento t.

Zt : Es el tamaño de la demanda observada en el momento t.

El método de Croston actualiza las previsiones de demanda para el tamaño y el intervalo de la demanda, luego de que hubiera una demanda positiva. Esto quiere decir que, si en un periodo t la demanda es cero, el método solo incrementa la cuenta de periodos de tiempo desde la última demanda positiva. El procedimiento se describe a continuación:

$$\hat{z}t = \hat{z}(t-1) + \alpha (Zt - \hat{z}(t-1))$$

$$\bar{T}t = \bar{T}(t-1) + \beta (Tt - \bar{T}(t-1))$$

Si $Dt > 0$, $\hat{z}t = \hat{z}(t-1)$ y $\bar{T}t = \bar{T}(t-1)$

Con el método de Croston, la demanda intermitente se pronostica determinando el volumen de demanda y el intervalo de demanda (Cheng et al., 2016), como se muestra a continuación:

$$\hat{D}t = \frac{\hat{z}t}{\bar{T}t}$$

Croston TSB

Al igual que los otros métodos de pronóstico, el método de Croston TSB también utiliza una estrategia de pronóstico para demanda intermitente. Esta es una modificación del método de Croston (Teunter & Sani, 2009).

Este reemplaza el intervalo de demanda en el método de Croston, por la probabilidad de demanda que se actualiza cada periodo. Por lo tanto, TSB puede utilizarse para abordar temas de obsolescencia, proporcionando previsiones actualizadas, incluso después de largos intervalos con demanda cero (Nikolopoulos et al., 2016; Prestwich et al., 2021). Haciendo una comparación con Croston, el método TSB no está sesgado y su pronóstico de probabilidad puede usarse para estimar el riesgo de obsolescencia. El modelo TSB utiliza un suavizamiento exponencial simple para separar la probabilidad y el tamaño de la demanda. La estimación de probabilidad se actualiza cada periodo, mientras que la estimación del tamaño solo se actualiza cuando la demanda es distinta de cero. El modelo se puede expresar en las siguientes fórmulas:

$$\hat{z}_t = \hat{z}(t-1) + \alpha (Z_t - \hat{z}(t-1))$$

$$\hat{p}_t = \hat{p}(t-1) + \beta(p_t - \hat{p}(t-1))$$

Si $D_t > 0$, $\hat{z}_t = \hat{z}(t-1)$ y $\hat{p}_t = \hat{p}(t-1) + \beta(0 - \hat{p}_t)$

$$\hat{D}_t = (\hat{p}_t)(\hat{z}_t)$$

\bar{T}_t : Es el intervalo de demanda estimado en el periodo t .

T_t : Es el intervalo de demanda observado en el periodo t .

α, β : Es un parámetro de suavizado que satisface $0 \leq \alpha \leq 1$

\hat{z}_t : Es el tamaño de la demanda promedio estimado en el momento t .

Z_t : Es el tamaño de la demanda observada en el momento t .

\hat{D}_t : Es la demanda promedio estimada por periodo para el tiempo $t+1$

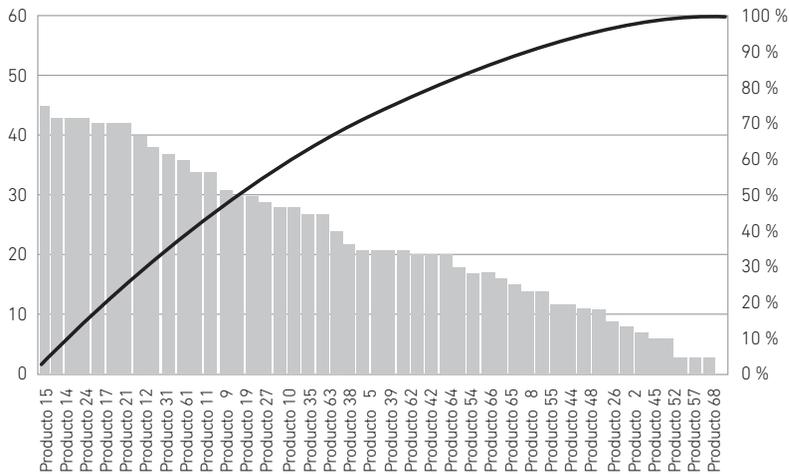
p_t : Es la probabilidad de ocurrencia de la demanda en el tiempo real

\hat{p}_t : Es la probabilidad estimada de ocurrencia de la demanda

Se utilizó la data de 81 productos brindados por la empresa PIERIPLAST SAC, los cuales tienen periodos en los que no hay demanda. Con este universo total de datos, se hizo una gráfica de Pareto para escoger el producto o los productos que generan mayor impacto.

Figura 2

Gráfica de Pareto



Para el cálculo del tamaño de la muestra, se ha usado el método de población finita. Se ha tomado de la data histórica brindada por la empresa en estudio.

Si la población es finita, se conoce el total de la población, y con esto se desea saber cuál será el tamaño de la muestra a trabajar. Se aplicará la siguiente fórmula para calcular el valor de “n”.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

N = Total de la población (81 productos)

Z = 1,96 (si la seguridad es de 95 %)

p = Proporción esperada (en este caso 5 % = 0,05)

q = (1-p) En este caso (1-0,05 = 0,95)

d = Precisión (en la investigación se usará el 5 %)

Al aplicar la fórmula para calcular el tamaño de la muestra, nos arroja un total de 68 productos.

Para el cálculo del pronóstico de la demanda, se ha simulado mediante el lenguaje de programación Python, y se han obtenido valores tanto para el método de suavizamiento exponencial simple, el método de Croston y el método de Croston TSB.

Para aplicar el método de Croston TSB, se evaluaron tres puntos y criterios importantes:

- Periodicidad, que es la frecuencia con la que aparece, se realiza o se repite la demanda.

$$\text{Si } dt > 0, \text{ entonces, } p_{t+1} = \alpha q + (1 - \alpha)p_t$$

$$\text{Si } dt = 0, \text{ entonces, } p_{t+1} = p_t$$

- Nivel de demanda, que mide el impacto de la demanda y es importante porque ayuda a definir el nivel de inversión.

$$\text{Si } dt > 0, \text{ entonces, } a_{t+1} = \alpha dt + (1 - \alpha)a_t$$

$$\text{Si } dt = 0, \text{ entonces, } a_{t+1} = a_t$$

- Pronóstico

Para este trabajo se usará el método de Croston TSB, en el cual se multiplica la probabilidad estimada por el tamaño estimado de la demanda.

$$\hat{D}_t = (\hat{p}_t)(\hat{z}_t)$$

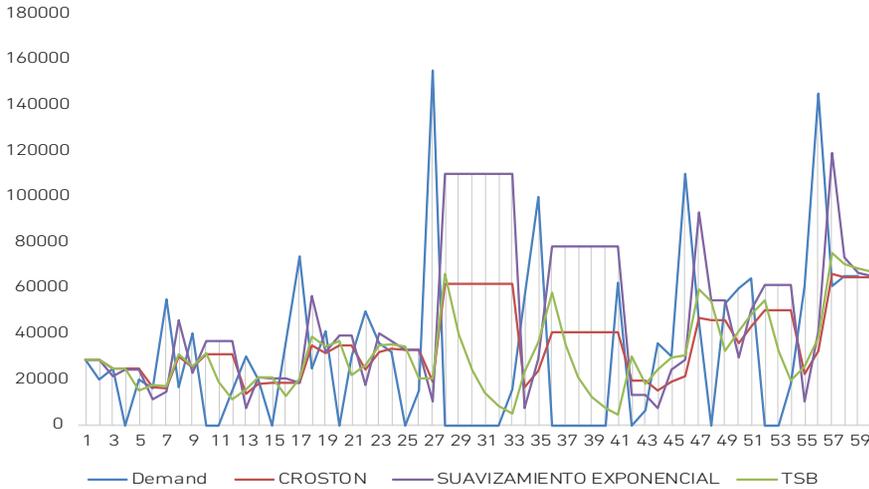
3. RESULTADOS

Se hizo una comparación entre el método de suavizamiento exponencial simple, el método de Croston y el método de Croston TSB, para determinar cuál de los tres métodos de pronóstico aplica mejor para trabajar con una demanda intermitente.

