



INGENIERÍA INDUSTRIAL





INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial
Revista de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad de Lima
Carrera de Ingeniería Industrial
N.º 45, diciembre, 2023
doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45>

© 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)

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>

EDITORA

María Teresa Noriega-Aranibar, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-6824-1415>

EDITOR ASOCIADO

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. María 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 - UNIFEI, 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>

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

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

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

Dr. Hector Enrique Gonzales 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

Carlos Cardozo Munar	Universidad Manuela Beltrán, Bogotá, Colombia
Willmer Guevara	Universidad Tecnológica de Chile (sede La Serena), Coquimbo, Chile
Luis Berdún	Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina
William Fernández Goicochea	Universidad de Lima, Lima, Perú
Silvia Schiaffino	Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina
Yvan García	Universidad de Lima, Lima, Perú
Telésforo Vásquez Zavaleta	Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Madre de Dios, Perú
Wilfredo Yushimito	Instituto Politécnico Rensselaer, New York, Estados Unidos

Martin Cornejo Sarmiento	Universidad de Lima, Lima, Perú
Jorge Montoya	Universidad de Lima, Lima, Perú
Bertha Díaz	Universidad de Lima, Lima, Perú
Teresa Garcés Cabrera	Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, Santiago en los Caballeros, República Dominicana
Elías Huerta	Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú
Luis Bedoya	Universidad de Lima, Lima, Perú
Vianey Cruz Sánchez	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, México
Jose Antonio Taquíá	Universidad de Lima, Lima, Perú
Ezilda Cabrera	Universidad de Lima, Lima, Perú
Orlando Gahona-Flores	Universidad de Antofagasta, Facultad de Ingeniería, Antofagasta, Chile
Leandro José Morilhas	Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil
Isidro González	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Estado de Hidalgo, México

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	11
FOREWORD	13
GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN / PRODUCTION MANAGEMENT	15
Procedimiento de gestión de inventarios en el Centro de Inmunología Molecular aplicando el modelo de referencia de los inventarios	17
<i>Leisy Alemán de la Torre, Yulien Morales Hernández, Daimeé Padilla Aguiar</i>	
Identificación de distritos potenciales para la implementación de sinergias industriales aplicables a mipymes manufactureras de Lima metropolitana	39
<i>Aldair Edison Prada Alvarez</i>	
CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE / QUALITY AND ENVIRONMENT	67
Evaluación eléctrica de lámparas de iluminación	69
<i>José Luis Hernández-Corona, Pablo Sánchez-López</i>	
El despliegue de la función de la calidad y la teoría para la solución de problemas de inventiva: un análisis de aproximación para la satisfacción de los requerimientos del cliente	91
<i>Lidilia Cruz-Rivero, Jonathan Meráz-Rivera, Ernesto Lince-Olguín</i>	
Caracterización de la norma ISO 9001:2015 a través de la mejora continua para su implementación en organizaciones con inteligencia artificial	109
<i>Carlos Vázquez Cid de León, Asenet Nizandaya Alcántara Sánchez, Salvador Montesinos González</i>	
Systemic review of the literature of green supply chain management in the food packaging industry	131
<i>Renzo Ernesto Chumpitasi Ortigas, Valeria Gonzales Campana</i>	

INGENIERÍA DE NEGOCIOS / BUSINESS ENGINEERING	155
Situación actual y perspectivas de la producción de palta (<i>Persea americana</i>) peruana en el contexto del comercio internacional	157
<i>Manuel Antonio Flores-Izquierdo, Luis Enrique Espinoza-Villanueva</i>	
Evaluación de la integración en una cadena hotelera de un hotel en la ciudad de Machala	175
<i>Edwin Zambrano, Neyfe Sablón Cossío</i>	
PROYECTOS EMPRESARIALES INDUSTRIALES / INDUSTRIAL BUSINESS PROJECTS	191
Future scenarios of the copper industry. A prospective study of the copper sector in Peru	193
<i>Santiago Arévalo Rodríguez, Joaquín Eduardo Piscoya Álvarez</i>	
CIENCIA Y TECNOLOGÍA / SCIENCE AND TECHNOLOGY	213
Study of the physical and mechanical properties of <i>capirona</i> (<i>Calycophyllum spruceanum</i> [Bentham] Hooker f. ex Schumann) wood as a potential for solid wood flooring production	215
<i>Graciela Isabel Egoavil Cueva Gálvez, Márcio Pereira da Rocha, Ricardo Jorge Klitzker, Pamela Carolina Castro Tamayo</i>	
DATOS DE LOS AUTORES	235

PRESENTACIÓN

A lo largo de su formación académica, el ingeniero industrial aprende diversas y potentes herramientas que le permiten resolver problemas relevantes en el ámbito operativo, táctico y estratégico de las empresas de bienes y servicios. De esa manera, aporta soluciones creativas y sostenibles para las organizaciones y así satisfacer las necesidades de sus clientes y mejorar sus indicadores de gestión.

En tal contexto, investigadores de México, Cuba, Ecuador, Brasil y Perú han realizado recientes investigaciones con resultados que agregan valor en diversas ramas del conocimiento de la Ingeniería Industrial, tales como: en gestión de la producción, con una propuesta para mejorar la gestión de los inventarios y estudios sobre la cadena de suministros verde; en calidad y medio ambiente, con hallazgos interesantes para mejorar la satisfacción del cliente en empresas de servicios y también con una propuesta innovadora donde se aplica la inteligencia artificial en un sistema de gestión de la calidad ISO 9001:2015; en ingeniería de negocios, con los hallazgos de la perspectiva de un producto estrella en la agroindustria; en proyectos empresariales, con un estudio prospectivo del sector en la industria del cobre; finalmente, en ciencia y tecnología, a través del aprovechamiento sostenible de la capirona en la industria maderera.

Por lo tanto, en esta edición 45, presentamos a la comunidad científica aportes relevantes en diversas áreas de la ingeniería industrial, los cuales serán de gran contribución en conocimiento para las empresas de bienes y servicios. También, servirán de ejemplo en las acciones que se deben de tomar en el ámbito académico y futuras investigaciones.

Finalmente, agradezco a los autores de los artículos, al comité evaluador, al comité científico y a los editores por haber realizado un excelente trabajo y permitir así la presente edición de la revista.

Dr. Miguel Avalos Ortecho

Editor asociado de la revista *Ingeniería Industrial*

FOREWORD

Throughout their academic training, industrial engineers learn various powerful tools that allow them to solve relevant problems in the operational, tactical, and strategic areas of consumer goods and service companies. In this way, they contribute creative and sustainable solutions to organizations, meet the needs of their clients, and improve their management indicators.

In this context, researchers from Mexico, Cuba, Ecuador, Brazil, and Peru have conducted recent investigations with results that add value to various branches of Industrial Engineering: a proposal to improve inventory management and studies on the green supply chain both prove helpful for production management; interesting findings that improve customer satisfaction in service companies and an innovative proposal to apply artificial intelligence in an ISO 9001:2015 quality management system innovate in the areas of quality and environment; in business engineering, an Industrial Engineering collaborator shows exciting findings regarding a star product in agribusiness; a prospective study opens up new paths in business projects in the copper industry. Finally, a study of the sustainable use of capirona in the wood industry contributes both to science and technology.

This 45th edition of Industrial Engineering will significantly contribute to engineering knowledge and will serve as an example for scholarly research in the future.

I thank the authors of the articles, the evaluation committee, the scientific committee, and the editors for doing such an excellent job in this new edition of *Industrial Engineering* journal.

Dr. Miguel Avalos Ortecho

Associate Editor, *Industrial Engineering*

PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS EN EL CENTRO DE INMUNOLOGÍA MOLECULAR APLICANDO EL MODELO DE REFERENCIA DE LOS INVENTARIOS*

LEISY ALEMÁN DE LA TORRE

<http://orcid.org/0000-0002-2581-572X>

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Facultad de
Ingeniería Industrial, La Habana, Cuba

YULIEN MORALES HERNÁNDEZ

<http://orcid.org/0000-0003-2073-4688>

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Facultad de
Ingeniería Industrial, La Habana, Cuba

Daimeé Padilla Aguiar**

<http://orcid.org/0000-0003-3426-0217>

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Facultad de
Ingeniería Industrial, La Habana, Cuba

Recibido: 8 de agosto del 2023 / Aceptado: 6 de septiembre del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6574>

RESUMEN. La investigación se desarrolla en el Centro de Inmunología Molecular (CIM), institución biotecnológica cubana dedicada a la investigación básica, el desarrollo y la fabricación de productos para el tratamiento contra el cáncer y otras enfermedades autoinmunes. En este artículo se aborda como problemática la deficiente gestión de los inventarios en las empresas, como consecuencia en gran medida de la inexistencia de procedimientos que permiten el buen desempeño del proceso logístico. El objetivo de la investigación es implementar el procedimiento de gestión de inventarios, el cual permite planificar, gestionar y controlar los inventarios necesarios sin afectar el nivel de los servicios, basado en el análisis de indicadores, descripción de los flujos logísticos y la aplicación del modelo de referencia de los inventarios (MRI_{Inv}). Para ello, se utilizaron diferentes técnicas y herramientas, como entrevistas, observación directa, encuestas, análisis documental, *software* estadístico Minitab y el método ABC. Como resultado se

* Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

** Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: leisy@cim.sld.cu; yulien@cim.sld.cu; padilladaimee@gmail.com

obtuvo la aplicación del procedimiento para gestionar los inventarios, que consta de diez pasos que permiten realizar la gestión de manera organizada.

PALABRAS CLAVE: planificación / gestión de inventarios / procedimiento / indicadores

INVENTORY MANAGEMENT PROCEDURE AT THE MOLECULAR IMMUNOLOGY CENTER USING THE INVENTORY REFERENCE MODEL

ABSTRACT. The research was carried out at the Molecular Immunology Center (CIM), a Cuban biotechnological institution dedicated to basic research, development, and manufacture of products for the treatment of cancer and other autoimmune diseases. The research problem addressed the poor management of inventories in companies, which is largely a consequence of the lack of procedures that enable the good performance of the logistics process. The objective of the research was the implementation of the inventory management procedure aimed at planning, managing, and controlling the necessary inventories without affecting the quality of the services, based on the analysis of indicators, description of logistics flows, and application of the Inventory Reference Model (MRI_{Inv}). Different techniques and tools—including interviews, direct observation, surveys, documentary analysis, Minitab statistical software, and ABC analysis—were used. The result was the implementation of the inventory management procedure, which consisted of 10 steps that allow management to be carried out in an organized manner.

KEYWORDS: planning / inventory management / procedure / indicators

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas enfrentan día a día un alto nivel competitivo por la globalización de los mercados para posicionar sus productos o servicios. Por ello, optimizan sus procesos para lograr disminuir sus costos y aumentar su calidad, y así proporcionar mayor valor agregado. De esta manera, elevan sus indicadores de gestión en cada proceso para alcanzar una mayor satisfacción entre sus clientes (Quiala Tamayo et al., 2018).

Ante esta situación, la gestión empresarial necesita de una adecuada gestión de los inventarios, considerando importante mantener cantidades mínimas en *stock*. Estas permiten absorber las situaciones de incertidumbre y el impacto de la variabilidad y garantizan la continuidad de todo el flujo en la cadena logística para lograr la máxima satisfacción del cliente (Acevedo Suárez & Gómez Acosta, 2015).

Por esta razón, el mantener ventajas competitivas sostenibles no solo implica una alta capacidad de producción, sino contar con mano de obra calificada, con un área de investigación y desarrollo (I+D) y con un sistema logístico flexible que permita actuar en los mercados globales exigentes, tanto en sus normativas regulatorias como en sus actividades comerciales (Dominguez Pérez et al., 2018).

Tradicionalmente, los inventarios han sido considerados como un mal necesario para garantizar la continuidad de la producción; sin embargo, es importante lograr una correcta gestión de los inventarios en las organizaciones para atender las necesidades de los clientes (Martínez González et al., 2022). La gestión de inventario es de total importancia en la eficacia de la competitividad de las empresas, por lo que se deben de aplicar nuevas prácticas y estrategias para mejorar los indicadores de competitividad (Camacho Zapata et al., 2021).

La presente investigación se desarrolló en el Centro de Inmunología Molecular (CIM), institución biotecnológica cubana de ciclo cerrado (investigación-desarrollo, producción, comercialización) que, a partir del cultivo de células superiores, orienta su investigación básica al desarrollo y fabricación de productos para el tratamiento contra el cáncer y otras enfermedades autoinmunes. El CIM se subordina a la organización superior de dirección empresarial (OSDE) BioCubaFarma (Centro de Inmunología Molecular [CIM], 2023).

Según Quiala Tamayo, la logística de entrada es la que más incidencia tiene dentro del sistema logístico, debido a que debe proporcionar oportunamente la gran diversidad y complejidad de materias primas, materiales, insumos y equipamiento para este tipo de industrias de alta tecnología en un país subdesarrollado y con las singularidades planteadas (Quiala Tamayo et al., 2018).

El poder controlar los inventarios de manera correcta con las herramientas y los procedimientos adecuados logrará beneficios en la disposición del almacén, en el orden de los materiales, en el manejo y flujo de la información, y ser así más eficientes

(Romero Agila et al., 2021). Si las empresas lo llevan a cabo, verán el futuro con grandes oportunidades y los desafíos se enfrentarán gracias a la planificación y a la mejora de los procesos, lo cual eliminará o reducirá ineficiencias (Contreras Rivadinayra et al., 2022).

En los almacenes del CIM se ha realizado el estudio en cuestión. Las investigaciones anteriores, tales como el "Diseño de un sistema de identificación de productos y su propuesta de implementación en la Dirección de SERVICIM" y la aplicación del "Modelo de aseguramiento del proceso (MAP) en SERVICIM", arrojaron una serie de problemas que provocan ineficiencias en los procesos logísticos (Rodríguez Rivero, 2018). De ello, se destaca lo siguiente:

- No está definido un método para la gestión de la demanda ni para la gestión de inventarios que garanticen altos niveles de disponibilidad y rotación.
- No se cuenta con un sistema de indicadores que permita controlar y evaluar el desempeño logístico de la entidad.
- Hay presencia de mano de obra no calificada en temas logísticos.

A partir de las deficiencias planteadas, se establece como objetivo general de la investigación: implementar el procedimiento de gestión de inventarios diseñado por Colarte Muñoz & Morales Herrera (2019) en algunos almacenes del CIM. Para el desarrollo del trabajo, se utilizaron diferentes técnicas y herramientas, tales como entrevistas, observación directa, encuestas, análisis documental, *software* estadístico Minitab y el método ABC o Pareto.

El impacto científico de la investigación radica en la obtención de un procedimiento: el de gestión de inventarios. A través de este se puede diagnosticar y evaluar la gestión de inventarios, lo que permite que sea la herramienta utilizada para su mejoramiento, con un análisis enfocado en los elementos y en las interrelaciones de los procesos que componen el sistema logístico. Además, permite reflejar la importancia de la utilización efectiva de los sistemas de *software* utilizados para gestionar los inventarios.

Como aporte social, este artículo contribuye con los esfuerzos en lograr una mayor disponibilidad de productos hacia el cliente final. Esto permite evaluar el crecimiento del indicador de rotación de inventarios y así minimizar la fabricación de productos, los cuales quedan como obsoletos debido a la mala gestión de inventarios.

2. METODOLOGÍA

La gestión de los almacenes es crítica dentro de la cadena de suministros, porque deberá de planificar, mantener y controlar los inventarios para atender y satisfacer las necesidades de los clientes (García Gómez et al., 2019; García Gómez et al., 2020). En tal sentido, la variable independiente de esta investigación —la gestión de inventarios— permitirá caracterizar y

diagnosticar la situación actual del CIM y conocer las causas y deficiencias que influyen en la deficiente gestión de sus inventarios, así como proponer un procedimiento para garantizar la planificación, reposición y control de los mismos para lograr ser eficientes. Por ello, esta es la variable dependiente del estudio.

Para la determinación de las deficiencias técnicas organizativas de la empresa, en cuanto a la gestión de inventario, se empleó la herramienta MRInvAudit del modelo de referencia de inventarios. Además, se utilizaron diferentes técnicas y herramientas, tales como entrevistas, observación directa, encuestas, análisis documental, *software* estadístico Minitab y el método ABC. Se realizó la evaluación cuantitativa para los 204 descriptores de los trece módulos pertenecientes al modelo, el cual al introducir sus respectivas puntuaciones permitió calcular automáticamente el nivel de gestión de inventario del CIM.

El procedimiento para gestionar los inventarios consta de diez pasos que permiten realizar dicha gestión de manera organizada. Para su implementación, se realizan cálculos de los pronósticos de consumo de los productos para el próximo año a partir de ecuaciones arrojadas por modelos estadísticos, específicamente ecuaciones obtenidas del *software* Minitab. Además, con el objetivo de precisar aquellos productos que tienen mayor importancia para los servicios que se brindan en el CIM, se utilizará la clasificación ABC (Pareto). Se aplica este procedimiento a los productos de mayor importancia, determinados por esta técnica, ya que los inventarios de los almacenes del CIM están diferenciados por diversas líneas de productos y una gran cantidad de ítems. A estos productos, a su vez, se les determinan los parámetros de gestión de inventarios y se determinan diez indicadores de gestión que permitirán el control de los inventarios.

2.1 Objetivo

El objetivo de este procedimiento es describir los pasos a seguir en las actividades para la gestión de inventarios en el CIM.

2.2 Alcance

El procedimiento es aplicable a todos los productos de los almacenes analizados. En el caso de estudio, se aplica a los productos de mayor importancia.

2.3 Resultados a obtener y su posterior análisis

- Demanda pronosticada de los productos
- Grupos para gestionar los productos según clasificación ABC
- Método de gestión de inventario para los productos

- Parámetros de gestión de inventarios
- Indicadores de gestión de inventarios.

2.4 Términos y definiciones

OSDE-BioCubaFarma: organización superior de desarrollo empresarial. Es la organización que dirige al CIM.

Recomplus: sistema informático automatizado implementado para la gestión de la planificación y gestión de las compras del CIM.

Inventarios: bienes tangibles que se puedan vender y los suministros necesarios para garantizar un elevado nivel de servicio al cliente.

Política de surtidos: establece la amplitud y detalles de los surtidos que mantienen en venta cada entidad, lo cual es la guía, junto con las normas de inventario, para gestionar pedidos y compras.

Producto sustituto: productos que satisfacen las mismas necesidades.

Producto compatible: productos que pueden ser utilizados simultáneamente.

2.5 Responsabilidades

- El jefe del proceso logístico es responsable de controlar la correcta ejecución del procedimiento y realizar la asignación adecuada de productos a todas las áreas que los demandan.
- El jefe de planificación es responsable de verificar que se cumplan correctamente, y en orden, cada paso para planificar la demanda de productos.
- El especialista de planificación es responsable de solicitar a las áreas que inserten los planes de demanda. Consolidar la demanda.
- El gestor de inventario es responsable de realizar el pronóstico de los productos utilizando métodos estadísticos (Minitab). Efectuar la asignación del método de gestión de inventario a cada producto, así como el cálculo de los parámetros e indicadores de gestión de inventarios y su posterior análisis.
- El especialista de compras es el responsable de confeccionar el informe de solitud de compra luego de calculados los parámetros de gestión de inventario.