En la gráfica podemos observar cómo el método de Croston TSB presenta una variabilidad baja, en comparación con los otros dos métodos. Además, Croston TSB no está sesgado y su pronóstico de probabilidad puede usarse para estimar el riesgo de obsolescencia. Esto debido a que Croston TSB utiliza un suavizado exponencial único, separado para la probabilidad y el tamaño de la demanda.

Figura 3

Gráfico de pronósticos



Resultados numéricos

Para el cálculo de los errores se han realizado cuatro mediciones, usando los siguientes métodos de errores: ME (error medio), MAE (error absoluto medio), MAPE (error de porcentaje absoluto medio) y RMSE (error cuadrático medio).

A continuación, se muestran las siguientes fórmulas para los diferentes tipos de errores:

$$ME = \frac{\sum(Demanda\ real - Demanda\ pronóstico)}{n} \dots\dots\dots(1)$$

$$MAE = \frac{\sum/|Demanda\ real - Demanda\ pronóstico|}{n} \dots\dots\dots(2)$$

$$MAPE = \frac{\frac{\sum/|Demanda\ real - Demanda\ teórica|}{/Demanda\ real/}}{n} \dots\dots\dots(3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Demanda\ real - Demanda\ pronóstico)^2}{n}} \dots\dots\dots(4)$$

En la Tabla 1 pueden verse los resultados de los errores, para cada tipo de pronóstico.

Tabla 1

Comparación nivel de error

Método de pronóstico	ME	MAE	MAPE	RMSE
Suavizamiento	-16 166,97	42 616	51,20 %	56 063
Croston	- 4206,42	30 694	37,27 %	41 324
Croston TSB	921,69	25 530	19,47 %	36 589

En la Tabla 1 también se puede observar que, por cada tipo de error, el método de Croston TSB ofrece un mejor resultado.

El error medio es positivo (solo se puede observar esto en el método TSB), lo que quiere decir que la cantidad real es mayor a la cantidad pronosticada. Así también, presenta un menor MAE, el cual analiza en qué medida se equivoca en los pronósticos en promedio.

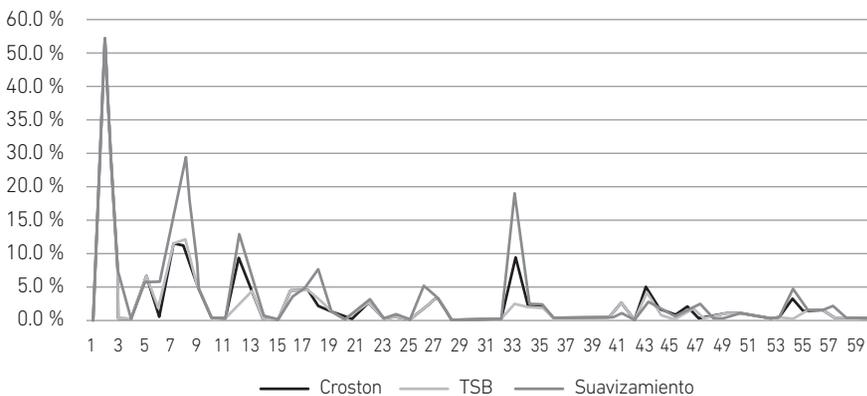
También se puede observar que presenta un menor MAPE (19,47 %) y cabe señalar que los valores del MAPE entre el 10 % y el 20 % son considerados como un buen pronóstico. Un MAPE entre el 20 % y el 30 % es aceptable.

Asimismo, se pudo evaluar el error con el método RMSE. Para el método TSB se obtuvo el menor nivel de error. Por ende, mientras menor sea el RMSE, mejor será el modelo y sus predicciones.

La diferencia con los otros métodos radica en que el modelo TSB realiza un seguimiento tanto en el nivel de la demanda como en la probabilidad de la demanda. Es por ello que genera un menor nivel de error. Como se observa en la Figura 4, el método de TSB genera un menor error (por debajo del 20 %), mientras que el método de SE llega a un pico de 50 %.

Figura 4

Nivel de error



4. DISCUSIÓN

En el presente artículo se compararon tres métodos de pronósticos. El que presentó menor nivel de error (comparando tanto el error medio, el error medio absoluto, el error porcentual medio absoluto y el error cuadrático medio), fue el método de Croston TSB. Así, pues, se ratifica lo señalado por Prestwich et al. (2021) en relación a que el método de suavización exponencial simple conduce a niveles de existencias inadecuados, debido a que hay una tendencia alcista al sesgo en el pronóstico en el periodo posterior a un valor con demanda diferente de cero. Es por ello que da un error negativo, lo que quiere decir que se está sobreestimando la demanda.

Por otro lado, Yang et al. (2021) proponen un nuevo método de pronóstico TSB modificado, en el cual comparan el EM y el RMSE como métodos de errores, y obtienen que el RMSE es menor en el método de TSB que en el método de SBA. En nuestro artículo se llega a la misma conclusión, puesto que el RMSE es menor para el método de Teunter que para el de Croston y el de suavización exponencial.

5. CONCLUSIONES

Una de las principales conclusiones del presente trabajo de investigación es que el método de Croston TSB nos da una mayor exactitud de la demanda al momento de hacer un pronóstico con demanda intermitente. Esto permite mejorar y aumentar la eficiencia de inventario, pues hace que los niveles de existencias tengan un margen mínimo y que los niveles de *stock* sean los adecuados.

Asimismo, el método de Croston TSB realiza un seguimiento al nivel de la demanda y también a la probabilidad de la demanda, mientras que Croston y el método de suavizamiento solo realizan un seguimiento del nivel (que incluye la idea de probabilidad de que se produzca la demanda).

6. REFERENCIAS

- Altay, N., Rudisill, F., & Litteral, L. A. (2008). Adapting Wright's modification of Holt's method to forecasting intermittent demand. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 389–408. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.01.009>
- Amirkolaii, K. N., Baboli, A., Shahzad, M. K., & Tonadre, R. (2017). Demand forecasting for irregular demands in business aircraft spare parts supply chains by using Artificial Intelligence (AI). *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 15221–15226. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2371>
- Babai, M. Z., Syntetos, A., & Teunter, R. (2014). Intermittent demand forecasting: An empirical study on accuracy and the risk of obsolescence. *International Journal of Production Economics*, 157(1), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.08.019>

- Cheng, C. Y., Chiang, K. L., & Chen, M. Y. (2016). Intermittent demand forecasting in a tertiary pediatric intensive care unit. *Journal of Medical Systems*, 40, Artículo 217. <https://doi.org/10.1007/S10916-016-0571-9>
- Croston, J. D. (1972). Forecasting and stock control for intermittent demands. *Operational Research Quarterly (1970-1977)*, 23(3), 289-303. <http://dx.doi.org/10.2307/3007885>
- Gutierrez, R. S., Solis, A. O., & Mukhopadhyay, S. (2008). Lumpy demand forecasting using neural networks. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 409-420. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.01.007>
- Kourentzes, N. (2013). Intermittent demand forecasts with neural networks. *International Journal of Production Economics*, 143(1), 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.01.009>
- Nikolopoulos, K. I., Babai, M. Z., & Bozos, K. (2016). Forecasting supply chain sporadic demand with nearest neighbor approaches. *International Journal of Production Economics*, 177, 139-148. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.04.013>
- Petropoulos, F., & Kourentzes, N. (2015). Forecast combinations for intermittent demand. *Journal of the Operational Research Society*, 66(6), 914-924. <https://doi.org/10.1057/jors.2014.62>
- Prak, D., Teunter, R., & Syntetos, A. (2017). On the calculation of safety stocks when demand is forecasted. *European Journal of Operational Research*, 256(2), 454-461. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.035>
- Prestwich, S. D., Tarim, S. A., & Rossi, R. (2021). Intermittency and obsolescence: A Croston method with linear decay. *International Journal of Forecasting*, 37(2), 708-715. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.08.010>
- Sharma, M., Joshi, S., Luthra, S., & Kumar, A. (2021). Managing disruptions and risks amidst COVID-19 outbreaks: role of blockchain technology in developing resilient food supply chains. *Operations Management Research*, 15, 268-281. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00198-9>
- Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2001). On the bias of intermittent demand estimates. *International journal of production economics*, 71(1-3), 457-466. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00143-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00143-2)
- Teunter, R., & Sani, B. (2009). On the bias of Croston's forecasting method. *European Journal of Operational Research*, 194(1), 177-183. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.12.001>
- Willemain, T. R., Smart, C. N., & Schwarz, H. F. (2004). A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. *International Journal of Forecasting*, 20(3), 375-387. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(03\)00013-X](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(03)00013-X)

Yang, Y., Ding, C., Lee, S., Yu, L., & Ma, F. (2021). A modified Teunter-Syntetos-Babai method for intermittent demand forecasting. *Journal of Management Science and Engineering*, 6(1), 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2021.02.008>

IMPLEMENTING LEAN MANUFACTURING TO OPTIMIZE THE SERVICE LEVEL: AN INDUSTRIAL LUBRICATING OILS PROCESSING AND MARKETING COMPANY CASE STUDY

DAVID FELIPE HERRERA BARBERENA

<https://orcid.org/0009-0002-5765-3056>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

MARÍA FERNANDA TOMAS RIVERA*

<https://orcid.org/0009-0002-5883-158X>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Received: November 9th, 2023 / Accepted: December 15th, 2023

ABSTRACT. This research aims to implement a lean manufacturing management model using tools such as value stream mapping (VSM), single-minute exchange of die (SMED) and autonomous maintenance (AM) to improve the service level within petroleum refining companies. Moreover, its objective is to mitigate the technical gap that leads to monetary losses for the company in question. In terms of methodology, the research used a case study design focused on pre-test and post-test analyses to identify the key improvements. The results revealed a 35 % reduction in company losses and an increase of 19 % in the service level.

KEYWORDS: lean manufacturing / petroleum refineries / petroleum industry and trade

This study was not funded by any entity.

* Corresponding author.

Email addresses in order of appearance: dhbarberena12@gmail.com; mafer83.tomasr@gmail.com

This is an open access article, distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.

IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING PARA OPTIMIZAR EL NIVEL DE SERVICIO. CASO EMPRESA PROCESADORA Y COMERCIALIZADORA DE ACEITES LUBRICANTES INDUSTRIALES

RESUMEN. Este trabajo de investigación busca implementar un modelo de gestión de manufactura esbelta, utilizando herramientas como VSM, SMED, mantenimiento autónomo, para mejorar el nivel de servicio en empresas de refinación de petróleo con el objetivo de reducir la brecha técnica que involucran pérdidas monetarias a la empresa en cuestión. En cuanto a la metodología utilizada, se basa en un diseño de estudio de caso centrado en el estudio del pretest y posttest para identificar las principales mejoras del mismo. Con respecto a los resultados, este estudio logró una reducción del 35 % en las pérdidas de la empresa y un incremento de 19 % en el nivel de servicio.

PALABRAS CLAVE: producción eficiente / refinerías de petróleo / industria petrolífera

1. INTRODUCTION

Salam et al. (2016) define service level as “a measure (expressed as a percentage) of satisfying demand through inventory in time to satisfy the customer’s requested delivery dates and quantities” (p. 899). Poor service levels can result in the loss of customers and sales, whereas on the other hand, excessive inventory results in unnecessary costs due to carrying large inventories (Hübner et al., 2013).

For the development of this research, an oil refining company was taken as a case study, where the expected service level is 100 %, as maximum customer satisfaction is sought. However, the company’s current internal service level stands at 90 %, resulting in losses due to undelivered finished products and missed sales opportunities. The present research aims to create a positive social impact by improving customer satisfaction and reducing the economic losses incurred by the company. Furthermore, it seeks to contribute to scientific knowledge in the field of optimal supply chain management and the implementation of lean practices within the oil industry.

Based on the above, the general objective of this research is to implement lean tools on a stand-alone basis to improve the service level in oil refining companies.

1.1 Rationale

Currently, companies worldwide—as indicated by Duc and Thu (2022)—acknowledge the direct relationship between the service level and operational efficiency in the petroleum products sector. The effective management of the service level not only drives waste reduction, as highlighted by Kowalik (2018), but also enhances the competitiveness of companies in an increasingly competitive business environment. This research aims to analyze the practices adopted by global industry leaders in the management of petroleum products, specifically concerning the service level and lean waste management. The relevance of this analysis lies in the potential to identify best practices implemented by other companies and compare them with the current processes of our own company.

In particular, the research seeks to examine in detail how internationally renowned companies, as referenced by Nascimento et al. (2020), have successfully integrated the service level into their management strategies. Additionally, it aims to understand how these companies address lean waste in their operations to enhance efficiency and, consequently, their service levels. The rationale is based on the premise that, by understanding and adopting successful practices implemented by industry-leading companies, our company can optimize its processes, improve its service level and simultaneously reduce operational waste. In a context where customer satisfaction and operational efficiency are key to business success, this research emerges as a crucial step to align our practices with international standards and achieve a sustainable competitive advantage.

1.2 Service Level, Lean and the Oil Sector

All companies share a common goal: to meet or exceed customer expectations. And, like any organization, this must be measured through indicators. Researchers such as Babarogić et al. (2012) explain that the importance of measuring the service level is defined as a comprehensive indicator that assesses the company's ability to fulfill customer orders at any given time with the expected quality and quantity, considering the ratio of the quantity delivered to the customer in relation to the quantity requested by the same customer.

With this approach, a Japanese company gave rise to the concept of lean manufacturing. Lean thinking focuses on the elimination of activities that do not add value to the processes (Baysan et al., 2019). Despite its benefits, it is important to recognize that some lean practices can generate negative effects, such as increasing stress levels in workers and contributing to musculoskeletal injuries, which are evident in repetitive movements, uncomfortable postures, heavy lifting and prolonged standing (Dombrowski et al., 2017). However, it is essential to emphasize that these detrimental impacts are not directly related to the process under study in this research. Therefore, the implementation of lean must go hand in hand with an appropriate ergonomic model to ensure its effectiveness and mitigate these potential risks (Afonso et al., 2022).

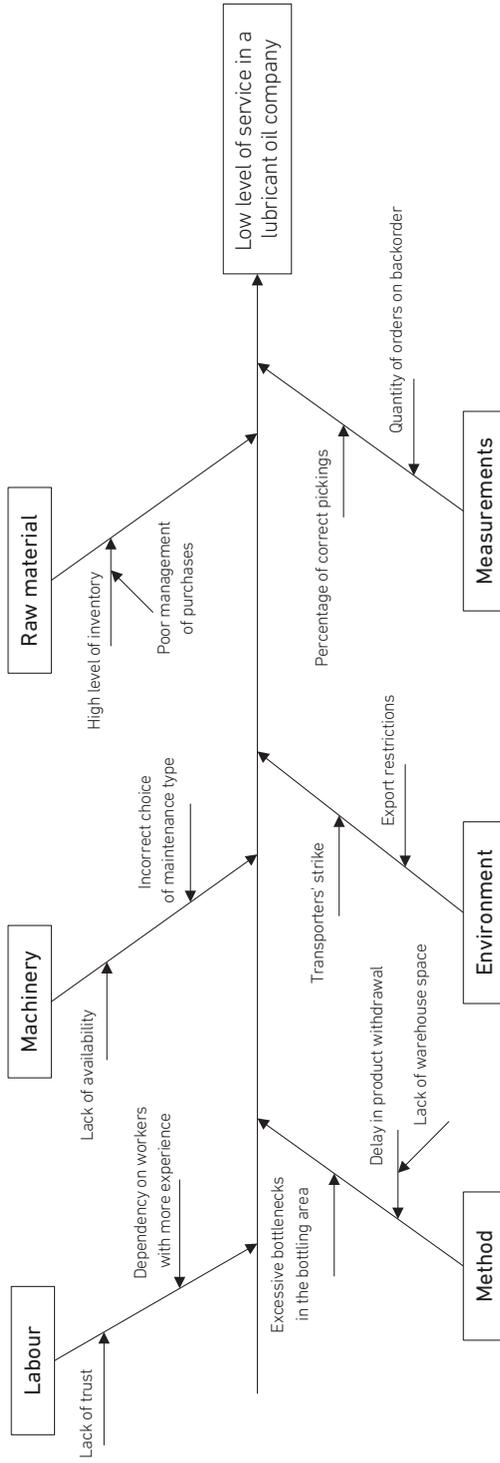
1.3 Problem Diagnosis

One of the problems encountered is the technical gap between the maximum service level, which is 100 %, and the service level of the company under study, which is 90 %. This gap causes a significant financial loss, as it involves finished products that have not been delivered to customers, thus missing a substantial sales opportunity.