2.6 Desarrollo

El procedimiento de gestión de inventarios consta de los siguientes pasos (Martínez Lopes, 2013):

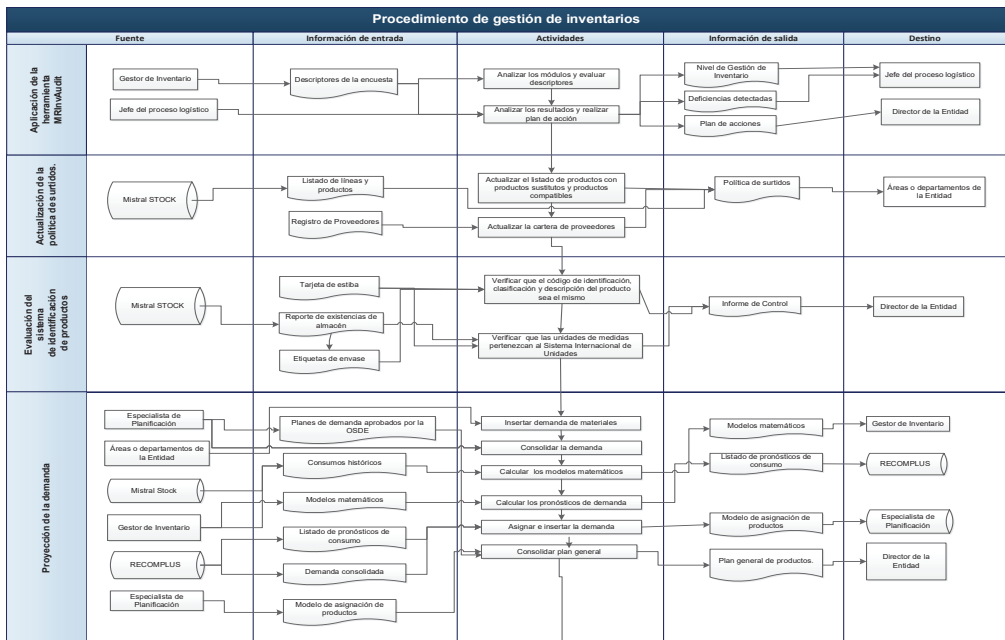
- I. Aplicación de la herramienta MRInvAudit
- II. Definición/actualización de la política de surtidos
- III. Evaluación del sistema de identificación de productos
- IV. Proyección de la demanda
- V. Establecimiento del nivel de disponibilidad
- VI. Creación de los grupos por gestionar
- VII. Asignación del método de gestión de inventario
- VIII. Cálculo de los parámetros de gestión de inventario
- IX. Cálculo y análisis de los indicadores de gestión de inventario
- X. Aplicación de la herramienta MRInvAudit

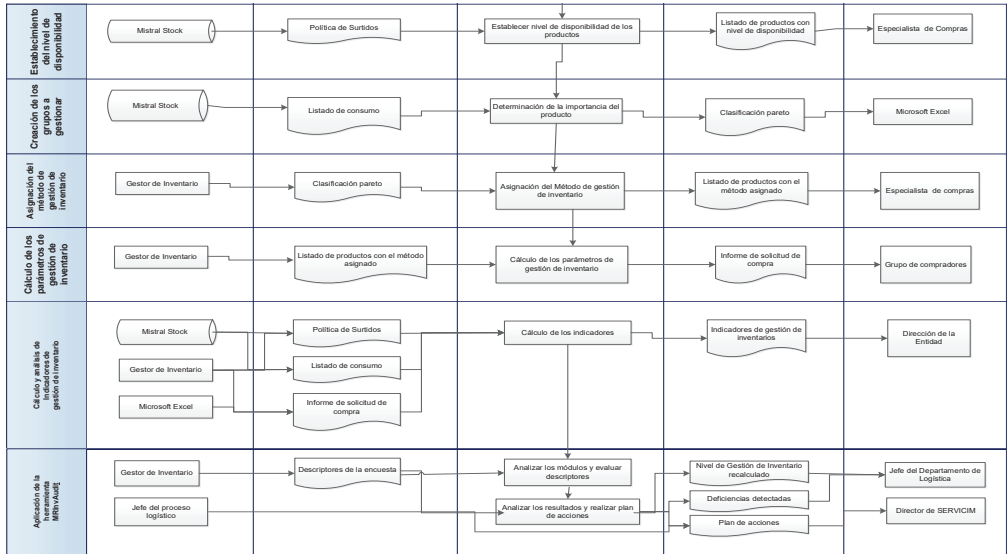
2.7 Diagrama del procedimiento

El flujo de las actividades, los actores involucrados y la información asociada a dicho procedimiento se muestran en la Figura 1.

Figura 1

Diagrama del procedimiento de gestión de inventarios





Nota. Adaptado de Colarte Muñoz y Morales Herrera (2019).

3. RESULTADOS

A continuación, se mostrarán los resultados por pasos de la aplicación del procedimiento.

Paso 1. Aplicación de la herramienta MRInvAudit

Se realizó la evaluación cuantitativa para los 204 descriptores de los trece módulos pertenecientes al modelo de referencia de los inventarios (MRInv). Al introducir las respectivas puntuaciones en el MRInvAudit, perteneciente al modelo, permitió calcular automáticamente el nivel de gestión de inventario de los almacenes de misceláneas. Luego de aplicada la encuesta, se comprobó que el sistema logístico presenta un bajo nivel de gestión de inventario (NGI), con un valor de 1,46 en una escala de 0 a 3, tal (véase la Tabla 1), debido a que el 92,31 % de los módulos del MRInv están clasificados como debilidad y que representan un cumplimiento del 49,02 %.

Tabla 1

Resultados de la aplicación de la herramienta MRInvAudit

Módulo	Módulo del modelo de referencia	Valor	Calificación del nivel de la gestión del inventario	Calificación del módulo	Porcentaje de cumplimiento de los aspectos evaluados
I	Gestión de la demanda	1,30	Bajo	Debilidad	43,33 %

II	Política de surtidos	1,40	Bajo	Debilidad	46,67 %
III	Sistema de codificación y clasificación de productos	1,60	Bajo	Debilidad	53,33 %
IV	Organización del ciclo logístico	1,90	Bajo	Debilidad	63,33 %
V	Planificación y organización de las compras	1,50	Bajo	Debilidad	50,00 %
VI	Gestión integrada de la cadena de suministro	1,65	Bajo	Debilidad	55,13 %
VII	Relaciones intraempresariales	1,86	Bajo	Debilidad	61,90 %
VIII	Registro del inventario	1,31	Bajo	Debilidad	43,59 %
IX	Planificación del inventario	1,15	Bajo	Debilidad	38,33 %
X	Gestión de almacenes	1,74	Bajo	Debilidad	57,97 %
XI	Sistemas de información	1,33	Bajo	Debilidad	36,36 %
XII	Gestión de indicadores	0,92	Bajo	Debilidad	30,56 %
XIII	Formación del personal	1,33	Muy bajo	Debilidad severa	44,44 %
XIV	Valoración total (NGI)	1,46	Bajo	Debilidad	49,02 %

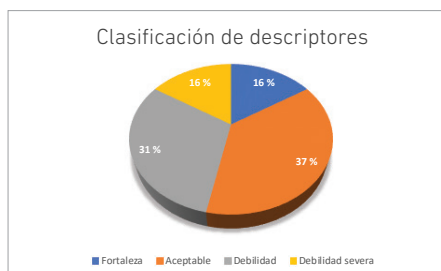
De un total de catorce módulos, trece se clasificaron como debilidad, lo que representa el 92,31 % del total, mientras que un módulo es clasificado como debilidad severa con un 7,69% (véase la Figura 2).

De 204 descriptores, 97 resultaron debilidades o debilidades severas, lo que representa un 47,55 % del total, mientras que el resto, es decir, el 52,45 % representa aspectos clasificados como aceptables o fortalezas de SERVICIM (véase la Figura 3).

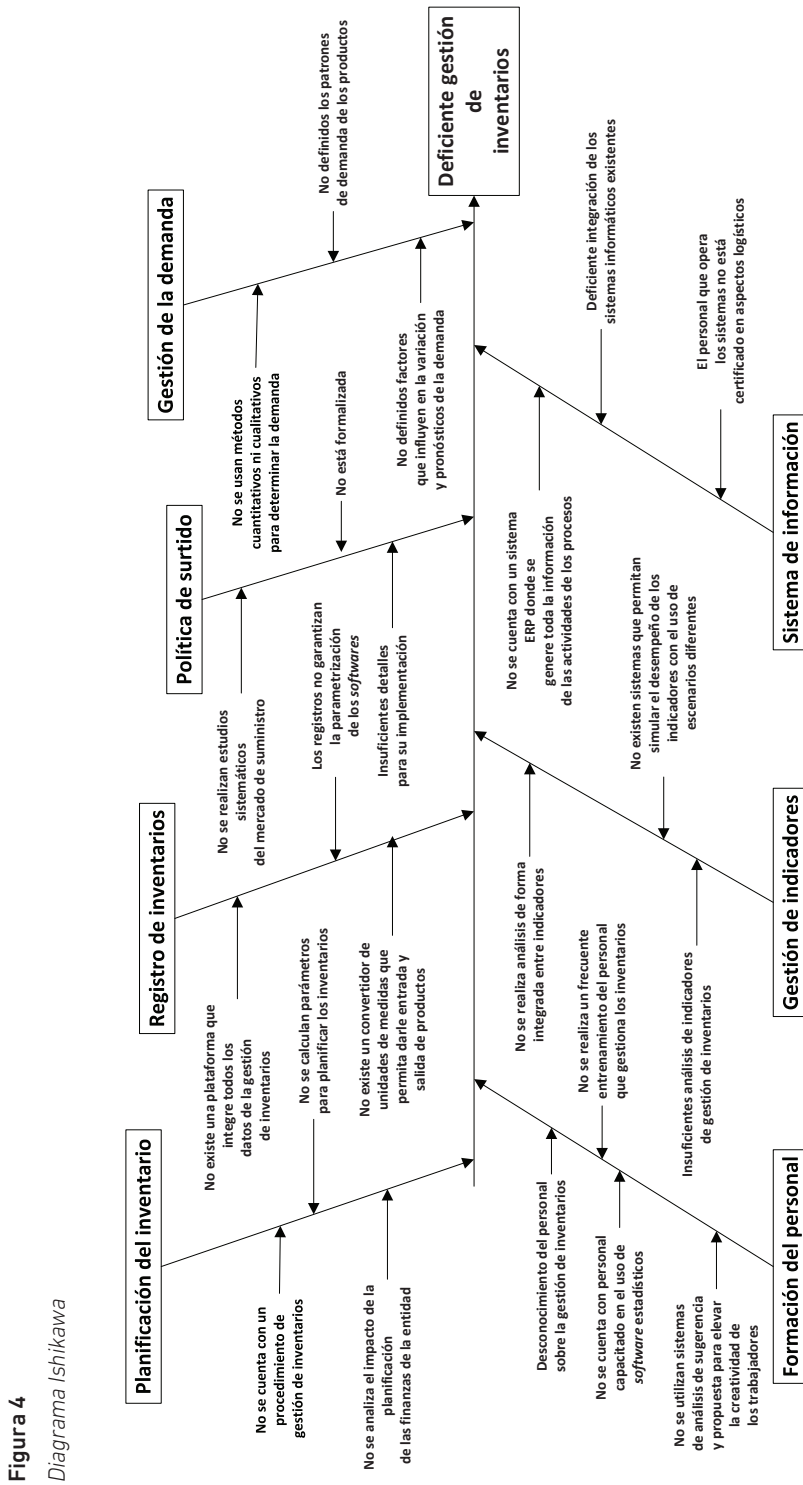
Figura 2



Figura 3



Las principales deficiencias se concentran en los módulos de gestión de la demanda, política de surtidos, gestión de indicadores, registro de inventarios, planificación del inventario, sistemas de información y formación del personal, lo cual se muestran las causas mediante el diagrama Ishikawa (ver figura 4).



Nota. Adaptado de Colarte Muñoz y Morales Herrera (2019).

Paso 2. Definición/actualización de la política de surtidos

Investigaciones realizadas acerca de la gestión de inventarios de las pymes en el sector alimentario de Colombia evidencian problemas que han permanecido en el tiempo. En Cuba, al igual que en Colombia, se analiza la situación en que la mayoría de empresas toman decisiones con modelos de gestión cualitativos complementados con su experiencia y, en menor proporción, en métodos estadísticos de pronóstico de demanda (Carreño Dueñas et al., 2019). Uno de los pasos previos al pronóstico de la demanda es la definición de la política de surtidos y, en este caso de estudio, esta constituye el punto de unión de diversas actividades del CIM, tales como las siguientes:

- *Mercadotecnia.* Están definidas veintitrés líneas de productos en los almacenes de misceláneas (material de limpieza y ropa, oficina, mantenimiento, etcétera) y las cuentas contables asociadas a esas líneas, en las cuales se les da la entrada y salida a los productos.
- *Planificación.* Se realiza anualmente por el sistema comercial RecomPlus. Se precisa la política de surtido de un nivel superior (OSDE), y así se va desvinculando en los restantes niveles, hasta llegar al nivel de punto de consumo (áreas productivas y de servicio del CIM).
- *Compras.* Se orientan las compras según necesidades descritas en la planificación y se describen los productos y servicios que se brindan, así como los diferentes proveedores asociados a la cartera de proveedores existente.

El gestor de inventario debe mantener la disponibilidad definida de los productos contenidos en la política de surtidos, siempre que el mercado lo permita. De esta manera, se actualizan las líneas de productos con productos sustitutos y compatibles, y se revisa mensualmente el comportamiento del consumo de productos para actualizar la base de datos de proveedores.

Paso 3. Evaluación del sistema de identificación de productos

La codificación industrial es la identificación de un material en la que se utiliza una serie de símbolos u otros caracteres que facilitan su trazabilidad para poder disponer de datos, como las fechas de caducidad, información del proveedor, entre otros (Calzado Mesa, 2022).

Se implementa un sistema de codificación y clasificación de productos diseñado por Rodríguez Rivero (2018). Dos veces al mes, el jefe del proceso logístico del CIM debe controlar, mediante consultas de documentos, que se cumplan los requisitos como resultado del mencionado procedimiento: el código de identificación y de clasificación del producto debe ser único en el sistema logístico; la descripción de los productos debe incluir las características distintivas del mismo; la base de datos debe estar

estandarizada según las reglas de descripción, a través del uso de las unidades de medida pertenecientes al Sistema Internacional de Unidades (Lopes Martínez et al., 2019). De acuerdo a lo expuesto, es importante que las organizaciones cuenten con las herramientas necesarias para lograr mantener un óptimo sistema de inventarios (Hernandez et al., 2021).

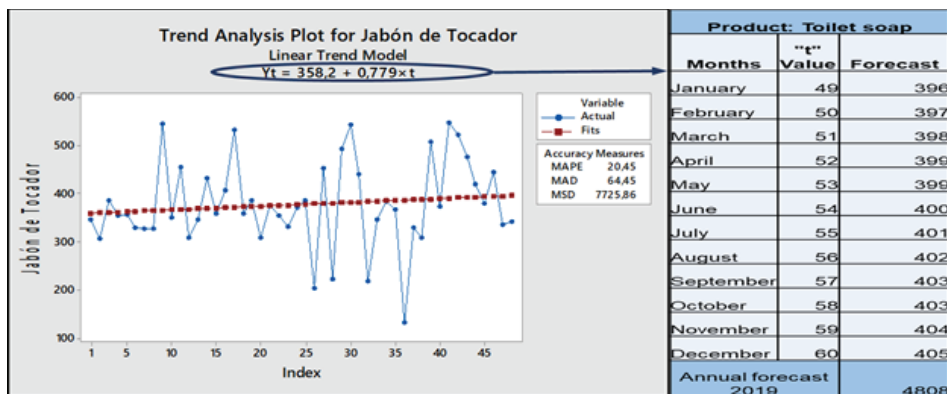
Paso 4. Proyección de la demanda

El propósito clave para todos los modelos de inventario es poder saber cuándo ordenar y cuánto del pedido, pues el inventario brinda apoyo a la organización para sobrevivir frente a los competidores (Mbohwa & Nemtajela, 2016).

Para captar la demanda del CIM, se seguirán los pasos descritos en el procedimiento: la gestión de la planificación de las compras en plaza e importaciones para la dirección de SERVICIM (Alemán de la Torre, 2016), el cual se pone en práctica con la utilización de los sistemas informáticos Mistral y RecomPlus. De este último, se utiliza el módulo “Planificación consumo”, donde se agregará un campo para insertar los cálculos de los pronósticos de consumo de los productos para el próximo año a partir de ecuaciones arrojadas por modelos estadísticos obtenidas del software Minitab, al insertar los consumos históricos de los productos del año anterior —información que se extrae del Sistema Mistral—. En la Figura 5 aparece un ejemplo del producto jabón de tocador.

Figura 5

Definición del modelo matemático según salida del software estadístico Minitab. Pronóstico de demanda



Paso 5. Establecimiento del nivel de disponibilidad

Se establece un nivel de disponibilidad para todos los productos mayor o igual al 95 %. En caso de existir algún producto que por su importancia deba garantizarse una mayor

disponibilidad, el gestor de inventario junto con el especialista en planificación y el jefe del área a la que pertenece el producto deben establecer el nuevo porcentaje de disponibilidad. La actualización de estos niveles de los productos establecidos en la política de surtido se realizará con frecuencia anual.

Paso 6. Creación de los grupos por gestionar

Con el objetivo de precisar aquellos productos que tienen mayor importancia para los servicios en el CIM, se utilizará la clasificación Pareto en los insumos del almacén de misceláneas, debido a que allí se encuentran los productos de mayor uso (material de oficina y material de limpieza y ropa). La creación de los grupos por gestionar se realizará a partir de los siguientes criterios:

- *Consumo* (cantidad vendida). Cantidad de unidades vendidas por producto en un determinado periodo.
- *Valor* (importe). Se obtiene a través de la multiplicación del precio de la mercancía por el consumo de cada producto en un determinado periodo.
- *Movimiento* (cantidad de salidas). Se obtiene a través de la cantidad de movimientos de salida de almacén de cada producto consumido en un determinado periodo.

Los productos se ordenan de forma descendente, según el criterio seleccionado (consumo, valor o movimientos) de los productos. Posteriormente, se calcula el porcentaje que representa la cantidad vendida, el importe o la cantidad de salidas del total del listado de productos, así como el porcentaje acumulado, para finalmente determinar la zona (A, B o C) a la que pertenece cada producto.

- Zona A. Los productos que representan el acumulado del 80 % del total del listado de productos.
- Zona B. Los productos que representan el acumulado comprendido entre el 80,01 % y el 95 % del total del criterio.
- Zona C. Los productos que representan el acumulado entre el 95,01 % y el 100 %.

Para la aplicación de la clasificación ABC, se utilizó el *Listado Consumo 2018* (específicamente en las líneas de limpieza y ropa y de material de oficina), que dio como resultado el siguiente: de los 1508 productos, solo trece fueron clasificados en la Zona A, respecto a los tres criterios; 14 clasificados en la Zona B, respecto a los tres criterios; y el resto, 1481 clasificados, en la Zona C. Entonces, el método ABC se aplicará por el gestor de inventarios con una frecuencia anual, mientras que la aplicación de los pasos restantes del procedimiento se realizará con los productos ubicados en la Zona A.

Los resultados del ABC, con la distribución de los productos en estas tres jerarquías, mostraron cuales eran los productos críticos causantes de la mayor proporción en costos, para tener así una mejor visión de sus comportamientos en el futuro (López Rodríguez & Galarreta Oliveros, 2018).

Paso 7. Asignación del método de gestión de inventario

Para la clasificación de inventarios, la revisión de la literatura muestra que se utilizan aproximaciones de modelamiento matemático para establecer las familias de los productos utilizando una de ellas: la metodología ABC. En este sentido, se podrían aplicar diversas formas de clasificar los productos, pero el objetivo es que al hacerlo responda a las necesidades del negocio (Adolfo, 2020).

A partir de los criterios de los especialistas y del análisis de los criterios de selección antes vistos en el análisis Pareto, se procede a decidir qué método de gestión de inventarios se debe utilizar. En este caso, se analizarán los productos de mayor importancia (Zona A), los cuales incluyen productos que se les aplica los métodos de gestión "frecuencia fija" y "a pedido". En el caso de los productos con frecuencia fija, son aquellos que son de uso muy recurrente, por lo que es necesario que se establezca una frecuencia fija donde se revisan las existencias en almacén y, en dependencia de estas, se realiza el pedido al proveedor. En cuanto a los productos que se gestionan a pedido, esto se debe a que su uso es esporádico o eventual, por lo que cuando surge la necesidad de su uso, se realiza el pedido al proveedor.

Paso 8. Cálculo de los parámetros de gestión de inventario

El cálculo de los parámetros de gestión de inventario depende del método de gestión de inventario de cada producto. Para los productos que se gestionan a pedido, no se calculan los parámetros de gestión de inventario; por ello, cuando surge la necesidad de alguno de estos, se gestiona directo con el proveedor. Por tanto, solo se realiza el cálculo de los parámetros a los productos de la Zona A, a los que se les aplica la frecuencia fija.

Cálculo de la demanda anual

La demanda quedará determinada por el análisis de la comparación entre la demanda de las áreas y el pronóstico de demanda ya definido.

Determinación del costo de efectuar un pedido o lanzamiento (dólar por pedido)

- Determinación de la cantidad de pedidos realizados en el periodo por analizar.
- Determinación de los gastos y criterios de agrupamiento de las partidas de gastos. Deben analizarse los costos de gestión del pedido y las partidas de gasto que corresponden a cada uno.

$$CF = \frac{\text{Gastos anuales de efectuar un pedido}}{\text{Cantidad de pedidos al año}}$$

Determinación del ciclo de gestión de un pedido (días)

El ciclo de gestión de los pedidos se calculará mediante el método de estimaciones. Este método tiene en cuenta tres escenarios:

- Tiempo optimista (a). Es el menor tiempo en que el proveedor puede responder al pedido.
- Tiempo más probable (b). Es el tiempo que normalmente demora el proveedor en responder al pedido.
- Tiempo pesimista (c). Es el mayor tiempo que demora el proveedor para responder al pedido.

Pasos para calcular el ciclo de gestión de los pedidos:

1. Fijación del nivel de servicio deseado en el ciclo de gestión del pedido para cada grupo proveedor.

Teniendo en cuenta el criterio del especialista de compras, se definió que el nivel de servicio que se requiere es del 95 %. El valor de la constante K_s correspondiente a un nivel de servicio del 95 % es 1,64, según el estadígrafo de la distribución normal acumulada.