For this analysis, it was determined that the quantity of finished lubricating oil products delivered to customers averaged approximately 180 000 units per week (quantity delivered), while there was an agreement with the customers for 200 000 units (quantity requested). Therefore, when dividing the quantity delivered by the quantity requested, it resulted in a service level of 90 %; i.e., 20 000 products valued at 300 000 soles were lost. However, by improving the production chain, increasing delivery efficiency and adjusting the indicator to a service level of 100 %, the company would be delivering 200 000 units (quantity delivered), eliminating its losses per week. Despite the company's good participation rate, various circumstances occurred during the process that hindered its compliance.

Figure 1 shows the Ishikawa diagram illustrating the causes of the problem.

Figure 1
Ishikawa Diagram



Afterwards, to propose an improvement for the low service level by applying lean tools, a lubricating oil production company in Lima, Peru, was selected as a case study. A case study design was chosen to validate the changes using the proposed model. Additionally, a mixed approach was chosen: quantitatively, the aim was to narrow the technical gap in the service level, while qualitatively, the objective was to understand the problem in depth through tools such as observation and interviews with the workers.

Regarding the structure of the research, the first step involved analyzing the process using the value stream mapping (VSM) tool. This allowed the identification of pain points within the production system and areas of lean waste in the flow. This approach helped understanding more accurately where potential opportunities for improvement lied.

According to the demand forecast from November 2023 to October 2024, the company estimates to sell, on average, 1 571 cylinders per month. Its daily demand will be 481 cylinders per day. Figure 2 shows the study of times and other variables that outline the current scenario of the company obtained from the Enterprise Resource Planning (ERP) system managed by the company and the data of a software that determine the Overall Equipment Effectiveness (OEE) in packaging lines.

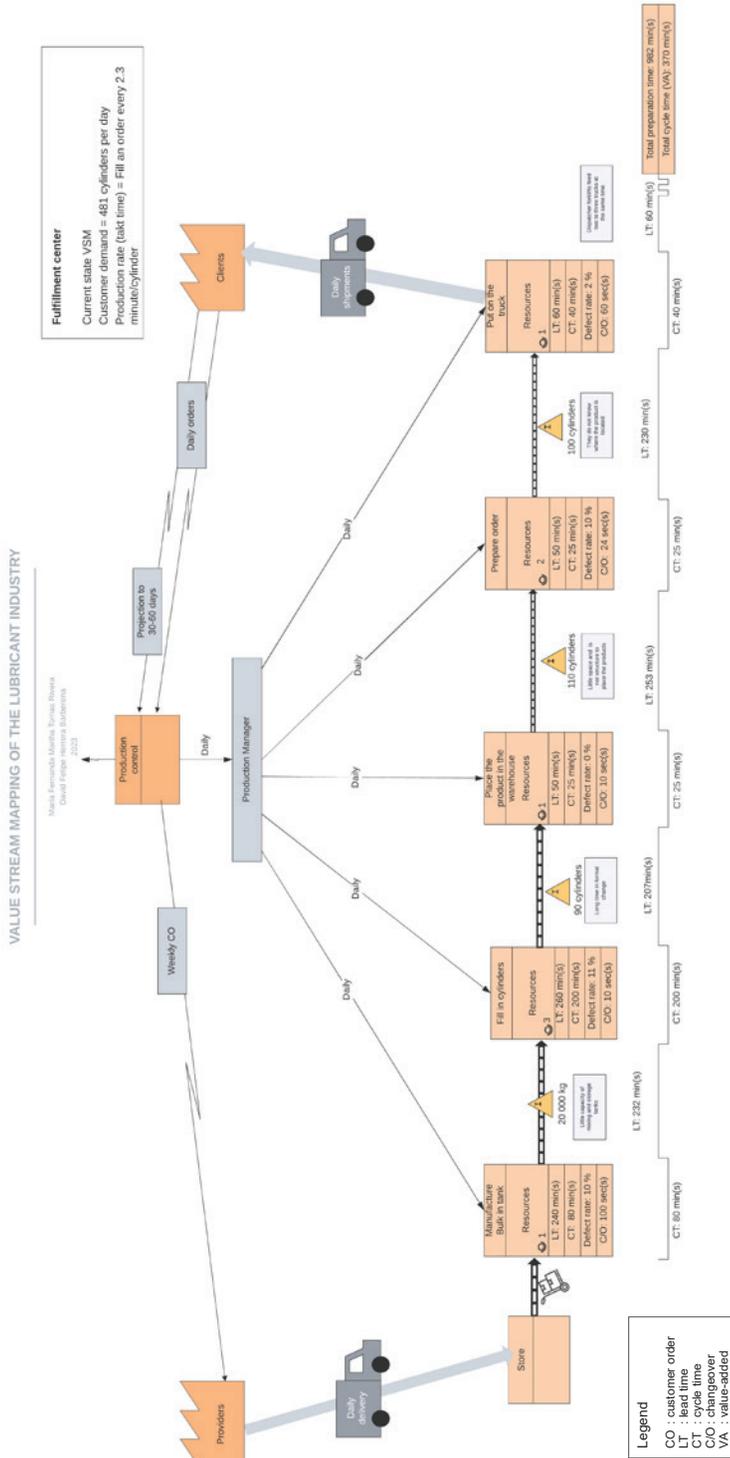
The scope of the VSM ranged from the reception of inputs to their dispatch. Therefore, the current scenario yielded a total cycle time of 370 minutes and a total time of 982 minutes. Additionally, a takt time of 2,3 minutes per cylinder was identified, considering two shifts of nine hours each for daily operation. Finally, the analysis revealed areas of waste, including transportation, waiting times for the availability of mixing tanks, downtime during format changes, low OEE in packaging, limited storage capacity, insufficient resources for order dispatch and inadequate product traceability.

1.4 Background Information

Ali et al. (2020) explain that it is important to maintain an adequate warehouse inventory for better planning of products to be delivered to customers. An adequate control of safety stock in the company's warehouse can ensure an optimal supply margin for products that have not been delivered to customers, thereby covering any remaining order for the same product (Dedousis et al., 2021). As a result, the penalties that would be generated by the lack of undelivered orders to the customer would reduce drastically with a proportionate management of a company's inventory and safety stock (Engelseth & Gundersen, 2018). As can be seen, industries are increasingly looking to find better production design.

Labor performance influences production, with fatigue affecting indicators including service level (Dahlan & Widanarko, 2022). Measures such as stress reduction training and ergonomic methods are suggested (Drews et al., 2020). A solid production chain optimizes automatic and manual stages through lean tools, reducing bottlenecks and downtime (Duc & Thu, 2022).

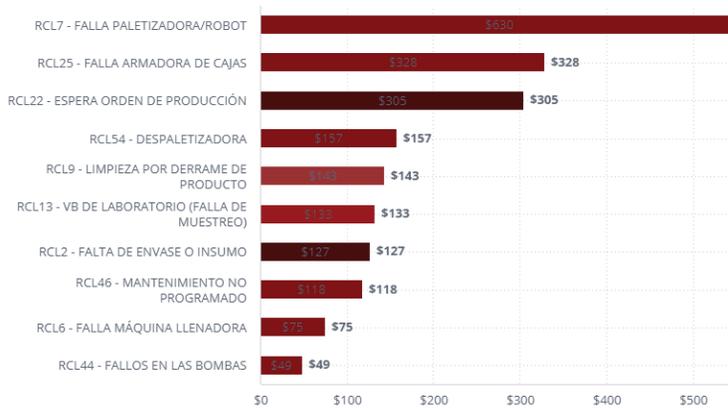
Figure 2
Value Stream Mapping



Currently, the company manages its downtime using a tool that allows for tracking and justification. Consequently, the figures show the reasons for both unscheduled and scheduled stops, where machinery failures and machinery setup take the first place, respectively.

Figure 3

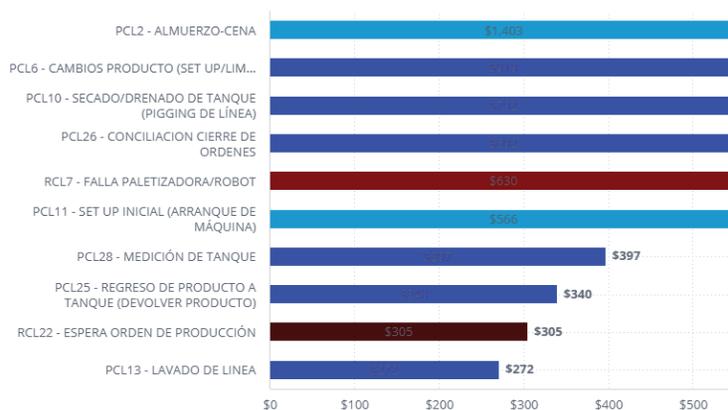
List of Unforeseen Stops



Based on the Figure 3, it can be inferred that one of the main reasons for unscheduled stops is machinery failure, followed by packer failures. Both reasons are more frequently observed within the production chain.

Figure 4

List of Planned Stops

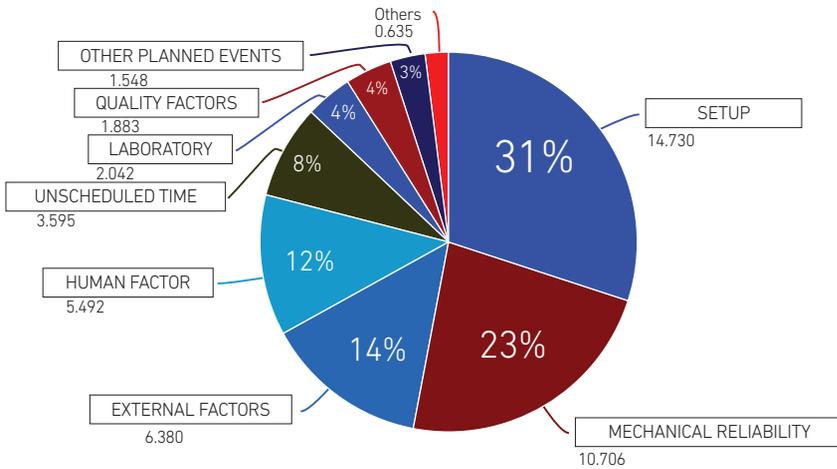


As can be observed in Figure 4, a significant portion of the scheduled stops is necessary to maintain proper and optimal production. These stops are typical for any

production chain and do not involve anything atypical that would result in an increase in downtime.

Figure 5

Percentage Distribution of Stops



It is evident that, regardless of whether they are unscheduled or scheduled stops, 31 % of the total stops are due to format changes, while 23 % are due to mechanical reliability issues. This highlights the importance of addressing both variables.

Currently, the format times of the mixing and packaging areas are presented in tabnles 1 and 2:

Table 1

Initial Setup Times – Mixing (Minutes)

Mixture		Mixer 1	
CURRENT PROCESS		CURRENT TIME	
N°.	Task/Operation	Internal	External
1	Clean the mixer with basic	60	
2	Accommodate the valves	40	
3	Bring additives	60	
4	Warm-up		20
5	Homogenization		30
6	Take a sample	10	
7	Measure tank	20	
8	Liquidate	45	
Current Total		235	50

Table 2*Initial Setup Times – Packaging (Minutes)*

Packaging		Cylinder Line 1	
CURRENT PROCESS		CURRENT TIME	
Nº.	Task/Operation	Internal	External
1	Connect hose to requested tank	10	
2	Line cleaning for previous product and take a sample to laboratory	40	
3	Check balance operation	10	
4	Check filter operation	10	
5	Complete data in the control letter	15	
6	Enter the parameters of the machine	15	
7	Place the containers	200	
8	Label 200 cylinder		66
9	Package		200
		Current Total	300
			266

These data suggest that there are opportunities to improve internal efficiency in both areas, with a more critical need in the packaging area. It is recommended to focus on reducing internal times to achieve a more efficient operation throughout the mixing and packaging processes.

After collecting the initial research data and presenting the company's initial data, the tools that will allow the improvement of the identified variables will be outlined.

2. METHODOLOGY

Regarding the current scenario, the main critical points are the mixing and packaging areas. In the mixing area, given the company's large product portfolio, the setup and adjustment of the machines to adequately perform the production sequence for each production line result in increased production times due to slow pace of such changes and limited tank availability. Meanwhile, in the packaging area, delays stem from frequent maintenance, reprocessing, downtime and inadequate employee training, which slows down one of the final stages of the production chain. In order to improve the production chain by avoiding accumulated dead times and human errors, it is necessary to implement a lean manufacturing management model. This approach will minimize these problems, particularly in the aforementioned affected areas.

First, in the mixing and packaging areas, a single minute exchange of die (SMED) system should be implemented, standardizing optimized operations to intensify efficiencies and increase production capacity.

It is worth mentioning that the company currently maintains a culture of standardized work and continuous improvement due to the requirements set forth by its headquarters. Although the company has no knowledge of lean methodology and its pillars, it has established a solid precedent, which has enabled it to hold the Certificación Trinorma (Trinorma Certification) for several years.

Secondly, for the packaging area, it is advisable to implement one of the pillars of the total productive maintenance (TPM) tool, i.e., autonomous maintenance (AM). This tool focuses on shared employee responsibility for the maintenance of the equipment, machinery or work areas. Its implementation aims to increase operational efficiency and equipment availability, thus reducing unexpected downtime, improving product quality, increasing the OEE of packaging and impacting on its production (Villaseñor & Galindo 2007).

For the proper implementation of AM in the packaging area, it is necessary to include personnel training programs on key aspects of effective management. The following points must be addressed (Hernández et al., 2015):

- **Awareness:** It is crucial that operators and personnel in the packaging area understand the importance of AM and receive the necessary training.
- **Identification of Key Equipment:** Determine which machines and critical equipment in the packaging process would benefit most from AM.
- **Establishment of Maintenance Routines:** Create preventive maintenance routines that include tasks such as cleaning, lubrication, inspections and adjustments.
- **Documentation and Monitoring:** Record all maintenance activities, problems detected and solutions applied. This provides a basis for monitoring and continuous improvement.

Once appropriate training programs have been developed, structured implementation of AM is necessary, following steps to prevent any anomalies within the production chain. This will enable the identification of anomalies or signs of problems with the purpose of taking immediate corrective and preventive measures.

Identification of Anomalies: When an operator identifies an anomaly in the packaging area, it should be reported immediately to the maintenance personnel or the designated responsible person. The report should be clear and detailed, including information about the affected machine, the type of anomaly observed and any corrective or preventive actions taken.

Table 3*Anomaly Table (Example)*

Item	Anomaly	Machine	Unsafe Areas	Exposure	Priority	Root Causes
1	Electrical failures	Blow molding machine	Wet floors	Electrical hazard	Urgent	Incorrect wiring

Preventive Actions: Once the anomaly has been reported, immediate actions should be taken to address the issue. These actions may include stopping the machine if necessary, making minor repairs or applying the relevant preventive measures.

Follow-up and Control: After resolving the anomaly, it is necessary to conduct follow-up to ensure it does not recur. Additional measures can be implemented to prevent similar issues in the future.

According to previous research, Madrid (2021) pointed out that, following the implementation of AM, cleaning times for the production line were reduced and equipment downtime decreased, resulting in a 71,8 % increase in the average OEE. This finding is highly relevant to the present research, as it provides a benchmark for this particular case study, suggesting that effective management of the tool can lead to similar results.

Finally, after presenting the lean tools involved in the research and in order to propose improvements for the low service level, it is necessary to define the main parameters that will allow the simulation in the Arena Simulation Software 16.1 to compare the initial scenario with the improved scenario.

On the one hand, for the calculation of the sample size, the infinite model was used since the calculation starts from an unknown population. For this case, the following formula was used:

$$N = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$$

Here, Z represents the confidence interval, which is set at 95 %, indicating a value of 1,96. Since the probability of occurrence of the event is unknown, p and q are assumed as 50 % each, with an estimated error of 5 %. With all these values established, we proceeded to input the data into the formula, resulting in a sample size of 384 samples (García-García et al., 2013).