2. Definir para cada proveedor:

a = tiempo optimista

b = tiempo más probable

c = tiempo pesimista

3. Determinación de la duración promedio del ciclo de gestión de cada grupo de proveedores.

$$X_{\text{med}} = (a + 4 * b + c) / 6$$

4. Determinación de la desviación típica de la duración del ciclo de gestión

$$\text{sigma} = (c - a) / 6$$

5. Cálculo de la duración del ciclo de gestión de cada grupo de proveedores (L)

$$L = X_{\text{med}} + K_s * \text{sigma}$$

6. Cálculo de los parámetros estadísticos de la duración del ciclo de gestión de cada grupo de proveedores.

Debe calcularse el nivel de estabilidad del ciclo de gestión de los pedidos de compra de cada proveedor. Para ello, puede utilizarse la expresión siguiente:

$$Es = 1 - (\sigma / X_{med})$$

La estabilidad calculada representa la variabilidad del ciclo con respecto a la duración promedio calculada. Los valores de estabilidad deben estar por encima de 0,7 para considerar aceptable el comportamiento del proveedor. Se debe expresar en porcentaje.

Determinación de la tasa anual del costo de almacenaje

$$\text{tasa de interés} + \frac{\text{pérdidas anuales}}{\text{inventario promedio}} + \frac{\text{gastos generales}}{\text{inventario promedio}}$$

Cálculo de los parámetros de gestión de inventario

Para determinar estos parámetros se revisan los inventarios con una frecuencia determinada (NE) para comprobar la cantidad de existencias. Se realiza la orden de un pedido igual al inventario objetivo o máximo, menos la posición de existencias (inventario actual más lote en tránsito). Esto trae como consecuencia que, después de cada revisión, la cantidad a reaprovisionar pueda ser diferente debido a las variaciones aleatorias en la demanda. El cálculo de los parámetros se realiza en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, donde se programaron las fórmulas del método de gestión de inventario y se obtuvo los parámetros correspondientes para cada producto (véase la Tabla 2).

Cálculo del tamaño del lote óptimo (Q)

Este tamaño del lote solo se emplea para estimar la frecuencia de revisión del inventario.

$$Q_{\text{óptimo}} = (2 * \sum Di * Cf / P_{\text{prom}} * I) * 1/2$$

Q: Cantidad de artículos que conforman el lote óptimo (unidades por pedido).

Di: Demanda anual del ítem i (unidades por año).

Cf: Costo de gestión del pedido (dólar por pedido).

P_{prom}: Precio promedio ponderado (dólar por unidad).

I: Tasa anual del costo de almacenaje (porcentaje por año).

Determinación de la frecuencia de revisión del inventario en días (NE)

$$NE = Q * 360 / D$$

Comprobar si se cumple la condición de balance que es $NE \geq 2 * L$

L : ciclo de gestión del pedido de compra del grupo proveedor

Determinación del inventario de seguridad (SS)

$$SS = Ks * \sigma * (NE + L) * 1/2 + D / 360 * (NE + L) * 1/2$$

Los especialistas deben analizar si los valores de SS son elevados según las condiciones de la entidad. Si esto ocurre podrá calcularse el stock de seguridad según la expresión siguiente:

$$SS = Kp * Q$$

Kp : Coeficiente de protección. Puede tomar valor 0,1 o 0,5, según decida el gestor de inventario de acuerdo a las condiciones de estabilidad y L en la organización.

$Kp = 0,5$ para suministros menos estables y de mayor riesgo.

$Kp = 0,1$ para suministros más estables y de menor riesgo.

Determinación del inventario objetivo o máximo (Emax)

$$E_{max} = (Di / 360 * NE + L) + SS \text{ o } E_{max} = SS + Q$$

Determinación de la existencia o inventario promedio (Em)

$$Em = (E_{max} - SS) / 2 \text{ o } Em = SS + Q/2$$

Tabla 2

Cálculo de los parámetros de gestión de inventario de algunos productos

Descripción	Lote óptimo (Q _{óptimo})	Sigma	Inventario de seguridad (SS)	Inventario máximo (E _{max})	Inventario promedio (Em)	Frecuencia de revisión de inventario en días (NE)	Cantidad a reaprovisionar (NE-E)
Papel 8 1/2 x 11	625	0,00	63	688	313	45	375
Bolígrafo desechable	3545	0,00	1772	5317	1772	95	3545
Bolsas negras nylon	37 764	0,00	3776	41 541	18 882	539	22 659
Cloro	1061	0,87	531	1592	531	115	1061
Frazada de piso	3000	0,00	1500	4501	1500	524	3000

(continúa)

(continuación)

Detergente	1060	0,00	106	1165	530	104	636
Gel hidroalcohólico para manos	352	0,00	176	528	176	130	352
Gel de mano	121	3,06	61	182	61	75	121
Lavavajilla concentrado	92	2,02	46	138	46	114	92
Desincrustante (wc-6)	140	0,00	70	211	70	222	140
Jabón de tocador	492	10,06	49	541	246	393	295
Ácido para baños	201	10,03	100	301	100	413	201
Desengrasante	97	4,89	49	146	49	151	97

Paso 9. Cálculo y análisis de Indicadores de gestión de inventario

El gestor de inventario debe mantener un monitoreo de los indicadores que caracterizan la gestión y eficiencia de los inventarios. La fuente de información de estos indicadores proviene del sistema Mistral y para su cálculo se utilizan hojas de Excel y el *software* Minitab. Cada indicador refleja un resultado que le brinda a la empresa el conocimiento y la evaluación de cómo se lleva el control de la gestión de sus inventarios. El gestor de inventario deberá analizar los resultados obtenidos luego del cálculo de los indicadores, a través de comparaciones entre dicho resultado y el valor objetivo. Algunos indicadores analizados se muestran a continuación.

- *Disponibilidad.* El estudio de disponibilidad arrojó que de los trece productos ubicados en la Zona A, que se gestionan a frecuencia fija, doce tienen una disponibilidad en almacén mayor del 95 %, para su consumo en todo el periodo analizado. De este modo, se cumple su valor objetivo.
- *Exactitud de la demanda.* La exactitud de la demanda en SERVICIM no es favorable, pues de los trece productos analizados, solo tres tienen una exactitud mayor del 90 %, lo que significa que no se realiza un estudio detallado para pronosticar la demanda, solo se asigna según una demanda realizada que no se ajusta con lo consumido históricamente.
- *Estabilidad del ciclo de gestión del pedido.* La estabilidad del ciclo de gestión del pedido con los proveedores es favorable, pues los trece productos analizados tienen una estabilidad mayor al valor objetivo (70 %).
- *Cumplimiento de la política de surtido.* El cumplimiento de la política de surtidos en el almacén de misceláneas tiene un bajo porcentaje (56 %) en comparación con el valor objetivo (95 %). Este valor está dado por los problemas con la clasificación e identificación de productos (mismo producto con diferente código).

Estos indicadores y los restantes por incluir en el sistema de indicadores que se propone se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Cálculo de los indicadores de gestión de inventario

Indicador	Cálculo	Valor objetivo
Rotación	valor de las ventas al costo / existencia media	≥ 2
Días de inventario	360 / rotación	Depende de la rotación
Exactitud del inventario	(inventario físico por conteo o en tarjeta de estiba / inventario contable o reportado en el sistema) * 100	$\geq 95 \%$
Cumplimiento de la política de surtido	(productos incluidos en la política de surtido / total de productos) * 100	$\geq 95 \%$
Cobertura en días	cantidad en inventario / demanda proyectada	≤ 6 meses
Disponibilidad	días disponibles / días totales del periodo	$\geq 80 \%$
Ociosidad	(cantidad de ociosos / total de productos) * 100	Varía de acuerdo a las regulaciones vigentes
Exactitud de la demanda	(consumo real / demanda proyectada) * 100	$\geq 90 \%$
Estabilidad del ciclo de gestión de un pedido	$1 - (\sigma / X_{med})$	$\geq 70 \%$
Costo de mantener en inventario	existencia media * precio * tasa anual del costo de almacenaje	Depende de las operaciones que realice la empresa

Paso 10. Aplicación de la herramienta MRInvAudit

Una vez determinado un plan de acciones con la primera aplicación de la herramienta MRInvAudit, este debe tener un seguimiento para medir si se cumplieron las acciones propuestas y si realmente ayudaron a mejorar la gestión de inventario. Es por esto que se deberá volver a aplicar esta herramienta. En el caso de estudio, después de implementado el procedimiento y suponiendo que se lleven a cabo las acciones de mejora, se muestra que el CIM presenta un nivel medio de gestión de inventario con un valor de 2,16 en una escala de 1 a 3, el cual representa el 71,57 %. En comparación con el resultado que se obtuvo antes de aplicar el procedimiento, aumentó un 21,9 % dicho valor de NGI.

4. DISCUSIÓN

Para que las empresas logren la máxima satisfacción del cliente, deben de tener una adecuada gestión de inventarios y mantener cantidades mínimas necesarias que garanticen la continuidad de la cadena logística, que permita absorber el impacto de la variabilidad e incertidumbre asociadas al mercado.

La gestión de inventarios en SERVICIM fue evaluada a partir de la herramienta MRInvAudit, dando como resultado un NGI bajo, con una puntuación de 1,46. Esto fue provocado, principalmente, por la deficiente planificación de la demanda, al igual que la poca capacitación del personal encargado de gestionar los inventarios y el insuficiente uso de indicadores de gestión de inventarios.

Entre los principales resultados de esta investigación, se encuentra el diseño de un procedimiento para gestionar los inventarios, el cual cuenta con diez pasos que permiten realizar dicha gestión de manera organizada. Además, se aplicó este procedimiento a los productos de mayor importancia y se recalculó el NGI de SERVICIM, y se tuvo en cuenta las mejoras propuestas con el procedimiento, con un valor de 2,16, el cual aumentó en un 22,55 % sobre el valor anterior.

El mantenimiento adecuado de los inventarios ocasiona implicaciones no solo económico-financieras, sino logísticas, de limitaciones de espacio físico en los almacenes e incluso de la capacidad de producción. Por lo tanto, se deben emplear grandes esfuerzos que redunden favorablemente en el desenvolvimiento integral de las empresas.

5. CONCLUSIÓN

Se implementó el procedimiento para la gestión de inventario, compuesto por diez pasos que incluye fundamentalmente la actualización de la política de surtidos del almacén, el método y el cálculo de los parámetros e indicadores de gestión de inventarios de los productos que la conforman. Además, se describieron los pasos para realizar la proyección de la demanda utilizando el *software* Minitab, lo que dio como resultado modelos matemáticos para el cálculo del pronóstico de demanda. Finalmente, se calcularon indicadores de un sistema de indicadores de inventario para la evaluación periódica del procedimiento, compuesto por diez indicadores, cuya fuente de información es el *software* Mistral.

6. REFERENCIAS

Acevedo Suárez, J., & Gómez Acosta, M. (2015). *La logística moderna en la empresa* (vol. 2). Empresa Editorial Poligráfica Félix Varela.

- Adolfo, G. (2020). Un modelo de gestión de inventarios basado en estrategia competitiva. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(1), 133-142. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000100133>
- Alemán de la Torre, L. (2016). Gestión de la planificación de las compras en plaza e importaciones para la dirección de SERVICIM. En *La Habana: Centro de Inmunología Molecular*.
- Calzado Mesa, Z. (2022). Proyecto de codificación industrial en la gestión de inventarios. *Ciencias Holguín*, 28(3). <http://www.ciencias.holguin.cu/revista/article/view/246>
- Camacho Zapata, A. S., Ríos Baldovino, J. P., Mojica Herazo, J., & Rojas Millán, R. (2021). Importancia de la gestión de inventario en empresa de manufacura. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 2(2), 37-42. <https://doi.org/10.17981/bilo.02.02.2020.05>
- Carreño Dueñas, D. A., Amaya González, L. F., Ruiz Orjuela, E. T., & Tiboche, F. J. (2019). Diseño de un sistema para la gestión de inventarios de las pymes en el sector alimentario. *Industrial Data*, 22(1), 113-132. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i1.16530>
- Centro de Inmunología Molecular. (2023). *¿Quiénes somos?* <https://www.cim.cu/SobreNosotros/QuienesSomos>
- Colarte Muñoz, A., & Morales Herrera, M. A. (2019). *Propuesta de implementación de un procedimiento de gestión de inventarios en SERVICIM*. Repositorio institucional de la Universidad Tecnológica de La Habana.
- Contreras Rivadinayra, O., Polo Cueva, J. A., & Montoya Cárdenas, G. A. (2022). Revisión de la literatura sobre gestión de inventario en la industria textil. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica QANTU YACHAY*, 2(1), 26-40. <https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i1.19>
- Domínguez Pérez, F., Lopes Martínez, I., Felipe Valdés, P. M., Vallín García, A. E., & Cruz Ruiz, Alegna. (2018). Propuesta de clasificación de insumos para la gestión de inventarios en la industria biofarmacéutica. Caso de estudio en el Centro de Inmunología Molecular. *Vaccimonitor*, 27(2), 51-60. <https://vaccimonitor.finlay.edu.cu/index.php/vaccimonitor/article/view/198>
- García Gómez, D. A., Cedeño Rementería, Y., Ríos Menas, I., & Morell Pérez, L. (2019). Índice integral de calidad para la gestión de almacenes en entidades hospitalarias. *Gaceta Médica Espirituana*, 21(1), 21-33. <http://scielo.sld.cu/pdf/gme/v21n1/1608-8921-gme-21-01-21.pdf>
- García Gómez, D. A., Gómez Acosta, M., & Chirinos Araque, Y. del V. (2020). Evaluación de la gestión de almacenes. Estudio de entidades del municipio Sancti Spiritus, Cuba. En *Tendencias en la investigación universitaria. Una visión desde Latinoamérica*

(pp. 574-590). Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero, Fondo Editorial Universitario Servando Garcés.

- Hernandez, H. A., Cruz-Gil, Y. L., Puentes Saavedra, M. D., & Mendoza Patiño, D. E. (2021). Diseño de un sistema de gestión de inventarios para el almacén Técnitaller S. A. S. de la ciudad Neiva-Huila, Colombia. *Revista de Investigaciones. Universidad del Quindío*, 33(2), 143-152. <https://doi.org/10.33975/riuuq.vol33n2.562>
- Lopes Martínez, I. Padilla Aguiar, D., Paradela Fournier, L., & Rodríguez Rivero, G. (2019). Diseño de una metodología para la estandarización de los sistemas de codificación y clasificación de productos en empresas cubanas, 2019. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 15(28). <https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v15i28.2682>
- López Rodríguez, B. J., & Galarreta Oliveros, G. I. (2018). Gestión de inventarios para reducir los costos del almacén de Manpower Perú E. I. R. L. *Ingnosis. Revista de Investigación Científica*, 4(1), 15-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.18050/ingnosis.v4i1.2058>
- Martínez González, A., Jimenez Figueredo, F. E., & González Osorio, E. C. (2022). La gestión de inventarios, una herramienta eficaz en la toma de decisiones. *Opuntia Brava*, 14(3), 225-236. <https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/1632>
- Martínez Lopes, I. (2013). *Modelo de referencia para la evaluación de la gestión de inventarios en los sistemas logísticos* [Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica de La Habana]. Repositorio institucional de la Universidad Tecnológica de La Habana. <https://d-nb.info/1241554609/34>
- Mbohwa, C., & Nemtajela, N. (2016, 4-7 de diciembre). *Inventory management models and their effects on uncertain demand* [Sesión de conferencia]. 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Bali, Indonesia. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7798037>
- Quiala Tamayo, L. E., Fernández Nápoles, Y., Vallín García, A. E., Lopes Martínez, I., Domínguez Pérez, F., & Calderío Rey, Y. (2018). Una nueva visión en la gestión de la logística de aprovisionamientos en la industria biotecnológica cubana. *Vaccimonitor*, 27(3), 93-101. <https://vaccimonitor.finlay.edu.cu/index.php/vaccimonitor/article/view/203>
- Rodríguez Rivero, G. (2018). *Diseño de un sistema de identificación de productos y su propuesta de implementación en la Dirección de SERVICIM* [Manuscrito inédito]. Universidad Tecnológica de La Habana.
- Romero Agila, S. E., Saénz-Encalada, S. S., & Pacheco Molina, A. M. (2021). La gestión de inventarios en las pymes del sector de la construcción. *Polo del Conocimiento*, 6(9), 1495-1518. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3124>

IDENTIFICACIÓN DE DISTRITOS POTENCIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SINERGIAS INDUSTRIALES APLICABLES A MIPYMES MANUFACTURERAS DE LIMA METROPOLITANA*

ALDAIR EDISON PRADA ALVAREZ**

<https://orcid.org/0000-0001-9574-7374>

Universidad Nacional del Callao, Facultad y Escuela Profesional de Ingeniería
Ambiental y de Recursos Naturales, Lima, Perú

Recibido: 13 de mayo del 2023 / Aceptado: 8 de septiembre del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6484>

RESUMEN. Las sinergias industriales son prácticas diseñadas para optimizar el manejo de recursos mediante el uso de residuos sólidos y material de descarte, como materias primas, para promover un ciclo sostenible y continuo en la producción y consumo industrial. El diseño metodológico de esta investigación comprende un análisis documental con un enfoque cualitativo y de alcance descriptivo, con el objetivo de identificar los distritos en Lima Metropolitana con potencialidad de implementar sinergias industriales (SI) aplicables en mipymes manufactureras. Los resultados señalan que el grupo industrial de fabricación de productos textiles es el grupo con mayor cantidad de mipymes manufactureras. Asimismo, los distritos de Lima Metropolitana con mayor potencialidad para implementar SI son San Juan de Lurigancho, Ate, Santiago de Surco y San Martín de Porres. Estos resultados permiten una comprensión de las oportunidades y desafíos para la transición hacia una economía circular en el sector industrial, lo que proporciona una base para futuras propuestas y acciones estratégicas sectoriales.

PALABRAS CLAVE: sinergias industriales / economía circular / materiales / residuos industriales / industria manufacturera

* Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

** Autor corresponsal.

Correo electrónico: aepradaa@unac.edu.pe

IDENTIFICATION OF POTENTIAL DISTRICTS FOR THE IMPLEMENTATION OF INDUSTRIAL SYNERGIES APPLICABLE TO MANUFACTURING MSMEs FROM LIMA METROPOLITAN AREA

ABSTRACT. Industrial synergies (ISs) are practices designed to optimize the use of resources by employing solid waste and discarded material, such as raw materials, thus promoting a sustainable and continuous cycle in industrial production and consumption. The methodology of this research included a documentary analysis with a qualitative approach and descriptive scope aimed at identifying potential districts in Lima Metropolitan Area for implementing ISs applicable to manufacturing micro, small, and medium-sized enterprises (MSMEs). The results indicate that the textiles and apparel industry group is the one with the largest number of manufacturing MSMEs. Furthermore, the districts of Lima Metropolitan Area with the greatest potential for the implementation of ISs are San Juan de Lurigancho, Ate, Santiago de Surco, and San Martín de Porres. These results allow an understanding of the opportunities and challenges for the transition toward a circular economy in the industrial sector, providing a basis for future proposals and sectoral strategic actions.

KEYWORDS: industrial synergies / circular economy / materials / industrial waste / manufacturing industry

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos seis años, el desarrollo de las actividades económicas ha ocasionado la extracción y utilización de casi la misma cantidad de materiales extraídos y utilizados durante todo el siglo xx. Asimismo, por cada 100 000 toneladas de materiales, solo el 7,2 % se reintegran a los procesos productivos después del final de su vida útil, lo que deja una gran brecha por atender (Circle Economy, 2023).

El desarrollo industrial genera beneficios a la humanidad, tanto a nivel social como económico; sin embargo, también puede ocasionar impactos al ambiente, los cuales se manifiestan a través de la contaminación atmosférica por gases de efecto invernadero, la contaminación de los cuerpos de agua, la contaminación del suelo por el vertimiento de desechos sólidos y líquidos, y el agotamiento de los recursos naturales. A la larga, estos impactos pueden afectar el bienestar y la calidad de vida de la población (Bravo-Calle et al., 2021).

Frente a lo mencionado, la economía circular (EC) se presenta como un modelo económico que implica un cambio de paradigma. Este consiste en dejar de lado el modelo tradicional de extraer, producir y desechar para pasar a un enfoque restaurativo y regenerativo desde el diseño y, a su vez, mantener los materiales el mayor tiempo posible en un ciclo productivo (Fundación Ellen MacArthur, 2017).

Las sinergias industriales (SI) representan un pilar de la economía circular, ya que proponen gestión optimizada de los *stocks* y de los flujos de materiales, energía y servicios, mediante el uso de un residuo o material de descarte como materia prima de otra industria, el uso de infraestructura o servicios compartidos. Esto con la finalidad de contribuir al desarrollo sostenible e impulsar la ecología industrial en las ciudades (Lluís & Martínez, 2023).

Las SI se desarrollan mayormente en los parques industriales, lo que involucra a empresas que operan en diferentes sectores de actividad que participan en transacciones mutuamente beneficiosas, mediante la sustitución de materiales o recursos naturales por insumos procedentes de materiales de descarte o de residuos sólidos (Álvarez & Ruiz-Puente, 2017; Domenech et al., 2019). Asimismo, las empresas que llevan a cabo las SI buscan obtener una ventaja competitiva a través del uso compartido de activos, logística e intercambio de tecnología (Earley, 2015).

En Latinoamérica se ha comenzado a impulsar la economía circular a nivel de políticas e instrumentos normativos. A inicios del año 2021, se creó la Coalición de Economía Circular en América Latina y el Caribe, que tiene como objetivo brindar apoyo a gobiernos y al sector privado, incluso a las mipymes, para que accedan a un financiamiento adecuado con la finalidad de implementar medidas que mejoren la competitividad de estas (Naciones Unidas, 2021).

En el Perú se publicó la "Hoja de ruta hacia una economía circular en el sector industria", la que plantea un conjunto de actividades orientadas a la promoción de la economía circular en todos los grupos industriales manufactureros, tales como la reutilización de material de descarte y residuos industriales, así como incentivar la innovación y la búsqueda de soluciones que den rentabilidad en la aplicación para las mipymes (Decreto Supremo 003-2020-PRODUCE, 2020).

Una forma de llevar a cabo la implementación de la economía circular en el sector industrial es mediante la implementación de parques industriales. Estos consisten en la agrupación de distintas actividades económicas en una zona determinada, previamente evaluada de forma ambiental y social (World Bank Group, 2021)

Un ejemplo de estas zonificaciones industriales es el Parque Industrial de Kalundborg (Dinamarca), que desde 1961 representa un modelo para la implementación de parques industriales, ya que promueve la economía circular, la recuperación de desechos industriales (agua residual, lodos, etcétera), con el fin de generar energía o materia prima para otras actividades y sectores (AIVP, 2020). Por su parte, Liu et al. (2015) analizaron las relaciones simbióticas en las empresas industriales del Grupo Hai Hua (China) e identificaron que existen vínculos simbióticos entre el sistema industrial y el sistema de maricultura. Adicionalmente, se identificaron vínculos simbióticos con las residencias, lo que demostró que estas iniciativas pueden expandirse más allá de solo actividades industriales.

La mayoría de mipymes manufactureras (micro, pequeñas y medianas empresas) no cuentan con la capacidad, recursos ni tiempo para la implementación de SI. Por ello, es necesaria la contribución de diversos actores como las entidades del Estado y la inversión privada, ya que al impulsar la colaboración e innovación, las empresas pueden trabajar juntas para desarrollar nuevos modelos de negocio, tecnologías y productos que promuevan la sostenibilidad y la eficiencia de los recursos (Babkin et al., 2023).

La generación de residuos industriales en el Perú, representada principalmente por las actividades manufacturadas, es de casi 800 000 toneladas al año y viene a ser la segunda actividad económica con la mayor generación de residuos sólidos después del sector vivienda y saneamiento. Cabe resaltar que casi el 50 % de las empresas manufactureras se encuentran en Lima Metropolitana (Ministerio del Ambiente, 2021).

La identificación de las actividades y los sitios con mayor potencial para aplicar SI, donde se puedan aprovechar el mayor tiempo posible los materiales o residuos sólidos generados, permitirá incrementar la tasa de valorización de residuos en el país y generar oportunidades para el desarrollo del entorno que forma parte de la interacción de las SI. Álvarez (2014) propuso la utilización de sistemas de información geográfica para identificar redes de simbiosis industrial entre mipymes de áreas industriales. Esta fue integrada en una base de datos de acceso libre para facilitar la información y

descarga de mapas cartográficos de redes de simbiosis industrial para actores claves en la formulación de estrategias de economía circular en el sector industria.

Asimismo, Abello et al. (2021) trabajaron en la creación de una plataforma de economía circular en Valparaíso (Chile), en la cual se tuvo que identificar primero el potencial de SI entre empresas generadoras y receptoras de residuos sólidos no peligrosos dentro de los siete clústeres industriales planteados a nivel de la región de Valparaíso.

Por otro lado, en España se desarrollaron dos proyectos: TRIS (Transition Region towards Industrial Symbiosis), el cual tiene como objetivo dar a conocer las acciones de simbiosis industrial en el continente europeo; e INSLAY (Industrial Symbiosis Layer at Industrial Zones), el cual tuvo como objetivo el desarrollo de una plataforma colaborativa para la implementación de simbiosis industrial para promover un modelo de producción más eficiente y de menor impacto ambiental (Hurtado Ruiz & Jordá Ferrando, 2018).

El objetivo de la investigación es identificar los distritos en Lima Metropolitana con mayor potencialidad de implementar SI aplicables en mipymes manufactureras, con la finalidad de gestionar y manejar adecuadamente el material de descarte y los residuos sólidos generados en el sector, y evitar perjudicar al ambiente y la salud pública. Asimismo, este trabajo contribuye en la formulación de estrategias de economía circular, así como el desarrollo de plataformas colaborativas para promover las SI que involucren a la mayor cantidad de mipymes del país.

2. METODOLOGÍA

La investigación es de enfoque cualitativo, ya que no se realizarán pruebas empíricas, sino una recolección de información mediante la revisión de documentos, registros y evaluación de experiencias individuales y compartidas (Hernández & Mendoza, 2018). Asimismo, el alcance es descriptivo, ya que para lograr el objetivo de la investigación se debe realizar un diagnóstico de la actividad industrial manufacturera en Lima Metropolitana, así como la revisión bibliográfica sobre SI aplicables en mipymes manufactureras con la finalidad de identificar los distritos potenciales para implementar SI. Para ello, la técnica empleada fue la revisión documentaria, mediante la búsqueda de información en los directorios nacionales de mipymes manufactureras, documentos y estudios de casos sobre implementación de SI.

Las variables del estudio son los distritos potenciales (variable independiente) y las SI (variable dependiente); mientras que la población de estudio está conformada por las mipymes manufactureras de Lima Metropolitana.

El desarrollo metodológico de la investigación comienza con la identificación y clasificación de mipymes manufactureras de Lima Metropolitana en grupos industriales; luego, se realiza la priorización de estos en función de su potencialidad para desarrollar

SI. El siguiente paso es la identificación de SI aplicables a mipymes manufactureras mediante criterios específicos (acondicionamiento o tratamiento previo, número de empresas y ubicación geográfica). A partir de la obtención de la información mencionada, se identifican los distritos con mayor potencialidad de implementar SI, los cuales se representarán en mapas cartográficos realizados por el programa ArcGIS.

2.1 Identificación y clasificación de mipymes en grupos industriales

El Perú cuenta con un directorio de mipymes manufactureras, el cual se actualiza periódicamente. La información que brinda dicha plataforma comprende la razón social de cada empresa, así como su código de Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) y la ubicación a nivel departamental, provincial y distrital (Ministerio de la Producción, 2021). Entonces, el primer paso fue revisar el directorio de mipymes manufactureras para identificar las actividades industriales manufactureras en Lima Metropolitana y clasificarlas posteriormente en agrupaciones industriales en función del CUII.

La conformación de los grupos industriales tomó de referencia al informe del “servicio de apoyo en la implementación de la *Hoja de Ruta hacia una Economía Circular en el Sector Industria*, a partir de las acciones priorizadas de cumplimiento en el corto y mediano plazo”, donde se presentan doce grupos industriales compuestos a partir de actividades industriales manufactureras de todo el Perú (Deuman, 2022).

Adicionalmente, se generó un grupo industrial (grupo XIII) que comprende actividades de recuperación de materiales, entre las cuales destacan el desmantelamiento y el chatarreo de vehículos, recuperación de materiales metálicos, procesamiento de otros desechos de alimentos —bebidas y tabaco— para convertirlos en materias primas secundarias, procesamiento de desechos de plástico o caucho para convertirlos en gránulos —limpieza, fusión, trituración—, entre otras, con la finalidad de complementar al desarrollo de las SI (Marchi et al., 2017).

Cabe resaltar que no se tomaron en cuenta las actividades relacionadas con el proceso de refinación de petróleo debido a los procesos optimizados en su obtención (Tecnalia, 2017), así como aquellas actividades que no involucran procesos de manufactura y otras actividades de servicios. A continuación, se presenta el listado de los grupos industriales manufactureros en Lima Metropolitana:

- Grupo I: Elaboración de alimentos y bebidas
- Grupo II: Fabricación de productos textiles
- Grupo III: Fabricación de productos de cuero y productos conexos
- Grupo IV: Producción de madera y fabricación de productos de madera
- Grupo V: Fabricación de papel y de productos de papel

- Grupo VI: Fabricación de sustancias y productos químicos
- Grupo VII: Fabricación de productos de caucho y de plástico
- Grupo VIII: Fabricación de otros productos minerales no metálicos
- Grupo IX: Fabricación de metales comunes
- Grupo X: Fabricación de productos de informática y equipos eléctricos
- Grupo XI: Fabricación de maquinaria y equipo n. c. p.
- Grupo XII: Fabricación de muebles, reparación e instalación de maquinaria o equipos y otras industrias manufactureras
- Grupo XIII: Recuperación de materiales

2.2 Priorización de los grupos industriales con mayor potencialidad de implementar sinergias industriales

El impulso de la economía circular en las actividades manufactureras, mediante los cambios de patrones de consumo, permite que los procesos se lleven a cabo de manera sostenible (Kazakova & Lee, 2022). Asimismo, la transición hacia una economía circular comprende la utilización al máximo de los recursos (Gravagnuolo et al., 2019; Morsetto, 2020) —en el caso de las industrias a través del aprovechamiento de residuos industriales y material de descarte, lo cual generaría beneficios económicos para las empresas—, la generación de nuevos modelos de negocio que beneficia a la sociedad y la reducción de la contaminación, el cual beneficia al ambiente (Dantas et al., 2021; Korhonen et al., 2018; Lizárraga-Mendiola et al., 2022).

Algunas investigaciones señalan que existen grupos industriales que potencialmente pueden aprovechar material de descarte y residuos sólidos que otros (véase la Tabla 1).

Tabla 1

Grupos industriales que potencialmente pueden implementar sinergias industriales

Autor	Descripción
Deuman (2022)	<p>Los grupos industriales que potencialmente pueden aprovechar residuos industriales son de lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de alimentos y bebidas • Fabricación de productos textiles • Fabricación de sustancias y productos químicos • Fabricación de productos de caucho y de plástico • Fabricación de otros productos minerales no metálicos • Fabricación de metales comunes

(continúa)

(continuación)

Autor	Descripción
Ríos y Rodríguez (2021)	Los grupos industriales que más emplean residuos como materias primas son de lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • Fabricación de alimentos y bebidas • Fabricación de otros productos minerales no metálicos • Fabricación de productos de caucho y de plástico
Lizárraga-Mendiola et al. (2022)	Los grupos industriales que abarquen actividades que elaboren materiales de construcción y otros minerales no metálicos, ya que pueden aprovechar residuos sólidos tales como, plásticos, vidrio, papel y cartón.
Salmi y Kaipia (2022)	La industria textil posee el mayor potencial de aprovechamiento de materiales de descarte y residuos sólidos.
Gravagnuolo et al. (2019)	Los grupos industriales que potencialmente pueden implementar la economía circular están vinculados a la producción de plástico, textil, alimentos y construcción.

El aprovechamiento de residuos agroindustriales, los cuales se generan en las actividades del grupo I, puede llevarse a cabo en procesos de generación de energía, mediante la utilización de estos como fuente de combustible alternativo. Asimismo, estos pueden ser empleados en compostaje para la obtención de abonos orgánicos, incluso pueden ser insumos para la producción de alimentos para animales (Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018).

Por otro lado, los residuos textiles generados por las actividades del grupo II, específicamente los no peligrosos, poseen un alto potencial de aprovechamiento. Los retazos de tela, por ejemplo, pueden convertirse en materia prima para el diseño y fabricación de nuevos productos o accesorios (Abuchaibe, 2019; Henao, 2015; Salmi & Kaipia, 2022).

En función a las investigaciones mencionadas anteriormente y por las coincidencias de grupos industriales, que abarcan actividades con mayor potencial de implementar SI, se seleccionarán los grupos industriales prioritarios.

2.3 Localización de distritos en Lima Metropolitana con potencialidad de implementar sinergias industriales en mipymes

El tipo de sinergia industrial de esta investigación consiste en la sustitución de materias primas por material de descarte o residuos sólidos. Las mipymes manufactureras de Lima Metropolitana identificadas corresponderán a los grupos industriales priorizados y su aplicabilidad ante las SI (véase la Tabla 2) se evaluará mediante los siguientes criterios:

- *Requerimiento de acondicionamiento o tratamiento previo.* Se tomaron en consideración aquellas sinergias industriales que no requerían acondicionamiento o tratamiento previo.

- *Número de empresas vinculadas (emisoras y receptoras de material).* Se tomaron en cuenta las sinergias industriales que presenten una cantidad considerable de empresas emisoras y receptoras de material de descarte o residuos sólidos.
- *Ubicación geográfica.* Se consideraron aquellas sinergias industriales cuyo distanciamiento entre actividades industriales sea lo más próximo posible (Deuman, 2022).

Tabla 2

Listado de sinergias industriales aplicables a mipymes manufactureras

Sinergia industrial	Descripción	Grupo industrial (salida)	CIIU	Grupo industrial (entrada)	CIIU	Fuente
Elaboración de productos de molinería	Los restos de masa, galletas y de molienda de trigo provenientes de la industria de fabricación de productos de molinería pueden ser aprovechados como insumo en la elaboración de alimento balanceado para animales.	1	1061	1	1080	Vidales et al. (2004)
Elaboración de piensos para animales						Vargas Corredor y Pérez Pérez (2018)
Elaboración de productos lácteos	El suero lácteo proveniente de la elaboración de queso, generado específicamente durante el proceso de coagulación, puede ser aprovechado como insumo para la elaboración de helados.	1	1050	1	1050	Amezquita et al. (2018)
Elaboración de productos lácteos						Williams Zambrano y Dueñas (2021)
Elaboración de bebidas malteadas y de malta	El bagazo de cerveza, subproducto del filtrado en la industria de elaboración de bebidas malteadas y de malta, puede ser utilizado para la elaboración de piensos en la industria de elaboración de piensos preparados para animales.	1	1103	1	1080	Vargas Corredor y Pérez Pérez (2018)
Elaboración de piensos preparados para animales						Velasco et al. (2017)

(continúa)

(continuación)

Sinergia industrial	Descripción	Grupo industrial (salida)	CIU	Grupo industrial (entrada)	CIU	Fuente
Producción e hilatura de fibras textiles	Los retazos de tela provenientes de la industria de producción de telas denim, específicamente durante el proceso de confección, son aprovechados como tela textil de algodón en la fabricación de nuevos productos textiles como accesorios o algunas prendas menores de vestir.	2	1311	2	1410	Abuchaibe (2019)
Fabricación de productos textiles						Henao (2015)
Preparación e hilatura de fibras textiles	Los restos de cintas de algodón, hilaza, merma de pima, guaipe, rodetes y pabilos provenientes del proceso de hilatura de fibras textiles pueden ser aprovechados para la tejeduría de nuevos productos textiles.	2	1311	2	1311	Henao (2015)
Preparación e hilatura de fibras textiles	Los retazos textiles generados durante la fabricación de prendas de vestir pueden ser empleados mediante reciclaje secundario para la elaboración de nuevas fibras, actividad que corresponde a la industria de preparación e hilatura de fibras textiles.					García (2018)
Fabricación de prendas de vestir, excepto prendas de piel	Las botellas de plástico PET, subproductos de la elaboración de bebidas no alcohólicas, pueden ser aprovechadas para la extracción de fibras de poliéster. Estas fibras, permiten el reemplazo del plástico PET en la elaboración de artículos de plástico intermedios o finales como pellets, frazadas y láminas.	2	1410	2	1311	Pascual y Mosquera (2022)
Preparación e hilatura de fibras textiles						Gómez Gómez et al. (2019)
Elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y otras aguas embotelladas		1	1104	7	2220	Bolaños (2019)
Fabricación de productos de plástico						López (2016)

Identificación de distritos potenciales para la implementación de sinergias industriales

(continuación)

Sinergia industrial	Descripción	Grupo industrial (salida)	CIU	Grupo industrial (entrada)	CIU	Fuente
Elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas	Los residuos agroindustriales generados en los procesos de manipulación o limpieza de la industria de elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas pueden ser aprovechados como fibra vegetal para la producción de fibrocemento, parte de la industria de fabricación de artículos de asbesto-cemento, fibrocemento de celulosa y materiales similares.	1	1030	8	2395	Castillo Piscoya et al. (2021)
Fabricación de artículos de asbesto-cemento, fibrocemento de celulosa y materiales similares						Gamarra (2016)
Elaboración de vinos	Los envases de vidrio descartados provenientes de la industria de elaboración de vinos, específicamente de la etapa de embotellado de vinos, pueden ser aprovechados como materia prima para la fabricación de vidrio nuevo.	1	1102	8	2310	Carrasco (2019)
Fabricación de vidrio y productos de vidrio						
Fabricación de muebles	El aserrín de madera proveniente de la industria de fabricación de muebles, específicamente de la etapa de aserrado, se emplea como reemplazo parcial de la arena en la producción de concreto, actividad que corresponde a la industria de fabricación de artículos de hormigón y yeso.	12	3100	8	2395	Bresciani et al. (2019)
Fabricación de artículos de hormigón y yeso						Huirma Barriales (2021)

Nota. Adaptado de "Servicio de apoyo en la implementación de la *Hoja de Ruta hacia una Economía Circular en el Sector Industria*, a partir de las acciones priorizadas de cumplimiento en el corto y mediano plazo. Informe final" por Deuman, 2022, Ministerio de Ambiente, Unión Europea.

Las actividades industriales de preparación e hilatura de fibras textiles (CIU: 1311) y tejeduría de productos textiles (CIU: 1312), por lo general, se desarrollan en conjunto en una misma organización, como actividades principales o secundarias. Sin embargo, las organizaciones identificadas en Lima Metropolitana poseen como actividad principal a la actividad con CIU 1311 y como actividad secundaria a la actividad con CIU 1312. Por lo tanto, se considerará a la actividad con CIU 1311 en la identificación de distritos potenciales para la implementación de acciones de circularidad.

La identificación y representación cartográfica de los distritos potenciales se realizará mediante sistemas de información geográfica (SIG), para ello se considerarán aquellos distritos que albergan las mipymes involucradas en la mayor cantidad de SI, las cuales se mencionaron en la Tabla 2. Adicionalmente, se identificaron las infraestructuras de valorización de residuos sólidos no municipales existentes en Lima Metropolitana con la finalidad de complementar a las SI (Marchi et al., 2017).