On the other hand, the pre-test study was started with the collection of previous data. It involves simulating the management model in the Arena Simulation Software 16.1. Once the simulation is completed, the post-test study begins, which involves

analyzing the results obtained by comparing the current scenario versus the simulated one and incorporating the improvements. To determine the number of replications required, data collected from related research are used. These include the number of initial replications, which is set at 20 (*no*), the absolute margin of error, which is set at 0,14 (*ho*), and the desirable margin of error, which is set at 0,1 (*h*). These parameters are entered into the following formula:

$$n = no * \left(\frac{ho}{h}\right)^2$$

After applying the formula and replacing the values, we obtain a total of 39,2 replicates, rounded up to 40 (Torres, 2012).

3. RESULTS

Once the first step of the SMED tool was implemented, a reduction in internal times of 44 % in the mixing area and 77 % in the packaging area was achieved. Likewise, external times increased by 110 % and 5 % in the mixing and packaging areas, respectively.

Table 4

SMED (Mixing)

Mixture	Mixer 1	Set-up Tools Required	Operator Number	1	Standard Set-up Time	
			Date Prepared		Minutes	
CURRENT PROCESS		CURRENT TIME		PROPOSED TIME		
N°	Task/Operation	Internal	External	IMPROVEMENT	Internal	External
1	Clean the mixer with basic	60			60	
2	Accommodate the valves	40		Check with another operator to replace the task	20	
3	Bring additives	60		Place a warehouse near the mixers	30	
4	Warm-up		20			20
5	Homogenization		30			30
6	Take a sample	10		Does not affect operation		10
7	Measure tank	20			20	
8	Liquidate	45		Does not affect operation		45
Current Total		235	50	Total Improvement	130	105

Table 5
SMED (Packaging)

Packaging		Cylinder Line 1		Set-up Tools Required		Operator Number	3	Standard Set-up Time			
						Date Prepared		Minutes			
CURRENT PROCESS			CURRENT TIME		IMPROVEMENT			PROPOSED TIME			
N°.	Task/Operation		Internal	External				Internal	External		
1	Connect hose to requested tank		10					10			
2	Line cleaning for previous product and take a sample to		40		Extract 40 kg and then pass the test / Improvement (67 %)			25			
3	Check balance operation		10					10			
4	Check filter operation		10					10			
5	Complete data in the control letter		15		Does not affect operation				15		
6	Enter the parameters of the machine		15					15			
7	Place the containers		200		Does not affect operation				200		
8	Label 200 cylinder			66					66		
9	Package			200					200		
			Current Total	300	266				Total Improvement	70	281

This increase in external times may indicate an adjustment in the balance between internal efficiency and coordination with external factors. Although addressing this increase is essential, the significant reduction in internal times represents a positive step toward process optimization, aiming for a more efficient production chain as a whole.

Regarding AM, a Gantt chart (Table 6) was developed as a result of grouping the main aspects for effective management of the tool. It details the sequence of activities to be carried out throughout the 40-day training program, which comprises five (5) modules. An estimated investment of 1 900 soles is anticipated to cover the costs associated with AM training.

Table 6
Training Gantt Chart

Activity	Investment	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40						
Theoretical training	S/ 300	■	■	■	■																																										
Preventive inspection training	S/ 400																																														
Preventive cleaning training	S/ 500																																														
Preventive lubrication training	S/ 400																																														
Control and monitoring training	S/ 300																																														

Note. S/ = Soles (official currency of Peru).

The design of the training program has been structured to ensure a comprehensive understanding and effective application of the principles of AM in the specific context of the company. Each module focuses on different key aspects, ranging from the awareness and understanding of the importance of AM to the identification of critical equipment

and the establishment of preventive maintenance routines, along with the detailed documentation of activities.

After presenting the previous analyses and defining the objectives, the post-test study was initiated, focusing on the interpretation of the results. This study consisted in evaluating the initial scenario of the production chain to identify existing pain points, which will then be compared with the improvement scenario.

As for the post-test study, the Arena software was used to analyze the changes in the service level and the reductions in the previously presented technical gap. Initially, the process diagram mapped in the VSM to the software was sketched (Figure 6).

Then, through the Input Analyzer, the best distribution of each parameter with the calculated sample size ($n = 384$) was evaluated by comparing the p -value and chi-square.

Table 7

Statistical Distribution Evaluation

Concept	Quantity
Batch size per blend	$800 + 5,99e + 05 * \text{BETA}(0,227; 3,19)$
Average requested bulk (kg/cylinder)	NORM(180; 11,5)
Requested cylinder size (units/order)	NORM(78,6; 38,6)
Blend orders (units/day)	NORM(6,63; 3,53)
Packaging orders (units/day)	NORM(6,51; 3,31)
Dispatch orders (units/day)	UNIF(5;10)
Filling line setup (min/unit)	NORM(2,64; 4,44)
Filling speed/cylinders	NORM(0,894; 0,552)
Cylinders required/order	$0,999 + \text{WEIB}(5,14; 0,457)$
Unforeseen events (min)/cylinder	NORM(0,267; 0,711)
Mixing time/kg	NORM(0,00446; 0,000889)
Loading speed/cylinder	UNIF(4,5; 10,5)
Blend format change time	UNIF(29,5; 45,5)

In conclusion, the company's service level accounted for 47,4 %, i.e., the company fulfilled 47,4 % of customer orders, which were affected by delays and problems in the production chain. However, after the implementation of simulated improvements, the resulting indicator was 65,9 %, marking an increase of 19 %, as shown in figures 7 and 8. Thus, the company would show a 35 % decrease in losses in soles.