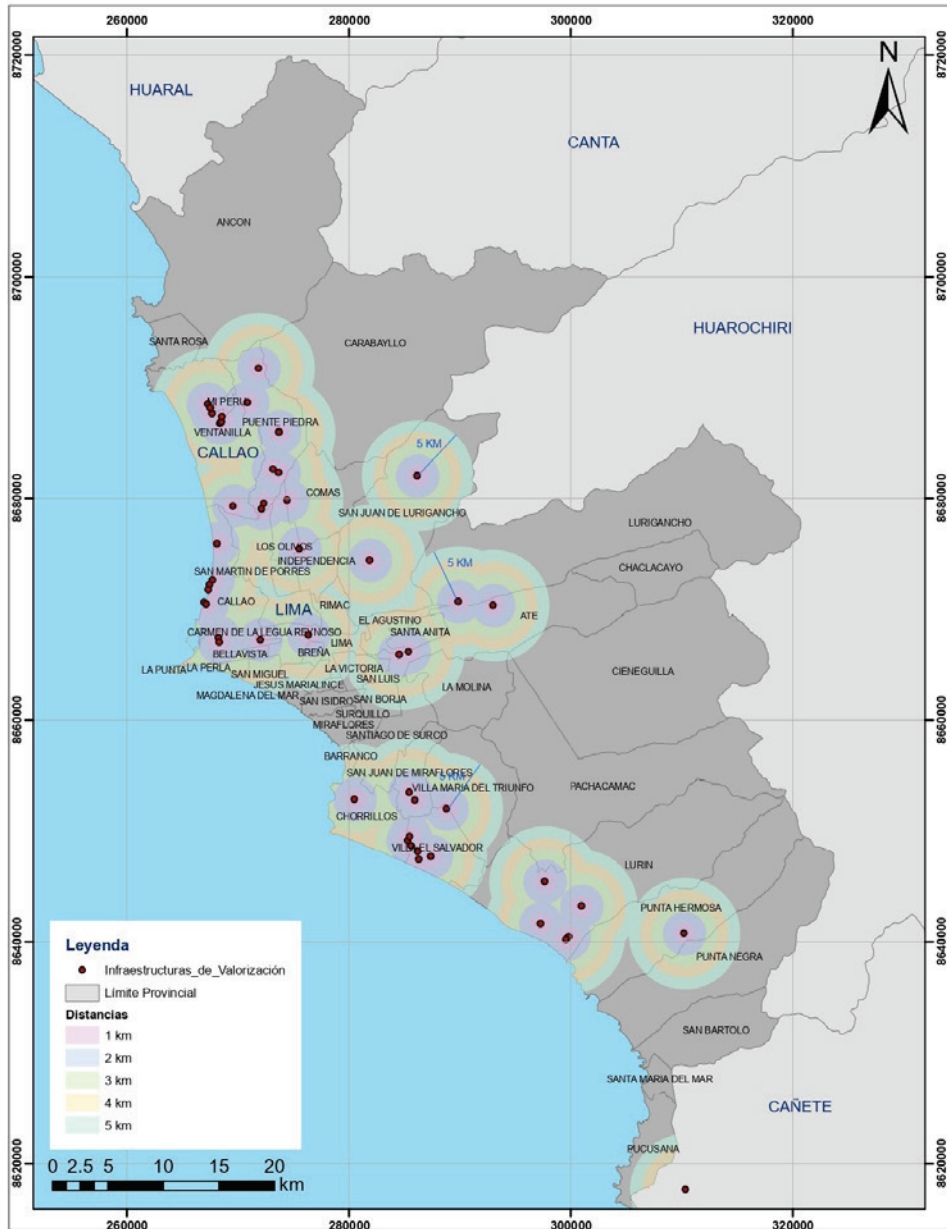
2.4 Infraestructuras complementarias para el desarrollo de sinergias industriales

Las grandes industrias manufactureras, infraestructuras de recuperación de materiales, así como infraestructuras de comercialización o valorización de residuos sólidos, también forman parte de las redes de sinergia industrial en una región (Álvarez & Ruiz-Puente, 2017).

En esta investigación se tomaron en cuenta a las infraestructuras de valorización de residuos sólidos no municipales, como complemento para las SI. En la Figura 1 se puede apreciar la conformación de las infraestructuras de valorización de residuos sólidos del ámbito no municipal en el departamento de Lima, que fue tomada del Inventario Nacional de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos (Resolución Directoral 00007-2023-OEFA/DSIS, 2023).

Figura 1

Infraestructuras de valorización en el departamento de Lima



Nota. Adaptado de "Resolución Directoral N.º 00007-2023-OEFA/DSIS" por Ministerio de Ambiente, 2023.

Según el mapa de infraestructuras de valorización de residuos sólidos (IFRS) se puede identificar que la mayoría de los distritos potenciales se encuentran dentro de la cobertura (un máximo de cinco kilómetros) de cada infraestructura identificada; sin embargo, existen algunos distritos de Lima Metropolitana que no se encuentran totalmente dentro de la cobertura de las IFRS, los cuales son Miraflores, Pachacámac, Chaclacayo, La Molina y Santiago de Surco.

Es clave resaltar la distancia hacia las IFRS, ya que incide en el costo del transporte y otros vinculados a la logística de materiales. En su mayoría, las mipymes no valorizan sus residuos sólidos debido al costo de transporte y el posterior tratamiento que implica dicho proceso, lo que no solo se convierte en un problema para el ambiente, sino también para la salud pública. Asimismo, otro problema identificado es la falta de adopción de tecnologías e innovación de productos y procesos (Marchi et al., 2017).

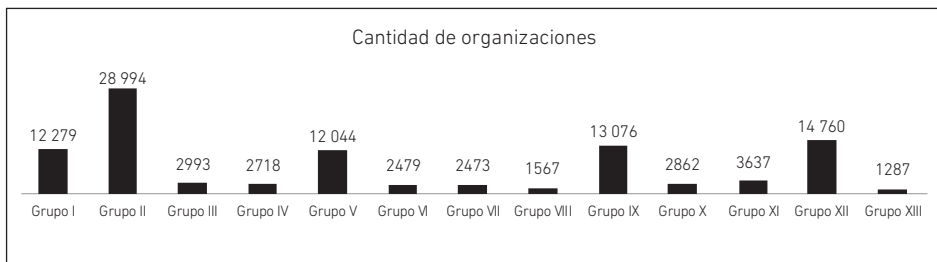
3. RESULTADOS

3.1 Identificación y clasificación de mipymes en grupos industriales

Se cuantificó la cantidad de mipymes manufactureras en Lima Metropolitana por cada grupo industrial, de las cuales resultó que en cinco grupos industriales se contabilizaron más de diez mil organizaciones. Asimismo, el grupo II fue el más predominante con 28 994 organizaciones, seguido del grupo XII con 14 760 organizaciones, el grupo IX con 13 076 organizaciones, el grupo I con 12 279 con organizaciones y el grupo V con 12 044 organizaciones (véase la Figura 2).

Figura 2

Cantidad de mipymes manufactureras por grupo industrial en Lima Metropolitana



Nota. De "Directorio de mipymes" por Ministerio de Producción, 2021.

3.2 Priorización de los grupos industriales con mayor potencialidad de implementar sinergias industriales

La revisión bibliográfica de investigaciones sobre actividades industriales con mayor potencialidad de sustituir materia prima por material de descarte o residuo industrial, resultó en la obtención de cuatro grupos industriales prioritarios, los cuales son los siguientes:

- Grupo I: Elaboración de alimentos, bebidas y tabaco
- Grupo II: Fabricación de productos textiles, prendas de vestir
- Grupo VII: Fabricación de productos de caucho y de plástico
- Grupo VIII: Fabricación de otros productos minerales no metálicos

De estos se describieron las acciones de circularidad, las que involucran actividades industriales de los grupos mencionados, con la finalidad de aprovechar el material de descarte o residuos sólidos generados.

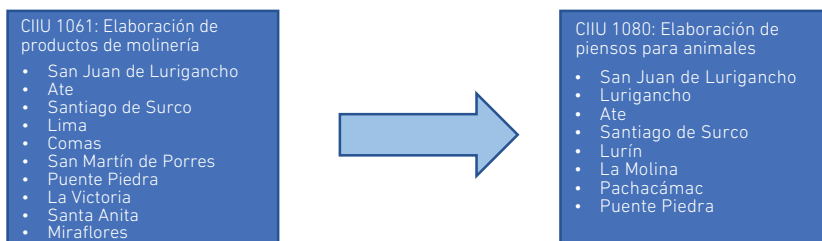
3.3 Localización de distritos en Lima Metropolitana con potencialidad de implementar sinergias industriales en mipymes

Los distritos que potencialmente pueden implementar SI fueron identificados a partir de la información de las SI identificadas en la Tabla 2 y los datos de ubicación (departamento, provincia y distrito) del directorio de mipymes manufactureras. El resultado de dicho análisis se puede apreciar en las Figura 3, la cual muestra las actividades industriales emisoras (lado izquierdo) y las actividades industriales receptoras (lado derecho).

Figura 3

Distritos de Lima Metropolitana con potencialidad de implementar sinergias industriales aplicables a mipymes manufactureras

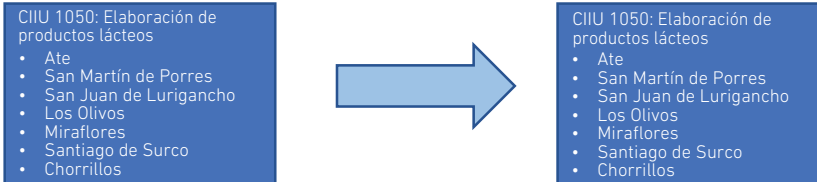
Acción de circularidad 1. Los restos de masa, galletas y de molienda de trigo provenientes de la industria de fabricación de productos de molinería pueden ser aprovechados como insumo en la elaboración de alimento balanceado para animales.



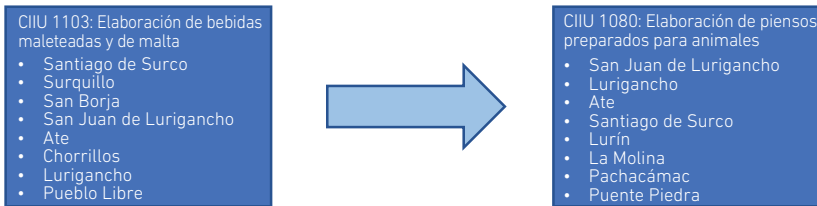
(continúa)

(continuación)

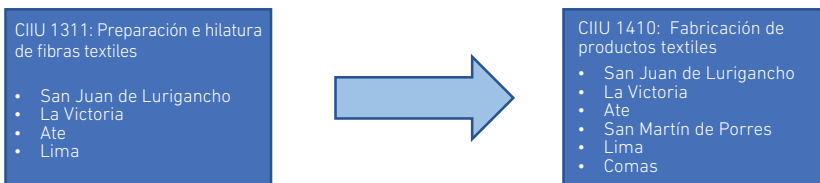
Acción de circularidad 2. El suero lácteo proveniente de la elaboración de queso, generado específicamente durante el proceso de coagulación, puede ser aprovechado como insumo para la elaboración de helados.



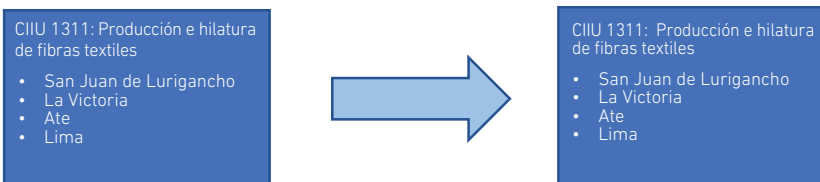
Acción de circularidad 3. El bagazo de cerveza, subproducto del filtrado en la industria de elaboración de bebidas malteadas y de malta, puede ser utilizado para la elaboración de piensos en la industria de elaboración de piensos preparados para animales.



Acción de circularidad 4. Los retazos de tela provenientes de la industria de producción de telas denim, específicamente durante el proceso de confección, son aprovechados como tela textil de algodón en la fabricación de nuevos productos textiles como accesorios o algunas prendas menores de vestir.



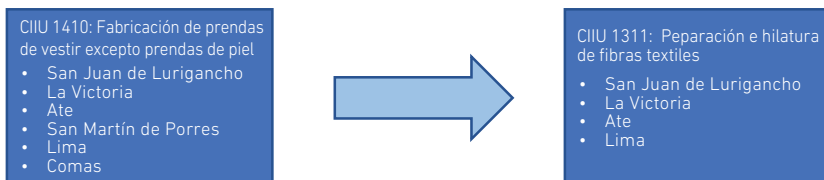
Acción de circularidad 5. Los restos de cintas de algodón, hilaza, merma de pima, guaipe, rodetes y pabilos provenientes del proceso de hilatura de fibras textiles pueden ser aprovechados para la tejeduría de nuevos productos textiles.



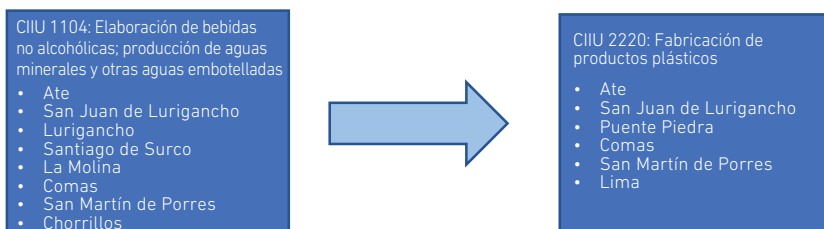
(continúa)

(continuación)

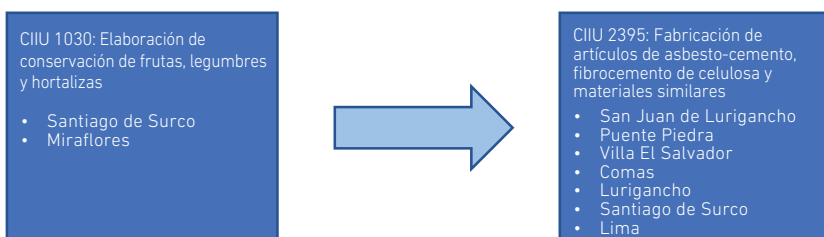
Acción de circularidad 6. Los retazos textiles generados durante la fabricación de prendas de vestir pueden ser empleados mediante reciclaje secundario para la elaboración de nuevas fibras, actividad que corresponde a la industria de preparación e hilatura de fibras textiles.



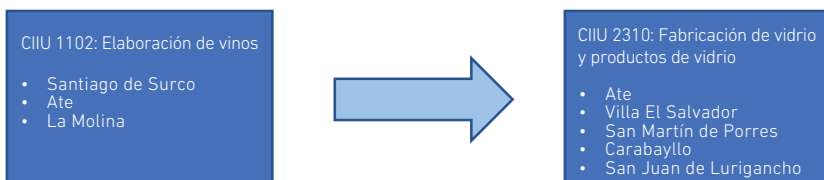
Acción de circularidad 7. Las botellas de plástico PET, subproductos de la elaboración de bebidas no alcohólicas, pueden ser aprovechadas para la extracción de fibras de poliéster. Estas fibras, permiten el reemplazo del plástico PET en la elaboración de artículos de plástico intermedios o finales como pellets, frazadas y láminas.



Acción de circularidad 8. Los residuos agroindustriales generados en los procesos de manipulación o limpieza de la industria de elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas pueden ser aprovechados como fibra vegetal para la producción de fibrocemento, parte de la industria de fabricación de artículos de asbesto-cemento, fibrocemento de celulosa y materiales similares.



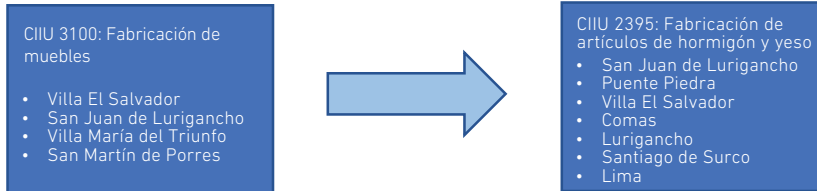
Acción de circularidad 9. Los envases de vidrio descartados provenientes de la industria de elaboración de vinos, específicamente de la etapa de embotellado de vinos, pueden ser aprovechados como materia prima para la fabricación de vidrio nuevo.



(continúa)

(continuación)

Acción de circularidad 10. El aserrín de madera proveniente de la industria de fabricación de muebles, específicamente de la etapa de aserrado, se emplea como reemplazo parcial de la arena en la producción de concreto, actividad que corresponde a la industria de fabricación de artículos de hormigón y yeso.



Los distritos con mayor participación como emisores de material de descarte o residuos son San Juan de Lurigancho (ocho actividades industriales), Ate (ocho actividades industriales), Santiago de Surco (seis actividades industriales) y San Martín de Porres (cinco actividades industriales).

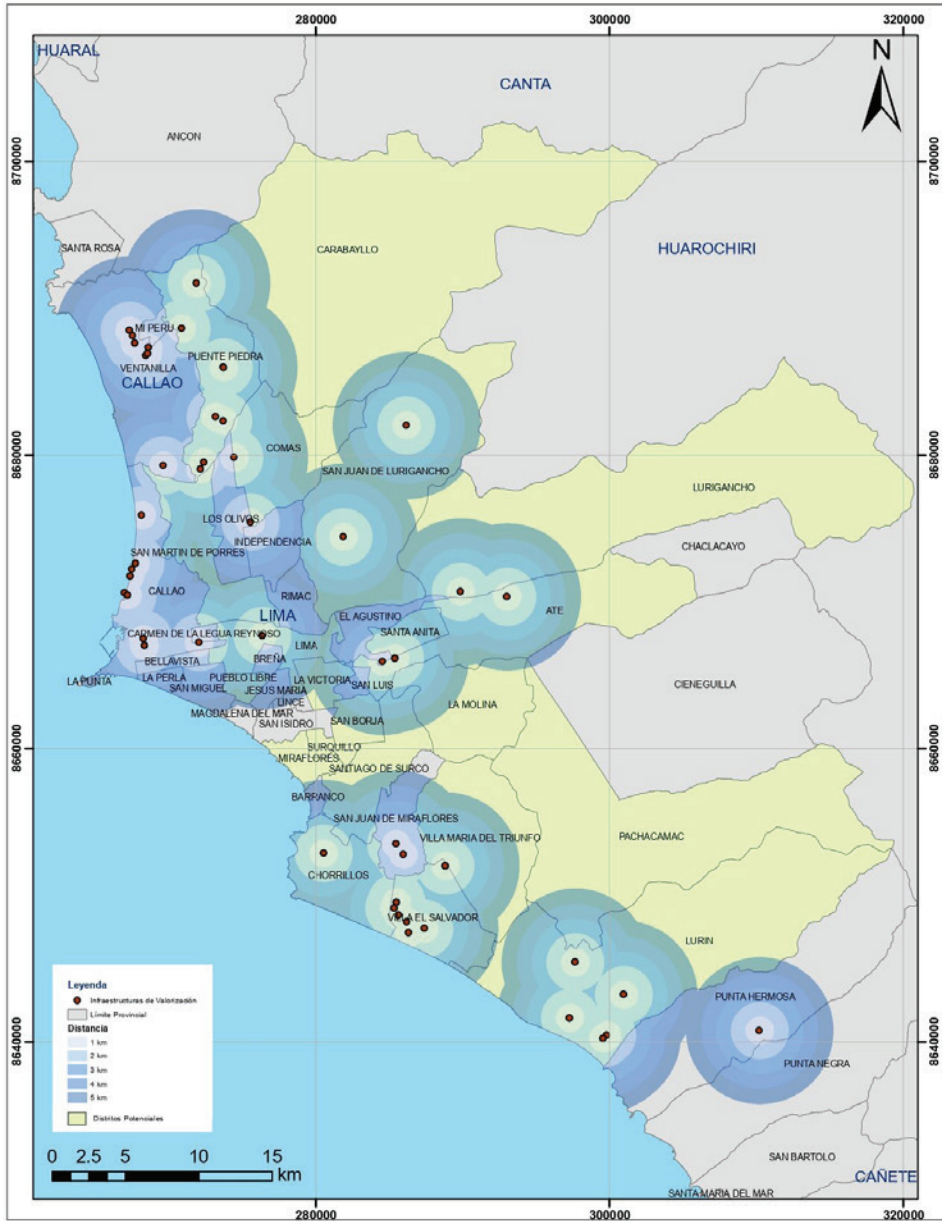
Por otro lado, los distritos con mayor participación como receptores de material de descarte o residuos son San Juan de Lurigancho (diez actividades industriales), Ate (ocho actividades industriales), Santiago de Surco (cinco actividades industriales) y San Martín de Porres (cuatro actividades industriales).

3.4 Representación cartográfica de los distritos de Lima Metropolitana con potencialidad de implementar sinergias industriales

La identificación de SI aplicables a mipymes de los grupos industriales priorizados, en conjunto con la identificación de empresas mipymes manufactureras y las infraestructuras de valorización de residuos sólidos no municipales, permitió elaborar el mapa de distritos de Lima Metropolitana con potencialidad de implementar SI (véase la Figura 4).

Figura 4

Mapa de distritos de Lima Metropolitana con potencialidad de implementar sinergias industriales



Beneficios para las mipymes manufactureras de implementar sinergias industriales

Los resultados de la investigación benefician al desarrollo de la actividad industrial manufacturera en Lima Metropolitana, ya que permite conocer la proximidad geográfica entre distritos para el desarrollo de SI (Lieder & Rashid, 2016). Asimismo, la aplicación de SI en las actividades manufactureras de los grupos industriales priorizados genera beneficios económicos, los cuales representan ahorros en costos de materiales en la producción y reducción de emisiones de dióxido de carbono (Rutgers & Coykendall, 2021). Entonces, el desarrollo de SI en las mipymes manufactureras es una forma de adoptar el enfoque de producción basado en una economía circular, ya que orienta su actividad productiva hacia la sostenibilidad en todos los niveles de la cadena y se complementa con los principios de responsabilidad extendida del productor y responsabilidad compartida (Kazakova & Lee, 2022).

En Perú ya existen algunas iniciativas con enfoque circular emprendidas por mipymes manufactureras, las cuales emplean material de descarte o residuos sólidos como sustitutos de materia prima, tal es el caso de la empresa Away Pasión y Calidad que. A raíz de la pandemia, tuvo que cambiar su modelo de producción hacia uno más sostenible. Es así como esta empresa decide innovar sus procesos mediante el uso del fieltro —que es la fibra de alpaca no comercial y que en su mayoría es considerado una merma textil— en la elaboración de diversos tejidos artesanales (prendas de vestir, sombreros y accesorios), lo que permite, de este modo, el desarrollo de negocios de transformación de fibras (Instituto Tecnológico de la Producción [ITP], 2021).