Figure 6
Simulation Diagram in Arena

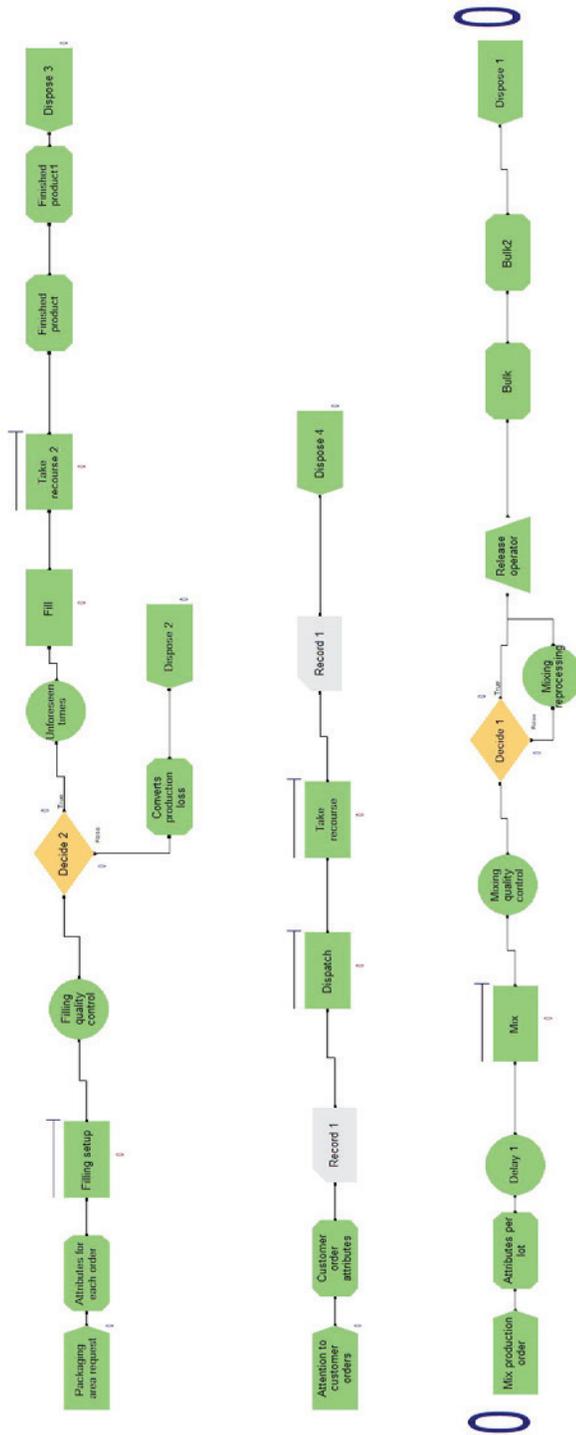


Figure 7

Output Analyzer in the Initial Scenario

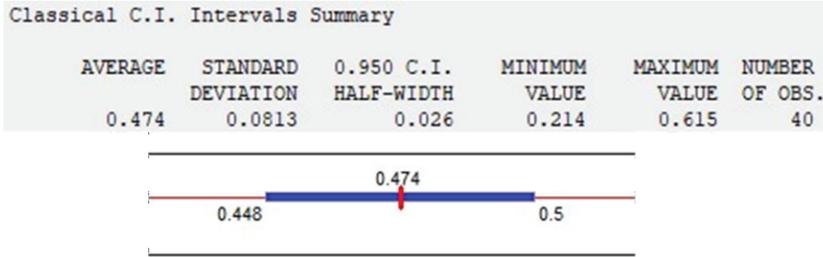


Figure 8

Output Analyzer of the Improved Scenario

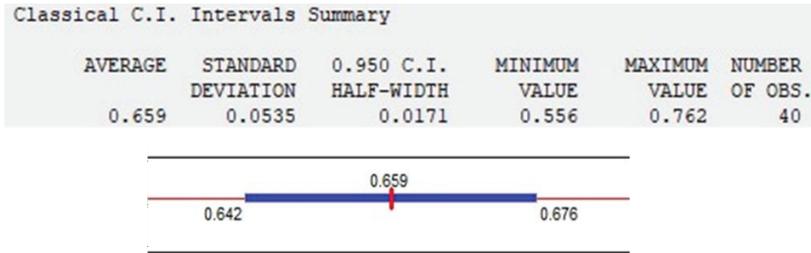


Table 8

Initial Scenario vs. Improved Scenario (Cylinders)

Criteria	Initial Scenario	Improved Scenario	GWTH %
Delivered products	[45; 51]	[65; 69]	
Agreed-upon products	102	102	
e	[45 %; 50 %]	[64 %; 68 %]	+ 19 %
Undelivered products	[51; 57]	[33; 37]	
esoles (currency)	[148 K; 166 K]	[96 K; 107 K]	- 35 %

Delivered Products: In the initial scenario, 45 to 51 products were delivered. In the improved scenario, 65 to 69 products were delivered. This represents a 44 % increase in the quantity of products delivered, indicating a significant improvement in delivery efficiency.

Agreed-Upon Products: In both cases, 102 products were agreed upon, i.e., the agreed-upon quantity remained constant.

Service Level: In the initial scenario, the service level ranged from 45 % to 50 %. In the improved scenario, it increased to a range of 64 % to 68 %. This marks a 19 % increase in the service level, indicating the company's improvements in customer satisfaction and fulfillment of delivery agreements.

Undelivered Products: In the initial scenario, there were between 51 and 57 undelivered products. In the improved scenario, this figure was reduced to between 33 and 37 undelivered products. This represents a 27 % decrease in the quantity of undelivered products, indicating an improvement in inventory and delivery management.

Loss in Soles (Local Currency Loss): In the initial scenario, losses ranged from 148 000 to 166 000 soles. In the improved scenario, losses were reduced to the range of 96 000 to 107 000 soles. This represents a 35 % decrease in losses, indicating an improvement in operational efficiency and a reduction in costs associated with losses.

In summary, implementing the first step of the SMED tool resulted in significant reductions in internal times of 44 % in the mixing area and 77 % in the packaging area, while increasing external times by 110 % and 5 %, respectively. This suggests a potential adjustment in internal efficiency and external coordination. The implementation of AM was detailed in a 40-day program with an estimated investment of 1 900 soles, focusing on key aspects. The post-test study, using Arena, revealed a 19 % increase in the service level, with remarkable reductions in undelivered products (27 %) and losses (35 %). This improved scenario reflects significant progress in delivery efficiency, customer satisfaction and inventory management, highlighting the positive impact of the implemented improvements on the overall performance of the production chain.

4. DISCUSSION

The results can be categorized into two main pillars. First, there is the social pillar, which is the most important since the primary affected party is the customer. Within any company, it is crucial to maintain a close relationship with this key stakeholder. Therefore, when the company experiences improvements in the service level indicator, it increases its ability to meet the demand for customer orders. This is linked to increased customer satisfaction, which is always positive. It is noteworthy that, regardless of the percentage increase in the indicator, it contributes to improving the profile of the company under study. It positions the organization as one that cares about ensuring the customer sales experience, characterized by effortless orders and attentive service of the quality and efficiency that they deserve.

Secondly, the economic pillar indicates a favorable scenario for the company based on the results. Prior to implementing the improvements, the company had a service level of 47,4 % and after implementing the improvements, this indicator increased to 65,9 %, accounting for a 19 % growth. This increase allowed the company to reduce the amount of undelivered products valued at 157 000 and 102 000, respectively. Therefore, these improvements led to a 35 % reduction in losses, which is quite beneficial and profitable for the company. Moreover, as the service level indicator increases, the penalties for non-compliance with Service Level Agreements (SLAs) decrease since the hours of delay in order delivery and the monthly value of the services affected are lower.

On the other hand, the social significance of a project, which has an impact on the improvement of the service level, generates greater trust among consumers or customers (Engelseth & Gundersen, 2018). Therefore, an effective management of the service level enables the company to be adequately positioned within the commercial environment since it is directly related to the end customer (Ali et al., 2020). Therefore, the company's reputation is not harmed by the inability to respond to the number of orders that are placed; rather, customer loyalty increases as the company is able to meet a large percentage of orders.

The company gained two key benefits: bridging the technical gap and reducing financial losses. Despite having satisfactory service levels, operating in mass consumption required heightened responsiveness to meet high demand. The 35 % reduction in financial losses translates into annual savings of 2,8 million soles, thereby significantly boosting profitability.

5. CONCLUSIONS

A large part of the production chain has experienced remarkable improvements through the reduction of times and the implementation of lean improvements at critical points. This favorable result confirms the effectiveness of lean manufacturing in achieving significant reductions in times and bottlenecks. As noted by Modrak and Soltysova (2022), companies seek to optimize their resources without affecting the service level. Previous studies on intelligent manufacturing demonstrate that lean techniques serve as a complement to increase productivity in operations and improving service levels. This is evidenced by the authors' results, showing a 97,8 % responsiveness to orders. Therefore, the application of lean principles minimizes production errors and decreases execution times in organizations of the sector, which directly impact fulfillment rates (Engelseth & Gundersen, 2018).

The implementation of a lean manufacturing-based management model has proven effective in enhancing the service level within petroleum refining companies. Process

optimization, reduced execution times and bottleneck elimination directly contribute to a significant increase in responsiveness to customer orders. This approach not only benefits customer satisfaction but also reduces financial losses associated with undelivered products.

In conclusion, despite lean manufacturing's relatively limited exploration within the petroleum industry, the results of this study demonstrate its effectiveness in process optimization and service level improvement. The adoption of lean tools such as SMED and TPM, coupled with intelligent automation through Jidoka, showcases the potential of this methodology in a traditionally complex sector. These findings provide further motivation to explore the implementation of lean manufacturing across other areas within the petroleum industry.

6. REFERENCES

- Afonso, M., Gabriel, A. T., & Godina, R. (2022). Proposal of an innovative ergonomic SMED model in an automotive steel springs industrial unit. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100075>
- Ali, U., Salah, B., Naeem, K., Khan, A. S., Khan, R., Pruncu, C. I., Abas, M., & Khan, S. (2020). Improved MRO inventory management system in oil and gas company: Increased service level and reduced average inventory investment. *Sustainability*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/su12198027>
- Babarogić, S., Makajić-Nikolić, D., Lečić-Cvetković, D., & Atanasov, N. (2012). Multi-period customer service level maximization under limited production capacity. *International Journal of Computers Communications & Control*, 7(5), 798–806. https://univagora.ro/jour/index.php/ijccc/article/view/1075/pdf_115
- Baysan, S., Kabadurmus, O., Cevikcan, E., Satoglu, S. I., & Durmusoglu, M. B. (2019). A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy efficiency: An application in power distribution industry. *Journal of Cleaner Production*, 211, 895–908. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.217>
- Dahlan, A., & Widanarko, B. (2022). A Study on the impact of occupational fatigue on human performance among oil and gas workers in Indonesia. *Kesmas: Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional (National Public Health Journal)*, 17(1), 54–59. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v17i1.5390>
- Dedousis, P., Stergiopoulos, G., Arampatzis, G., & Gritzalis, D. (2021). Towards integrating security in industrial engineering design practices. *Proceedings of the 18th International Conference on Security and Cryptography, SECRYPT*, 1, 161–172. <https://doi.org/10.5220/0010544001610172>

- Dombrowski, U., Wullbrandt, J., & Reimer, A. (2017). Lean stress sensitization in learning factories. *Procedia Manufacturing*, 9, 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.016>
- Drews, T., Molenda, P., Oechsle, O., & Koller, J. (2020). Manufacturing system optimization with lean methods, manufacturing process objectives and fuzzy logic controller design. *Procedia CIRP*, 93, 658–663. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.145>
- Duc, M. L., & Thu, M. N. (2022). Application of lean six sigma for improve productivity at the mechanical plant. A case study. *Manufacturing Technology*, 22(2), 124–138. <https://doi.org/10.21062/mft.2022.028>
- Engelseth, P., & Gundersen, D. (2018). Lean and complex systems: A case study of materials handling at an on-land warehouse facility supporting subsea gas operations. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 13(2), 199–207. <https://doi.org/10.2495/DNE-V13-N2-199-207>
- García-García, J., Reding-Bernal, A., & López-Alvarenga, J. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en Educación Médica*, 2(8), 217–224. [https://doi.org/10.1016/S2007-5057\(13\)72715-7](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72715-7)
- Hernández, A., Escobar, C., Larios, J., & Noriega, S. (2015). Factores críticos de éxito para el despliegue del mantenimiento productivo total en plantas de la industria maquiladora para la exportación en Ciudad Juárez: una solución factorial. *Contaduría y Administración*, 60(1), 82–106. <https://doi.org/10.1016/j.cya.2015.08.005>
- Hübner, A., Kuhn, H., & Sternbeck, M. (2013). Demand and supply chain planning in grocery retail: an operations planning framework. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 41(7), 512–530. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-05-2013-0104>
- Kowalik, K. (2018). Six sigma as a method of improving the quality of service process. *Production Engineering Archives*, 19(19), 10–15. <https://doi.org/10.30657/pea.2018.19.03>
- Madrid, J. G. (2021). *Implementación de herramientas SMED y mantenimiento autónomo para incrementar disponibilidad en la línea de envasado 22 empresa AJEPER, Periodo 2018 – 2019* [Thesis to Earn the Professional Title of Industrial Engineering, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional de la Universidad San Ignacio de Loyola. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/11309>
- Modrak, V., & Soltysova, Z. (2022). Algorithms and methods for designing and scheduling smart manufacturing systems. *Applied Sciences*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/app12063011>

- Nascimento, D. L. M., Goncalvez Quelhas, O. L., Gusmão Caiado, R. G., Tortorella, G. L., Garza-Reyes, J. A., & Rocha-Lona, L. (2020). A lean six sigma framework for continuous and incremental improvement in the oil and gas sector. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(3), 577–595. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2019-0011>
- Salam, A., Panahifar, F., & Byrne, P. J. (2016). Retail supply chain service levels: the role of inventory storage. *Journal of Enterprise Information Management*, 29(6), 887-902. <http://dx.doi.org/10.1108/JEIM-01-2015-0008>
- Torres Vega, P. J. (2012). Simulación del tráfico en una vía expresa y análisis estadístico de los resultados. *Ingeniería Industrial*, 30, 45–49. http://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/217/192
- Villaseñor, A., & Galindo, E. (2007). *Manual de lean manufacturing. Guía básica*. Limusa. <https://nilssonvilla.files.wordpress.com/2011/04/manual-lean-manufacturing.pdf>

DATOS DE LOS AUTORES

SEBASTIÁN MAURICIO CARPIO ESPINO

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Posee dos años de experiencia en *supply chain management*, compras y *data analytics* en el sector hidrocarburos e industrial. Con Diploma de especialidad en *supply chain management* en la Universidad de Lima y un postgrado en Sistemas Integrados de Gestión en la Universidad Nacional de San Agustín.

DAVID FELIPE HERRERA BARBERENA

Egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima, con especial interés en el área comercial y de *marketing*. Apasionado por el crecimiento estratégico de categorías, por medio de planes comerciales orientados en los resultados y en la generación de valor. Con experiencia como practicante preprofesional de *trade marketing* en Nestlé Perú y como practicante profesional de *trade marketing* y *marketing* en Arcor Perú.

RENZO LUIS ALBERTO INDACOCHEA TORRES

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Con experiencia de un año en ensayos no destructivos en equipos de planta en el sector minero. Participa en paradas de planta y servicios en las principales minas del Perú.

MARYSELL JIMÉNEZ LOAIZA

Bachiller de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima. Tiene experiencia en el sector de consumo masivo en el área comercial. Actualmente desempeña el cargo de *channel development analyst* en Unión de Cervecerías Backus, empresa líder en la categoría de cerveza, liderando la estrategia del canal tradicional en bodegas, mini-mercados y licorerías.

RENATO ANDRÉ LINO ROBLES

Bachiller de la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad de Lima, Perú. Cuenta con experiencia de un año en el sector *retail* y seguros, dentro del área de planeamiento y reposición. Actualmente, se encuentra desempeñando el cargo de analista de negocios en el Banco de Crédito del Perú, banco líder en el rubro financiero y marca principal del *holding* Credicorp.

DANIEL EFRAÍN LOZADA RIVERA

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Actualmente se encuentra practicando en el área de producto digital y diseño de Scotiabank Perú. Interesado en áreas de transformación digital, tecnología, finanzas y estrategia. Con conocimientos en metodologías ágiles y *product management*.

DANIELA MOLINA BUENAÑO

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Actualmente se desempeña como practicante profesional de cobranzas y recuperaciones en el área de riesgos de la Caja Metropolitana de Lima.

MARÍA TERESA NORIEGA ARANÍBAR

Doctora en Ciencias Contables y Empresariales por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Magíster en Ciencias en Industrias Forestales por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Ingeniera Industrial por la Universidad de Lima. Es docente principal en la Facultad de Ingeniería de esta casa de estudios. Asesora de investigaciones de tesis e investigaciones de mejora de procesos en empresas. Editora de la revista Ingeniería Industrial. Evaluadora del premio nacional de la calidad. Coautora de libros y diferentes artículos en revistas indexadas.

CARLOS NICOLÁS PUERTAS ARAGÓN

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Actualmente se desempeña como analista junior comercial de gran y mediana empresa en la Bolsa de Valores de Lima. Ha realizado prácticas preprofesionales en la misma empresa, en el área de *market data* y, anteriormente, en el Banco de Crédito del Perú, en el área de canales alternativos. Posee interés por el mercado de valores y finanzas.

ALISSA RODRÍGUEZ GARCÍA

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Actualmente es analista de calidad de interacciones en el área de experiencia del cliente en Entel Perú.

ALEX VÍCTOR SÁNCHEZ GARCÍA

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Coordinador de operaciones en una empresa líder del sector plásticos. Su interés académico es la analítica de datos y los métodos cuantitativos aplicados a procesos de gestión.

JOSÉ ANTONIO TAQUÍA GUTIÉRREZ

Doctor en Gestión de Empresas por la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Magister en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Miembro del Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE) de Estados Unidos. Tiene amplia experiencia en el diseño e implementación de tecnología orientada al análisis de datos y en metodología de investigación científica con proyectos desarrollados en operaciones, cadenas de abastecimiento, analítica en *retail* y servicios de educación.

MARÍA FERNANDA TOMAS RIVERA

Egresada de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima. Su interés se centra en la optimización de procesos y en la mejora continua en el ámbito industrial, así como en encontrar soluciones innovadoras que vayan de la mano con la gestión estratégica de costos. Con experiencia como practicante de producción y como analista de costos de producción en Terpel Comercial, en donde realiza la determinación de costos, hace seguimiento al presupuesto anual de la planta e identifica oportunidades de mejora operacional.



UNIVERSIDAD
DE LIMA