Otra iniciativa es el empleo de residuos sólidos en la elaboración de abonos orgánicos, mediante procesos de compostaje o de digestión anaerobia. En Arequipa, se encuentra la empresa de abonos ecológicos El Grifo Dorado, cuyo producto (fertilizante orgánico) no solo es beneficioso para las propiedades del suelo, sino también es un producto competitivo, ya que es 30 % menos costoso que los fertilizantes inorgánicos (Hanco, 2021).

Barreras para el desarrollo de sinergias industriales en mipymes

Las barreras que impiden la adopción de la economía circular en las mipymes son mayormente de conocimiento e investigaciones sobre innovación en el diseño, tecnológicas, culturales —reflejadas en la falta de interés de los empresarios por adoptar la economía circular en los procesos industriales—, financieras, estratégicas, de mercado y regulatorias (Kirchherr et al., 2018; Mishra et al., 2022). Asimismo, existen empresas manufactureras que persisten en emplear un enfoque lineal en sus procesos, debido a que perciben el camino para lograr la transición hacia la economía circular como un proceso complejo (Da Costa Pimenta, 2022),

La débil legislación en la implementación de estrategias de economía circular, la cual comprende también a las SI, impide que las mipymes manufactureras se desempeñen de forma sostenible (Moreira Tavares et al., 2023).

Recomendaciones para promover las sinergias industriales en mipymes

Para que se lleven a cabo las SI de manera óptima, es fundamental promover la diversificación industrial o la generación de ecosistemas industriales. De esta forma, se podrá integrar y generar oportunidades a la mayor cantidad de empresas manufactureras (Jensen, 2016; Muyulema Allaica, 2018; Tolstykh et al., 2020). Asimismo, es importante gestionar la inclusión a futuro de las actividades económicas de servicios y comercios en las SI (Abello et al., 2021; Marchi et al., 2017).

Es necesario generar una base de datos que permita conocer los materiales e insumos que requieren ciertas actividades industriales y, a su vez, conocer la oferta de materiales y residuos industriales que puedan ser empleados como sustitutos para cubrir dicha demanda, lo cual no es imposible, ya que existe el marco regulatorio conocido como la *Hoja de ruta hacia una economía circular en el sector industria*, que impulsa el desarrollo de SI mediante el aprovechamiento del material de descarte o de residuos industriales.

Las SI no solo se limitan en el intercambio de materiales entre actividades económicas, sino también en la implementación de infraestructuras complementarias a estas relaciones de sinergia (plantas de valorización, plantas de tratamiento en el caso de residuos peligrosos e incluso infraestructuras de disposición final). Sin embargo, es menester fortalecer la parte alta de la cadena de producción y evitar en lo máximo posible que el material de descarte o de residuo sólido sean llevados a un relleno sanitario.

Otro mecanismo fundamental para que se lleven a cabo las SI es el financiamiento. Respecto a ello, PRODUCE, a través de Innóvate Perú, promueve fondos públicos de innovación productiva en actividades industriales manufactureras (Decreto Supremo 003-2020-PRODUCE, 2020).

Por otro lado, en el Perú se están implementando parques industriales, localizados mayormente en el distrito de Chilca (provincia de Cañete, departamento de Lima), los cuales buscan concentrar la actividad industrial en una zona determinada para obtener un beneficio mutuo del aprovechamiento de materiales, energía y agua generados por ellos mismos. Sin embargo, estas iniciativas son conformadas por las grandes empresas industriales que dejan de lado a las mipymes. Asimismo, la economía circular es un modelo donde no podemos dejar a nadie atrás. Si bien la producción industrial se concentra en las grandes empresas, más del 90 % de empresas manufactureras son mipymes (Ministerio de la Producción, 2021).

4. DISCUSIÓN

Los distritos de Lima Metropolitana con mayor potencialidad de implementar SI a nivel de mipymes manufactureras son San Juan de Lurigancho, Ate, Santiago de Surco y San Martín de Porres. Asimismo, estas acciones de circularidad evaluadas corresponden mayormente a actividades industriales del grupo I (elaboración de alimentos, bebidas y tabaco) y del grupo II (fabricación de productos textiles, prendas de vestir). Estos coinciden con la priorización realizada por Ríos y Rodríguez (2021), quienes señalaron a los grupos industriales de fabricación de alimentos y bebidas, fabricación de otros productos minerales no metálicos y fabricación de productos de caucho y de plástico, como aquellos con el mayor potencial de implementar SI.

La identificación de los distritos potenciales contribuye con la formulación de estrategias de nivel local, regional e incluso nacional, sobre economía circular y gestión de residuos sólidos en el sector industrial, ya que permitiría la generación de clústeres o agrupaciones industriales en relación con las SI identificadas. Con relación a ello, Abello et al. (2021) agruparon a las empresas generadoras de residuos no peligrosos de la región de Valparaíso en clústeres, de acuerdo con un análisis territorial previo basado en la generación de residuos sólidos de las actividades económicas para la creación de una plataforma de industria circular, que no solo se limita a incluir actividades manufactureras, sino también incluye a otras actividades económicas y de servicios.

Entonces, para que se lleve a cabo el desarrollo de SI, es fundamental contar con una base de datos o plataforma que brinden información sobre las materias primas que requieren ciertas actividades industriales y cómo estas pueden emplear material de descarte o residuos sólidos para sustituir insumos o materiales vírgenes (Wuyts et al., 2022). Adicionalmente, el uso de tecnologías para generar base de datos e integrarlos con sistemas de información geográfica (SIG) para tener localizada cada empresa vinculada a determinada actividad industrial permitiría generar rutas de aprovechamiento de material o de residuos entre actividades de rubros similares o diferentes (Álvarez, 2014).

La inclusión de infraestructuras de valorización como complemento a las acciones de circularidad en Lima Metropolitana permite aprovechar el mayor tiempo posible los materiales y residuos sólidos generados. Asimismo, la introducción de nuevas formas de sinergias entre las infraestructuras industriales, los servicios públicos y las instalaciones de servicios públicos como un sistema holístico contribuye al ahorro de recursos y materiales, así como la reducción del impacto al ambiente (Marchi et al., 2017)

5. CONCLUSIONES

En algunos distritos de Lima Metropolitana se pueden implementar SI, aplicables a mipymes, las cuales se basan en la sustitución de materia prima por material de descarte

o de residuos sólidos. Asimismo, se han identificado distritos que presentan cantidades elevadas de empresas manufactureras de distintos tipos de actividades industriales, tales como San Juan de Lurigancho, Ate, Santiago de Surco, San Martín de Porres, entre otros.

La implementación de SI en mipymes manufactureras requiere de un marco regulatorio fortalecido en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional), que permita facilitar la transición de las mipymes hacia una economía circular. Las mipymes deben acceder a fuentes de financiamiento en tecnología e innovación para que sus procesos industriales sean llevados a cabo de manera sostenible.

Los resultados de la investigación contribuyen con el impulso de la *Hoja de ruta hacia una economía circular en el sector industria*, a través de la promoción del aprovechamiento de material de descarte y de residuos sólidos en las actividades industriales manufactureras.

Para la implementación de cualquier iniciativa basada en economía circular, tales como las SI, se debe evaluar el impacto ambiental, la reducción de residuos y la generación de emisiones de gases de efecto invernadero que provocarían estas acciones, así como la rentabilidad que traería, ya que de ser positiva representaría una ventaja competitiva (Lieder & Rashid, 2016).

6. REFERENCIAS

- Abello, V., Videla, J. T., & Martínez, P. (2021). *Potenciales sinergias territoriales*. Plataforma Industria Circular.
- Abuchaibe, D. (2019). *Aprovechamiento y transformación de residuos textiles para el desarrollo de accesorios complementarios de moda* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriano. <http://hdl.handle.net/10554/46139>
- AIVP. (2020). *Kalundborg (Dinamarca): Symbiosis, proyecto pionero y modelo de ecología circular*. <https://www.aivp.org/es/buenas-practicas/kalundborg-dinamarca-symbiosis-proyecto-pionero-y-modelo-de-ecologia-circular/>
- Álvarez, R. (2014). *Detección de sinergias de simbiosis industrial y gestión medioambiental entre pymes de áreas industriales mediante herramientas de análisis espacial de la información* [Tesis de maestría, Universidad de Cantabria]. UCrea. Repositorio Abierto de la Universidad de Cantabria. <http://hdl.handle.net/10902/5760>
- Álvarez, R., & Ruiz-Puente, C. (2017). Development of the tool SymbioSyS to support the transition towards a circular economy based on industrial symbiosis strategies. *Waste and Biomass Valorization*, 8, 1521-1530. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9748-1>

- Amezquita, A. M., Camargo, A., & Guerrero, D. (2018). *Diseño de un subproducto a base de lactosuero en la fábrica de lácteos Belén* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriano. <http://hdl.handle.net/10554/36471>
- Babkin, A., Shkarupeta, E., Tashenova, L., Malevskaia-Malevich, E., & Shchegoleva, T. (2023). Framework for assessing the sustainability of ESG performance in industrial cluster ecosystems in a circular economy. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100071>
- Bolaños, J. (2019). *Reciclado de plástico PET* [Tesis de bachillerato, Universidad Católica San Pablo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12590/16146>
- Bravo-Calle, O. E., Osorio-Rivera, M. A., & Loor-Lalvay, X. A. (2021). La calidad del desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Polo del Conocimiento*, 6(9), 153-167. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8094540>
- Bresciani, J., Mantulak, M., & Brazzola, C. (2019). Aprovechamiento de residuos de madera en construcciones civiles: revisión bibliográfica. En *Jornadas de investigación, desarrollo tecnológico, extensión, vinculación y muestra de la producción*. Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería.
- Carrasco, T. (2019). El reciclaje de vidrio y su impacto en la conservación del medio ambiente. *Explorador Digital*, 1(4), 22-31. <https://doi.org/10.33262/exploradordigital.v1i2.319>
- Castillo Piscocoya, G. E., Chavarry Koosi, J. C., Peralta Panta, J. K., & Muñoz Pérez, S. P. (2021). Uso de residuos agroindustriales en las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. *Revista Ingeniería*, 5(13), 123-142. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i13.86>
- Circle Economy. (2023). *The Circularity Gap Report 2023*. <https://www.circularity-gap.world/2023>
- Da Costa Pimenta, C. C. (2022). La economía circular como eje de desarrollo de los países latinoamericanos. *Revista Economía y Política*, 35, 1-11.
- Dantas, T. E. T., De-Souza, E. D., Destro, I. R., Hammes, G., Rodriguez, C. M. T., & Soares, S. R. (2021). How the combination of circular economy and industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 213-227. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005>
- Deuman. (2022). *Servicio de apoyo en la implementación de la Hoja de ruta hacia una economía circular en el sector industria, a partir de las acciones priorizadas de cumplimiento en el corto y mediano plazo. Informe final*. Ministerio del Ambiente; Unión Europea.

- Domenech, T., Bleischwitz, R., Doranova, A., Panayotopoulos, D., & Roman, L. (2019). Mapping industrial symbiosis development in Europe: typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 76-98. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.016>
- Earley, K. (2015). Industrial symbiosis: harnessing waste energy and materials for mutual benefit. *Renewable Energy Focus*, 16(4), 75-77. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2015.09.011>
- Fundación Ellen MacArthur. (2017). *El diagrama de la mariposa: visualizando la economía circular*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/el-diagrama-de-la-mariposa>
- Gamarra, L. (2016). *Aptitud de las fibras del mesocarpio de la palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) para la elaboración de tableros fibrocemento* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. BAN. Biblioteca Agrícola Nacional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2643>
- García, M. (2018). *Sistema de reciclaje de textiles post-consumo para el desarrollo de productos de economía circular en la ciudad de Bogotá, D. C.* [Proyecto de grado para optar al título de Especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. Repositorio Institucional de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas. <http://hdl.handle.net/11349/13550>
- GómezGómez, J.F., GonzálezMadariaga, F.J., & RossaSierra, L.A. (2019). Nuevos materiales a partir de residuos textiles: una perspectiva del diseño industrial. *RChD: Creación y Pensamiento*, 4(7). <https://doi.org/10.5354/0719-837x.2019.49872>
- Gravagnuolo, A., Angrisano, M., & Girard, L. F. (2019). Circular economy strategies in eight historic port cities: criteria and indicators towards a circular city assessment framework. *Sustainability*, 11(13). <https://doi.org/10.3390/su11133512>
- Hanco, N. (2021). Abono orgánico arequipeño, una alternativa ante el costo de fertilizantes. *Correo*. <https://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/abono-organico-arequipeno-una-alternativa-ante-el-costo-de-fertilizantes-noticia/?ref=dcr>
- Henao, J. (2015). *Aprovechamiento del residuo textil como materia prima para la creación de nuevos productos* [Tesis de grado, Universidad Católica de Pereira]. RIBUC. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Pereira. <https://repositorio.ucp.edu.co/handle/10785/3376>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hernández- Metodología de la investigación.pdf>

- Huirma Barriales, H. L. (2021). *Elaboración de bloques de concreto con la adición de aserrín para el uso en edificaciones de albañilería confinada, Juliaca-Puno 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Universidad César Vallejo, Repositorio Digital Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58815>
- Hurtado Ruiz, A. M., & Jordá Ferrando, L. (2018). *Simbiosis industrial como herramienta del paradigma de la economía circular*. AIDIMME. http://intranet3.aidimme.es/acceso_externo/download/archivos_circulares/Nyw5NDM2ODkyMjcxMDQxOUUrMjA.pdf
- Instituto Tecnológico de la Producción. (2021, 12 de junio). *Empresa textil se reinventa e innova el mercado local elaborando sombreros y accesorios de fieltro de alpaca*. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/itp/noticias/500110-empresa-textil-se-reinventa-e-innova-el-mercado-local-elaborando-sombreros-y-accesorios-de-fieltro-de-alpaca>
- Jensen, P. D. (2016). The role of geospatial industrial diversity in the facilitation of regional industrial symbiosis. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 92-103. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2015.11.018>
- Kazakova, E., & Lee, J. (2022). Sustainable manufacturing for a circular economy. *Sustainability*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/su142417010>
- Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the circular economy: evidence from the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150, 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
- Liu, C., Côté, R. P., & Zhang, K. (2015). Implementing a three-level approach in industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 87(1), 318-327. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.067>
- Lizárraga-Mendiola, L., López-León, L. D., & Vázquez-Rodríguez, G. A. (2022). Municipal solid waste as a substitute for virgin materials in the construction industry: a review. *Sustainability*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/su142416343>
- Lluís, A., & Martínez, A. (2023). *Manual Simbiosis Industrial - Implementación de un programa de economía circular para un desarrollo económico sostenible en México*. Unión

- Europea. https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/documents/2023/Manual_Simbiosis_Industrial.pdf
- López, C. (2016). *Reciclado del plástico (PET) para la obtención de fibra textil* [Trabajo final de carrera, Ingeniería Industrial]. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Marchi, B., Zaroni, S., & Zavanella, L. E. (2017). Symbiosis between industrial systems, utilities and public service facilities for boosting energy and resource efficiency. *Energy Procedia*, 128, 544-550. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.006>
- Ministerio de la Producción. (2020). Decreto Supremo 003-2020-PRODUCE. Por el cual se aprueba la hoja de ruta hacia una economía circular en el sector industria. Diario Oficial El Peruano, 19 de enero del 2020. <https://www.gob.pe/es/l/444490>
- Ministerio de la Producción. (2021). *Directorio de mipymes*. <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-directorio/directorio-mipyme>
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Informe Nacional sobre la Gestión de los Residuos Sólidos 2019*.
- Mishra, R., Singh, R. K., & Govindan, K. (2022). Barriers to the adoption of circular economy practices in micro, small and medium enterprises: Instrument development, measurement and validation. *Journal of Cleaner Production*, 351. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131389>
- Moreira Tavares, T., Devós Ganga, G. M., Godinho Filho, M., & Picanço Rodrigues, V. (2023). The benefits and barriers of additive manufacturing for circular economy: A framework proposal. *Sustainable Production and Consumption*, 37, 369-388. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.03.006>
- Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>
- Muyulema Allaica, J. C. (2018). La ecología industrial y la economía circular. Retos actuales al desarrollo de industrias básicas en el Ecuador. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 5(2), <https://dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/44>
- Naciones Unidas. (2021). *América Latina y el Caribe lanza la Coalición de Economía Circular*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2021/02/1487482>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2023). Resolución 00007-2023-OEFA/DSIS del 17 de enero de 2023. Aprobar el Inventario Nacional de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos, de acuerdo a lo detallado en los Anexos I y II; así como el Inventario Inventario Nacional de Infraestructuras de Residuos Sólidos, de acuerdo a lo establecido en el Anexo III. <https://www.gob.pe/es/l/3156088>

- Pascual, C., & Mosquera, R. (2022). *Evaluación de alternativas de disposición final de prendas de vestir usadas en Bogotá* [Tesis de licenciatura, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1999/
- Ríos, P., & Rodríguez, E. (2021). *Las redes de simbiosis industrial y el empleo, el caso Colombia*. Organización Internacional del Trabajo.
- Rutgers, V., & Coykendall, J. (2021). *Sustainable manufacturing from vision to action contents*. Deloitte.
- Salmi, A., & Kaipia, R. (2022). Implementing circular business models in the textile and clothing industry. *Journal of Cleaner Production*, 378. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134492>
- Tecnalia. (2017). *Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia para la Misión de Crecimiento Verde*. <http://hdl.handle.net/11520/21034>
- Tolstykh, T., Shmeleva, N., & Gamidullaeva, L. (2020). Evaluation of circular and integration potentials of innovation ecosystems for industrial sustainability. *Sustainability*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114574>
- Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 1(1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Velasco, J., Gomez, F., Hernandez, A., Salinas, J., & Guerrero, A. (2017). Residuos orgánicos de la agroindustria azucarera: retos y oportunidades. *Agro Productividad*, 10(11), 99-104. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/56>
- Vidales, A., Chávez, V., García, E., & Gómez, T. (2004). Alimentos balanceados para animales a partir de residuos orgánicos. *Conciencia Tecnológica*, (26).
- Williams Zambrano, M. B., & Dueñas, A. A. (2021). Alternativas para el aprovechamiento del lactosuero: antecedentes investigativos y usos tradicionales. *La Técnica. Revista de las Agrociencias*, 26(1), 39-50. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i26.3490
- World Bank Group. (2021). *Circular economy in industrial parks: technologies for competitiveness*.
- Wuyts, W., Miatto, A., Khumvongsa, K., Guo, J., Aalto, P., & Huang, L. (2022). How can material stock studies assist the implementation of the circular economy in cities? *Environmental Science and Technology*, 56(24), 17523-17530. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05275>

EVALUACIÓN ELÉCTRICA DE LÁMPARAS DE ILUMINACIÓN*

JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ-CORONA**

<https://orcid.org/0000-0001-9209-9287>

Universidad Tecnológica de Tlaxcala, Departamento de Ingeniería, Tlaxcala, México

PABLO SÁNCHEZ-LÓPEZ

<https://orcid.org/0000-0002-0882-8342>

Universidad Tecnológica de Tlaxcala, Departamento de Ingeniería, Tlaxcala, México

Recibido: 31 de julio del 2023 / Aceptado: 4 de septiembre del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6577>

RESUMEN. Este artículo tiene como propósito reconocer los armónicos provocados por contaminación con cargas no lineales, tales como las lámparas ahorradoras y led de diez vatios. Se comparan estas lámparas con unas incandescentes de la misma potencia para evaluar la forma de onda sinusoidal. Además, se estudian los parámetros eléctricos de potencias, voltajes y corriente, así como los porcentajes de las distorsiones armónicas totales. Estos resultados se evalúan con la aplicación del módulo para medición de calidad de la energía NI cRIO-9023 y los módulos de voltaje NI-9225 y corriente NI-9227. Los parámetros de visualización se presentan en forma gráfica y numérica a través del ENA-Touch. Asimismo, se desarrolla una medición del espectro infrarrojo para la determinación de la temperatura de la línea y del neutro, y se lleva a cabo el diseño de un filtro atenuador de armónicos, pasa altos de segundo orden RLC, para atenuar con este la contaminación armónica de corriente, pues esta es la que presenta una alteración en su contaminación. Finalmente, los resultados muestran una disminución de la amplitud armónica y el porcentaje de la distorsión armónica total.

PALABRAS CLAVE: armónicos / filtro atenuador / cargas no lineales / calidad de la energía / contaminación / filtro

* Este estudio fue financiado por la Universidad Tecnológica de Tlaxcala.

** Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: coronaluis@uttlaxcala.edu.mx; pablo.sanchez@uttlaxcala.edu.mx

ELECTRICAL EVALUATION OF LIGHTING LAMPS

ABSTRACT. The purpose of this research was to identify the harmonics caused by the pollution with non-linear loads such as energy-saving lamps and 10W LEDs. These lamps were compared with an incandescent lamp of the same power to establish the sinusoidal waveform. Electrical power, voltage, and current, as well as total harmonic distortion percentages, were studied. These results were evaluated with the NI cRIO-9023 controller for measuring power quality, and the NI-9225 voltage and NI-9227 current input modules. The visualization parameters were graphically and numerically displayed using ENA-Touch. The infrared spectrum was measured to determine the temperature of the power supply line and the neutral conductor. A harmonic attenuator filter, i.e., a second order high-pass RLC filter, was designed to mitigate the harmonic pollution. The results showed a decrease in the harmonic amplitude and the total harmonic distortion percentage.

KEYWORDS: harmonics / attenuator / non-linear loads / power quality / pollution / filter

1. INTRODUCCIÓN

El nacimiento de las redes eléctricas entre 1860 y 1885, con la puesta en operación de distintos componentes eléctricos, se llevó a cabo con la finalidad de crear una red de distribución que alimente al alumbrado y a la calefacción. Estos componentes operaban con corriente directa, lo que era un inconveniente, ya que este tipo de energía no se podía transmitir a grandes distancias, pues no podía elevar la tensión, lo que producía pérdidas por efecto Joule. Esto se solucionó con el sistema de distribución de corriente alterna, patentado por John Gibbs y Lucien Gaulard, y basado en la aplicación del transformador de corriente alterna inventado por Faraday y Henry en 1831. Años más tarde, George Westinghouse compró las patentes e inició la distribución exitosa de la corriente alterna (Yebra Morón, 2021).

Al inicio de la electrificación, los componentes utilizados fueron del tipo pasivo o comúnmente denominados cargas lineales: resistencias, bobinas o condensadores. Estos componentes no generaban alteraciones en la forma de onda, onda senoidal que suministraba la compañía suministradora de energía (Pérez et al., 1999).

Los beneficios que trajo el descubrimiento de la energía eléctrica están en sus diversas formas de aplicación, tales como pulsos, calor, ondas o radiación electromagnética, microondas, luz, entre otros. Hacen la vida más placentera o confortable, pues su uso es variado y con mayores aplicaciones cada vez. En México, la red de distribución de energía eléctrica o sistema de distribución es la parte que corresponde desde el suministro eléctrico hasta los usuarios finales: hogares, comercios, instituciones gubernamentales y empresas, cuya distribución se lleva a cabo en diferentes valores de tensión de consumo. Además, esta energía debe estar libre de cualquier tipo de perturbación que afecte el funcionamiento de los equipos conectados al sistema eléctrico (Hernández Ochoa, 2018).

Los beneficios son buenos, pero traen las perturbaciones ocasionadas por dispositivos no lineales. Esto provoca la generación de armónicos, ya sea de tensión o de corriente. De aquí la importancia del estudio de contaminación para comprender su funcionamiento y predecir las corrientes armónicas que se inyectan al sistema (Arrillaga & Watson, 2003).

Entonces, debido al aumento de equipos de electrónica, el problema de la contaminación y el tratamiento armónico adquieren gran importancia. Estos armónicos interfieren con los equipos electrónicos sensibles y provocan pérdidas de energía no deseadas en los equipos eléctricos (Benachaiba & Ferdi, 2007; El Mofty & Youssef, 2010).

Un problema actual asociado a la calidad de la energía es la distorsión de la onda de voltaje, corriente o frecuencia, la que causa un mal funcionamiento de equipos sensibles o el calentamiento excesivo de conductores. Por un lado, obliga al uso de equipos especializados para medir armónicos en sistemas reales y proponer posibles soluciones; por otra parte, obliga a las empresas suministradoras a aumentar la potencia aparente para mantener una fuente de alimentación confiable (Erazo Ávila & Guamán Segarra, 2022).

La compañía suministradora ha presentado más atención a un mejor uso de la electricidad en los últimos años, debido a la distorsión de corriente que se origina por cargas no lineales por parte de los usuarios (Mora-Barajas & Bañuelos-Sánchez, 2010). El incremento de averías en los transformadores de distribución es un fenómeno asociado, de la misma manera, a la contaminación provocada por el usuario, por el incremento de componentes electrónicos. Esto origina una contaminación de ondas no senoidales en la red y cuyos valores de frecuencia, para la República mexicana, es de 60 Hz; mientras que los armónicos son múltiplos enteros de la fundamental: 120, 180, 240, 300, ... n ciclos por segundo (Ruggero & Sánchez, 2014).

El problema generado por las distorsiones armónicas va disminuyendo la calidad de la energía y continuará con este proceso debido al uso creciente de equipo de iluminación, que es más eficiente y de bajo costo, así como la ausencia de normativas que limitan las cargas no lineales en sistema de distribución doméstica (Esparza González et al., 2006).

Frente a ello, la normativa internacional IEC 61000-4-30 define la calidad de la energía, como las características de la electricidad en un punto dado de la red eléctrica, con relación a un conjunto de parámetros técnicos de referencia (tensión, voltaje y frecuencia).

El uso creciente de equipos con componentes electrónicos provoca un aumento en las perturbaciones y afecta las características del suministro eléctrico (tensión y voltaje), por parte de los consumidores de energía. Esto da lugar a un suministro eléctrico fuera de límites establecidos en la norma IEEE Std 519-2014, el cual se muestra en la Tabla 1, con respecto al punto común de acoplamiento.

Tabla 1
Armónicos de corriente

Máxima corriente de distorsión armónica en porcentaje de la I_L						
Orden de los armónicos individuales						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
< 200	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Nota. I_L : corriente de carga; I_{sc} : corriente de circuito; TDD: distorsión de la demanda total; h : armónicos. De Institute of Electrical and Electronics Engineers (2014, p. 7).

En los hogares, los dispositivos electrónicos —como televisores, VCR y computadoras—, generan armónicos de voltaje y corriente que aumentan las pérdidas de energía y contaminan las líneas eléctricas. Esto puede causar estragos en la red y en los dispositivos a los que están conectados (Barajas & Bañuelos-Sánchez, 2010). El desarrollo de diversas investigaciones, basadas en el estudio de cargas productoras de energía contaminante de tensión, corriente y frecuencia, va enfocado al estudio de los armónicos, además de las perturbaciones eléctricas que afectan cada vez, y en mayor medida, a los sistemas eléctricos-electrónicos de los consumidores, así como a la red de distribución.

En el escenario que nos presenta el nuevo milenio, el uso de cargas no lineales en los sistemas eléctricos va en aumento, principalmente por el crecimiento de la electrónica de potencia, que se traduce en el desarrollo de investigaciones encaminadas a un uso más eficiente de la electricidad y un aumento significativo de la productividad en los procesos industriales. Pero esta distancia tiene el efecto contrario, la corriente armónica generada por equipos eléctricos distorsiona la onda de corriente sinusoidal original (Amaya-Vásquez & Inga-Ortega, 2022).

El desarrollo de nuevas investigaciones se enfoca en la evaluación de la contaminación lumínica que generan las lámparas de nueva generación, con el fin de conocer la cantidad de disturbios producidos y las afectaciones provocadas por contener frecuencias dañinas en diferentes ciclos de la vida, por ser estas una luz artificial. De esta manera, en los humanos se presentan algunos cambios en los comportamientos, principalmente en la visión y ritmos circadianos; mientras que en las plantas, los cambios se dan en los ritmos biológicos, pues se adelantan las estaciones (Brady, 2017).

Existen ventajas y desventajas de técnicas aplicadas al realizar estudios con procesamientos de las señales digitales que identifican frecuencias armónicas, de lo que se observa una distorsión de la onda de voltaje y de la onda de corriente, en una red de alimentación eléctrica. Se toma como referencia las técnicas clásicas que determinan la distorsión armónica de una señal eléctrica (O'Reilly, 2020).

El uso de nuevas tecnologías en iluminación, por un lado, nos lleva a un ahorro sustancial de energía y reduce con esto la contaminación ambiental de las plantas generadoras que se alimentan de combustibles no renovables; sin embargo, por otro lado, la generación de residuos al desechar las lámparas es un problema cada día más creciente.

Durante mucho tiempo, la falta de planificación ante el crecimiento de las redes eléctricas ha generado diversos problemas; el más importante es la estabilidad en la tensión. En un principio, el interés por este problema se dio por la falta de conocimiento del mismo. Al elevarse la demanda eléctrica en los centros de consumo, se incrementa la cantidad de contaminantes, por lo que aumentan los problemas de inestabilidad.

Este fenómeno es provocado por la capacidad de producción y transmisión, ya que no aumenta en la misma proporción, por lo que el sistema energético opera cada vez más cerca de sus límites de estabilidad (Palacios, 2020).

En los sistemas electrónicos, los voltajes y las corrientes armónicas pueden interferir con los dispositivos de control y protección. Se presentan pérdidas del cable por corrientes armónicas, las cuales son mayores, por lo que la temperatura aumenta.

Cualquier equipo afectado por tensiones o corrientes armónicas sufrirá pérdidas y, en última instancia, seguramente se degradará su funcionalidad. El estudio de calidad de la energía eléctrica nos permite identificar y solucionar problemas del sistema de distribución. Para la alimentación monofásica no existen métodos de mitigación, aun cuando el problema se incrementa día a día. Existen variables de mediciones o para cálculo usadas para indicar el contenido de armónicos:

Distorsión armónica total de voltaje (THD_V):

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_{RMS}^2 - V_1^2}}{V_1} \quad (1)$$

Distorsión armónica total de corriente (THD_I):

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_{RMS}^2 - I_1^2}}{I_1} \quad (2)$$

Donde:

V_{RMS} : Valor eficaz o valor cuadrático medio de la tensión

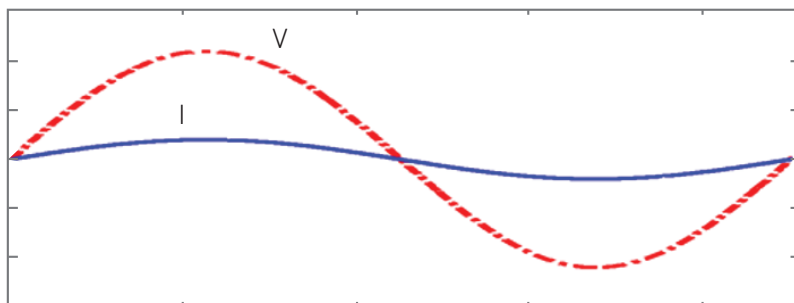
V_1 : Valor fundamental de la tensión con sus respectivas distorsiones armónicas

I_1 : Valor fundamental de la corriente

La iluminación incandescente mantiene las características de las ondas de tensión y corriente, tal como se observa en la Figura 1. Esta onda es conocida por su forma ideal.

Figura 1

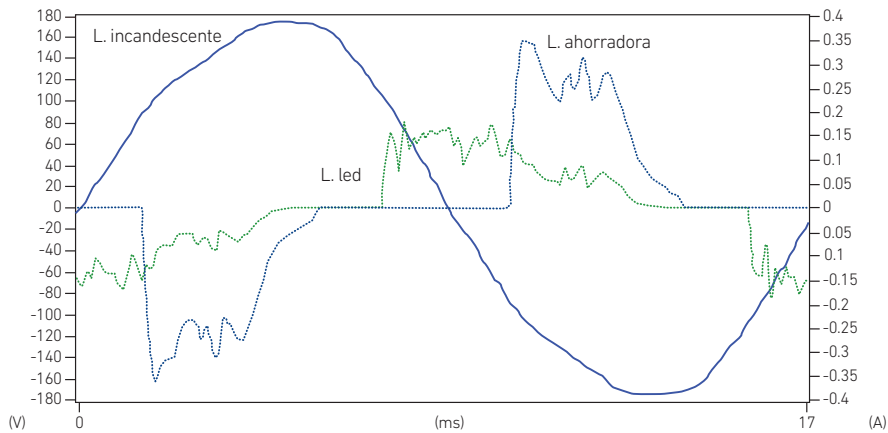
Curva de tensión y corriente para iluminación incandescente



La curva que se obtiene de tensión y corriente de una carga define si es sistema lineal o no y no se debe pensar que todos los equipos que tienen semiconductores por definición son no lineales (Ramírez, 2008). Las cargas no lineales requieren corrientes no sinusoidales, que provocan caídas de voltaje no sinusoidales a través de la impedancia del sistema, lo que resulta en una distorsión de voltaje en los terminales de carga. Un problema de la calidad de la energía se manifiesta en forma de perturbaciones, los que hacen que la tensión o corriente cambien y se presente una distorsión de onda como se observa en la Figura 2 y donde se muestra la salida gráfica del ENA-Touch. Para los elementos estudiados, esta interfaz permite observar el comportamiento de la corriente medida en tiempo real.

Figura 2

Curva de tensión y corriente, lámpara incandescente, ahorradora y led



Esta distorsión, o deterioro de la onda de voltaje y corriente, se va a manifestar en diferentes fenómenos. Para el caso ideal de un circuito pasivo que contenga $R = 0$, $X_c = 0$ y $X_L = 0$, se aplica la tensión senoidal tal como sigue:

$$u(t) = U_{m\acute{a}x} * \text{sen}(\omega * t) \quad (3)$$

Para la corrección de la calidad de la energía, la teoría de la potencia reactiva instantánea es, desde su publicación, la más utilizada en la compensación de cargas no lineales mediante filtros activos de potencia de conexión paralela. En los últimos años, se han planteado soluciones proponiendo otras opciones de compensación, que permiten plantear soluciones encaminadas a transformar las coordenadas, para evitar la distorsión de onda (Andreassen et al., 2014).

En sistemas monofásicos existen cargas no lineales, debidas a componentes electrónicos, que ocasionan que la corriente del neutro pueda ser mayor que la corriente de fase, medida con el Compact Rio. En estas situaciones, esto conduce a un sobrecalentamiento excesivo del conductor neutro, ya que este conductor no dispone de un sistema de protección que limite la corriente, como ocurre con los conductores de fase. Una corriente excesiva en neutro también puede causar una diferencia de voltaje excesiva entre los conductores neutros y a tierra. La confiabilidad de la energía debida a distorsiones provoca siete efectos (véase la Tabla 2).

Tabla 2

Efectos de la distorsión armónica

Número	Efecto	Descripción
1	Tensiones armónicas	Provocan falsos disparos en los circuitos, mal funcionamiento en equipos y errores de sincronización de sistemas de suministro ininterrumpido de energía (UPS).
2	Corrientes armónicas	Provoca calentamiento excesivo en conductores.
3	Temperatura	El aumento de la temperatura es provocado por corrientes de alta frecuencia.
4	Esfuerzos térmicos	El ciclo de vida se reduce, lo que provoca pérdidas por temperaturas de operación.
5	Carga crítica	Consumo excesivo de corriente por armónicos.
6	Sobredimensionamiento	Los conductores neutros se considerarán con un diámetro mayor.
7	Factor de potencia	El factor de potencia ideal es 1, lo que indica un excelente aprovechamiento de la energía y el total de la eficiencia utilizada.

Existen muchos estudios sobre las mediciones y los efectos de los armónicos realizados en el pasado y en los últimos años. Sin embargo, no hay estudios suficientes que modelen un sistema de distribución monofásico a través de armónicos u otros problemas de calidad eléctrica. Algunas de dichas investigaciones son las siguientes: prototipos para medición de armónicos (Petit Suárez et al., 2003), análisis general de armónicos en sistemas eléctricos monofásicos (Chacón García & Ruiz Moreno, 2008), efecto de los armónicos en los motores asíncronos con capacitor de marcha (Viego Felipe et al., 2014), armónicos en sistemas eléctricos (Llamas Terrés et al., 2014), aspectos técnicos y normativos para el monitoreo y medición de armónicos (Rojas, et al., 2014).

2. METODOLOGÍA

Este trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Mantenimiento Predictivo, Área de Calidad de la Energía de la Universidad Tecnológica de Tlaxcala. La investigación se llevó a cabo al aplicar la siguiente estructura:

1. Medición de variables eléctricas de las lámparas
2. Medición de contaminación eléctrica
3. Comparación de distorsión armónica
4. Medición de armónicos de voltaje y corriente
5. Cálculo de filtro para eliminación de armónicos

Los elementos de estudio empleados son de las mismas características de potencia (diez vatios). Se le agregaron apagadores al módulo de medición de calidad de la energía. Estos permitieron realizar una secuencia de alimentación en forma individual para las variables eléctricas o para la obtención de la contaminación con las tres lámparas.

2.1 Medición de variables eléctricas de las lámparas

La aplicación del módulo de medición para calidad de la energía de cRIO de National Instruments, NI cRIO-9023 y NI 9227 (véase la Figura 3) es un sistema con capacidades de procesamiento de alto rendimiento. Este tiene un conjunto de herramientas de *software*, con aplicaciones ideales del internet industrial de las cosas (IoT), para monitoreo y control.

El equipo permitió llevar a cabo las mediciones de las variables eléctricas en forma individual.

Figura 3

Módulo de calidad de la energía de National Instruments



El monitoreo se llevó a cabo en tiempo real para cada uno de los elementos de estudio, pues el módulo compact RIO muestra los resultados en tiempo real. Este consta de un controlador integrado de alto rendimiento que presenta una gran robustez y está certificado con estándares industriales, visión y movimiento integrados, comunicación industrial y capacidades de interfaz humano-máquina, clasificado en la clase A por la IEC 61000-4-30. Además, contiene un procesador que ejecuta de manera confiable y determinista aplicaciones de Lab VIEW Real-Time, con salida numérica y gráfica al ENA Touch. También ofrece control de velocidad variable, rastreo de ejecución, registro de datos integrado y comunicación con periféricos (Andreassen et al., 2014).

El método de muestreo aplicado para la obtención de las variables eléctricas es el método cuantitativo, con el cual se analizan los siguientes elementos: una lámpara incandescente, una lámpara ahorradora y una lámpara led. Los elementos de estudio antes mencionados tienen una potencia de fábrica de diez vatios cada uno. Tanto los valores que arroja la medición de las variables eléctricas como los resultados para las variables de voltajes se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Valores de tensión

Variable de tensión	Lámpara incandescente	Lámpara ahorradora	Lámpara led
V RMS	126	126	126
V PK	178,2	171,1	177,5
V HM	6,4	6,3	6,3
CF	1,41	1,41	1,41
THD-R (en porcentaje)	5	5	5
THD-F (en porcentaje)	5,1	4,9	5,0

Nota. V RMS: voltaje radio medio simétrico (voltios). V PK: valor cresta de la tensión (voltios). V HM: tensión armónica total presente (voltios). CF: factor cresta (en porcentaje). THD-F: distorsión armónica total, porcentaje de la fundamental. THD-R: distorsión armónica total, porcentaje de la RME total.

Los resultados obtenidos para el análisis de la corriente se muestran en la Tabla 4. Ahí se observa que la corriente armónica es mayor a la corriente total, debido a los armónicos presentes en los componentes electrónicos.

Tabla 4*Valores de corriente*

Variable de tensión	Lámpara incandescente	Lámpara ahorradora	Lámpara led
A RMS	0,0800	0,0755	0,0778
A PK	0,100	0,230	0,267
A HM	0,83	0,82	0,81
CF	1,47	1,52	1,52
THD-R (en porcentaje)	22,00	21,21	21,10
THD-F (en porcentaje)	22,1	21,7	22,3

Nota. A RMS: valor efectivo de la señal o raíz cuadrada media (Amp). A PK: amper pico (Amp). A HM: corriente armónica total presente (Amp). CF: factor cresta (en porcentaje). THD-F: distorsión armónica total, porcentaje de la fundamental. THD-R: distorsión armónica total, porcentaje de la RMS total.

En la Tabla 5 se muestran los valores de las potencias del sistema de alimentación y el consumo de cada elemento.

Tabla 5*Valores de las potencias*

Variable de las potencias	Lámpara incandescente	Lámpara ahorradora	Lámpara led
P (W)	10,240	11,100	9,767
Q (VAR)	89,430	14,200	3,341
S (VA)	10,24	19,10	10,32

2.2 Medición de contaminación eléctrica

El aspecto fundamental de la calidad de la energía y la eficiencia energética es estudiar los fenómenos que provoca la energía de distorsión por componentes no lineales. Las lámparas incandescentes son consideradas cargas lineales como se observa en la Figura 4. Su forma de onda es sinusoidal, no presenta distorsión alguna. Las lámparas ahorradoras consumen menos energía y el calor que disipan al medio ambiente es prácticamente despreciable; utilizan un 80 % menos de energía y reducen con esto la energía producida. Además, son consideradas cargas no lineales, al ser controladas por una tarjeta electrónica generadora de distorsión de corriente como se observa en la Figura 5. Por otro lado, las lámparas led son diodos compuestos por superposición de varias capas de material semiconductor que emite luz en una o más longitudes de onda (colores). Cuando es polarizado correctamente, esta lámpara presenta una gran eficiencia luminosa, pero la distorsión armónica es mayor, tal como se observa en la Figura 6. Las siguientes figuras se obtuvieron con el analizador de calidad de energía ENA-touch. Este es un *software* con salida gráfica que modifica la salida con estándares internacionales de la IEC y EN, que da la medición pico de tensión y corriente de línea.

Figura 4

Onda de consumo de tensión y corriente

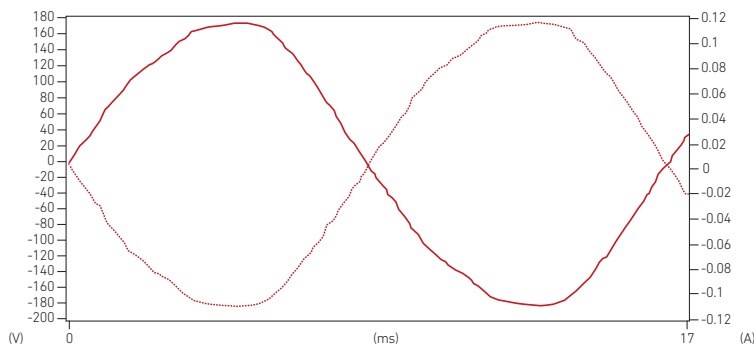


Figura 5

Onda de tensión y corriente correspondiente a lámpara ahorradora

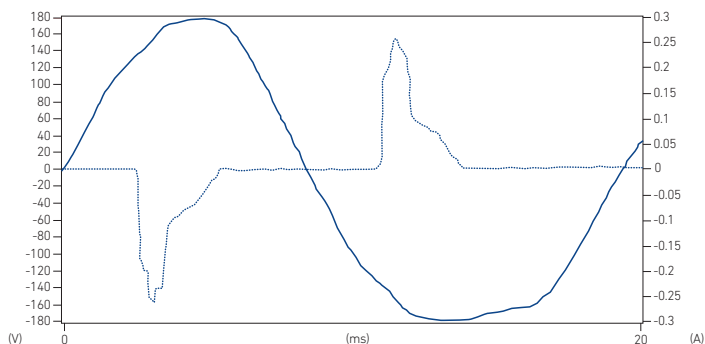
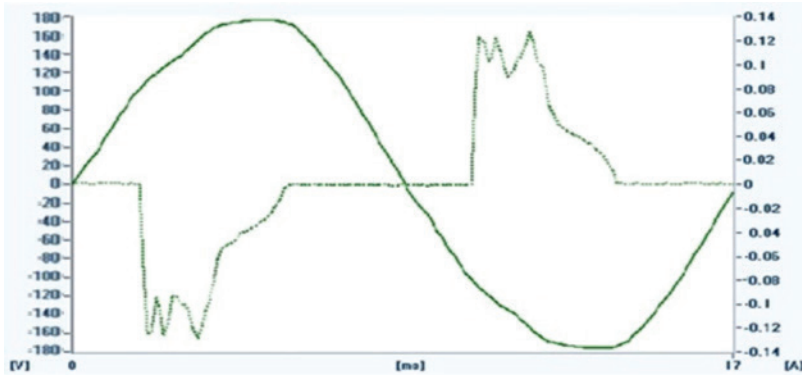


Figura 6

Onda de tensión y corriente correspondiente a lámpara led



Los niveles de distorsión de corriente se pueden caracterizar por un valor THD. Una pequeña corriente puede tener una alta distorsión armónica total. Incluso, algunos estudios han intentado evitar esta dificultad refiriendo al THD como componente fundamental de la corriente de carga máxima, en lugar de la fundamental de la presente muestra. A esto se le llama distorsión total de la demanda (TTD) y sirve como base de las directrices de la norma IEEE Std 519-2014, prácticas y requisitos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica.

2.3 Comparación de distorsión eléctrica

Al realizar una comparación de los tres elementos, se observa la distorsión en el tiempo que sufre la señal de las lámparas ahorradoras y led, así como la amplitud pico y su distorsión de onda.

Figura 7

Ondas de corriente para los tres componentes en estudio

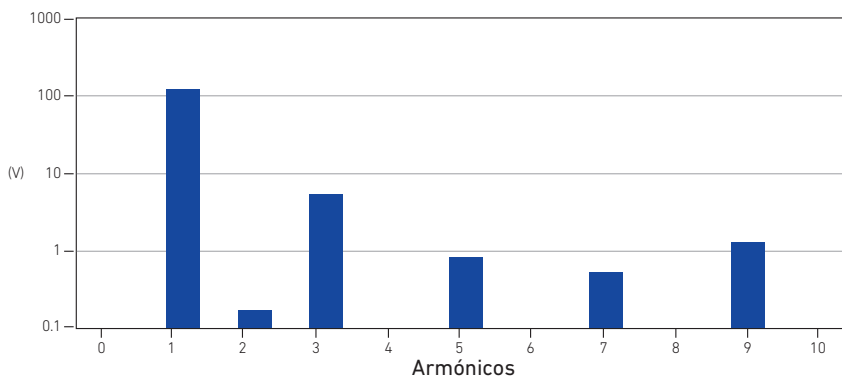


2.4 Medición de armónicos de voltaje y corriente

En la Figura 8 se presenta la medición de armónicos de tensión. En esta figura observamos que existen armónicos, pero son muy pequeños, por lo que no presentan problema alguno en la operación o en el funcionamiento de algún componente electrónico.

Figura 8

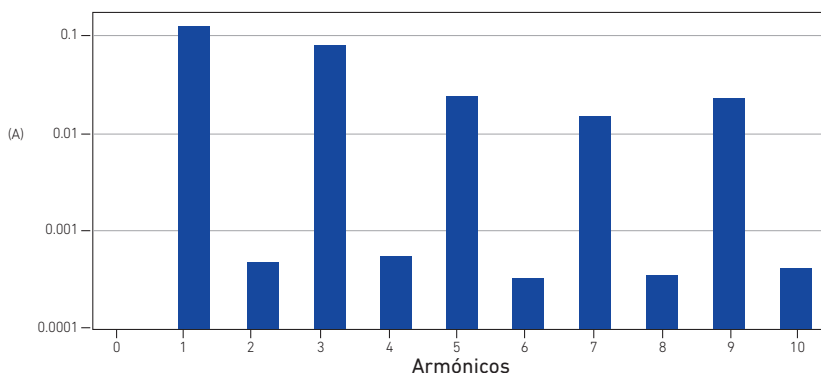
Armónicos de tensión



En la Figura 9 se observan los armónicos de corriente. Estos armónicos son los que predominan por su amplitud. Tienen una frecuencia en sus múltiplos 2, 3, 4, 5, ... n de la frecuencia fundamental de 60 Hz, con lo cual se miden los armónicos pares e impares. Para este caso, los dos son perjudiciales. Solo se midieron los primeros diez armónicos, ya que en los restantes su valor es mínimo, considerados menores a 0,1. Ocurre un fenómeno de contaminación del neutro, el cual es mucho mayor que en la línea.

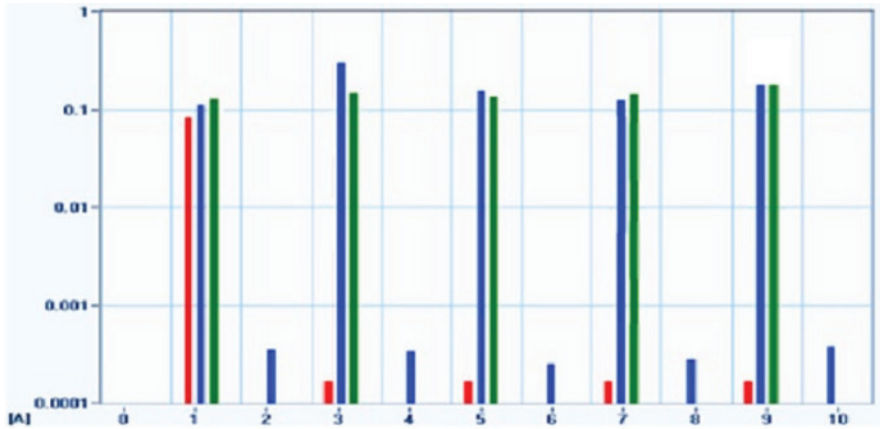
Figura 9

Armónicos de corriente



Los resultados de la contaminación armónica se observan en la Tabla 6. En este se presentan los armónicos, mientras que su visualización gráfica se presenta en la Figura 10. Para los elementos estudiados solo existe contaminación armónica de corriente.

Figura 10

Armónicos de corriente

Se realizó una medición del espectro con aplicación de una cámara termográfica de marca Flirt Ti-440 para captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético que emite el cobre. Para ello, se aplica una emisividad de 0,64, lo que da por resultado lo mostrado en las figuras 11 y 12. La temperatura después de un tiempo de operación de las lámparas fue de 1,7 °C en el neutro, lo que nos permite observar que por efectos de la contaminación eléctrica la temperatura cambia.

Figura 11

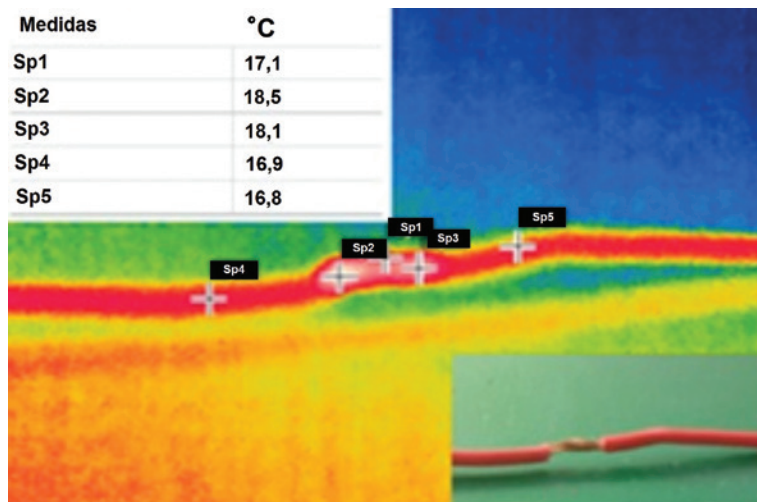
Temperatura del conductor neutro

Figura 12

Temperatura de la línea de alimentación

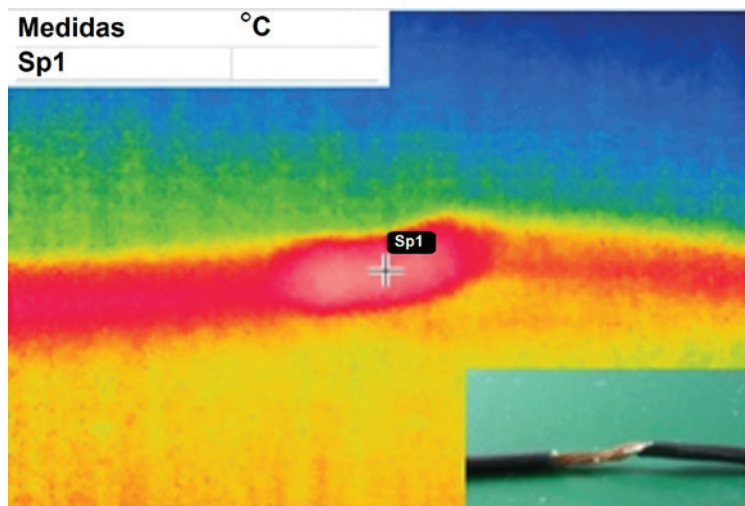


Tabla 6

Armónicos presentes en los elementos de estudio

Armónico	Lámpara incandescente	Lámpara ahorradora	Lámpara led
H1	0,000	0,155	0,178
H3	0,000	0,610	0,230
H5	0,000	0,230	0,210
H7	0,000	0,170	0,190
H9	0,000	0,540	0,540

2.5 Cálculo de filtro para eliminación de armónicos

El diseño del filtro, como parte de la solución propuesta, es un filtro pasa alto de segundo orden RLC. Este filtro corta las frecuencias bajas distintas en un punto de corte, solo permite el paso de frecuencias altas y atenúa las frecuencias bajas. Su forma de construcción no es compleja, pues consta de una resistencia, un inductor y un capacitor del tipo cerámico. Estos tres elementos son considerados pasivos. Para su cálculo, se parte de dar solución a las ecuaciones siguientes:

$$C = \frac{1}{2\pi k f_c Q R} \quad (4)$$

$$L = \frac{Q R}{2\pi k f_c} \quad (5)$$

Donde:

f_c = Frecuencia de corte (kHz)

Q = Factor de calidad

k = Constante = 1

C = Capacitancia (nF)

L = Inductancia (mH)

Para la aplicación de las ecuaciones, el cálculo de la reactancia del filtro para conocer en qué momento entra en resonancia, se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6)$$

El diseño del filtro se llevó a cabo al obtener las reactancias X_C y X_L .

$$X_C = \frac{V^2}{Q} = \frac{126^2}{14,20} = 1118\Omega$$

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} = \frac{1118}{3^2} = 124,22 \Omega$$

$$C_F = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \times 60 \times 1118} = 2,37 \times 10^{-6} F$$

$$L_F = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{124,22}{2\pi \times 60} = 0,329 H$$

$$X_0 = \sqrt{\frac{0,329}{2,37 \times 10^{-6}}} = 372,58\Omega$$

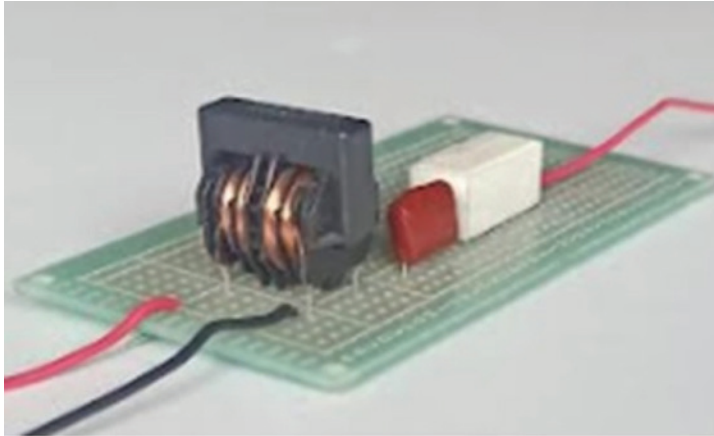
$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{372,58}{1000} = 0,37258\Omega$$

El filtro queda de la siguiente forma: con una resistencia de 10 W a 1k (véase la Figura 13). Este filtro se conectó en paralelo con las líneas de alimentación, con lo cual

se provoca una impedancia baja, como el filtro que se calculó para disminuir el tercer armónico ($n = 3$).

Figura 13

Filtro propuesto



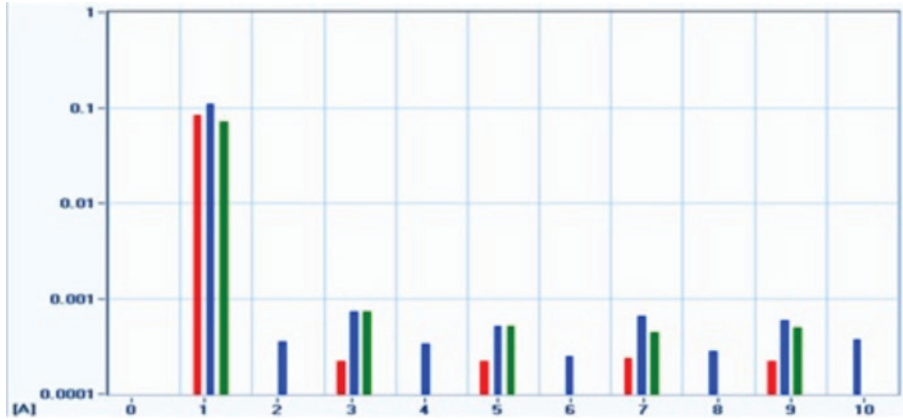
Para la aplicación del filtro, se toma como parámetro el tercer armónico, por ser el de mayor rango.

3. RESULTADOS

La medición de contaminación armónica en lámparas de iluminación juega un papel importante, debido a que es indispensable contribuir y minimizar los riesgos producidos al creciente aumento de corrientes contaminantes.

Los resultados muestran que existe contaminación en las lámparas de iluminación ahorradora y led. El sistema de alimentación estudiado se basa en el análisis de los armónicos de corriente, debido a que los armónicos de tensión son mínimos, mientras que los valores de contaminación armónica de corriente son considerados altos por estar al 80 % de la fundamental para el tercer armónico, para el quinto armónico en 40 %, el séptimo al 30 % y el noveno al 40 %. Con estos datos se calculó el filtro.

Con la aplicación del filtro calculado mostrado en la Figura 13, se observa que sí existe un cambio en el comportamiento de la distorsión armónica, el cual queda como se observa en la Figura 14. La sintonización del filtro en el tercer armónico ocasiona que la corriente armónica cambie en dirección, por lo que es forzada a viajar por el filtro en sentido a tierra y no de regreso al neutro. Esto mismo ocurre con los armónicos quinto, séptimo y noveno, por lo que se observa una disminución considerable. La distorsión total armónica o THD disminuye en forma general y toma el valor del 6 %.

Figura 14*Armónicos de corriente con aplicación del filtro*

4. DISCUSIÓN

La mayoría de los equipos son capaces de operar satisfactoriamente con variaciones relativamente amplias. Sin embargo, en los últimos diez años, se ha agregado al sistema eléctrico un elevado número de equipos, no tan tolerantes a estas variaciones, que incluye a los controladores electrónicos y a todos los equipos con aplicación de la electrónica (Hernández Corona et al., 2016, p. 34).

Con la aplicación de controles complejos, se desarrolló un control de procesos mucho más preciso y un sistema de protección mucho más sensible, lo que hace a estos aún más susceptibles a los efectos de los disturbios en el sistema eléctrico (Hernández Corona et al., 2016, p. 34).

El desarrollo de investigaciones relacionadas con el creciente número de cargas no lineales, utilizando nuevas tecnologías electrónicas, está aumentando debido a la aparición de perturbaciones eléctricas que causan problemas de generación de armónicos en los sistemas de energía. En los sistemas de distribución de energía eléctrica de México, las cargas no lineales conectadas a la red han aumentado drásticamente y han afectado significativamente la compatibilidad electromagnética de la red, por lo que es necesario iniciar estudios para determinar el comportamiento de estas perturbaciones en la medida que afectan a las empresas de servicios públicos y a los consumidores (Hernández Corona et al., 2016).

Las lámparas de bajo consumo cambian la naturaleza de onda sinusoidal de la corriente de suministro, lo que produce corrientes armónicas. Estas corrientes armónicas ingresan al sistema de distribución de energía, lo que puede causar interferencias en los circuitos de comunicación y otros equipos electrónicos importantes. Estas

perturbaciones también pueden ocurrir en casa con mayor o menor frecuencia (Vásquez Teneda et al., 2022).

En las instalaciones eléctricas se suele detectar cierta distorsión de la señal de alimentación de voltaje o corriente que, cuando es baja, no provoca problemas en el funcionamiento de los equipos e instalaciones. Existen normas que definen los límites permisibles de distorsión en función del voltaje de operación y su efecto en el sistema eléctrico (Martínez-Morales et al., 2019). Cada día es mayor la detección de la presencia de perturbaciones en dispositivos eléctricos de la red eléctrica y de su impacto en el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos individuales, así como en su funcionamiento y protección por su sensibilidad. Esto lleva a proponer una política sancionadora para los próximos años.

5. CONCLUSIÓN

La aplicación del método experimental para la evaluación de las características de distorsión de onda de tensión armónica y corriente permitió la determinación de las características inherentes a la calidad de la energía. De esta se obtuvo que la lámpara led es la que contamina más. Este método, utilizado como herramienta para proteger a las instalaciones, elevar su vida útil y determinar el ahorro de energía, se irá incrementando en los próximos años. Asimismo, en los sistemas monofásicos, que por el impacto tecnológico son de gran importancia y por la generación de ondas distorsionadas o contaminación eléctrica, se requiere especial atención, así como del desarrollo de medidas tendientes para minimizar sus efectos.

Al desarrollar esta investigación se obtuvo resultados satisfactorios al determinar los armónicos y su respectiva amplitud de los elementos de estudio. Se determinó que la lámpara que más contamina es la lámpara led, cuya repercusión dependerá de la potencia de su consumo.

6. REFERENCIAS

- Amaya-Vásquez, L., & Inga-Ortega, E. (2022). Localización de distorsiones armónicas en sistemas eléctricos usando sensado comprimido. *Ingeniería y Competitividad*, 24(1). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-30332022000100032&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Andreassen, O. Ø., Rijllart, A., Mätäsaho, I., & Arnaudon, L. (2014). Alcance FFT de bajo costo utilizando LABVIEW, CRIO y FPGA. En C. Marshall, J. Fisher & V. R. W. Schaa (Eds.), *Actas del 14th International Conference on Accelerator & Large Experimental Physics Control Systems*. ICALEPCS 2013 (801-804). JACoW.

- Arrillaga, J., & Watson, N. R. (2003). *Power system harmonics* (2.ª ed.). John Wiley & Sons. <http://files.hostgator.co.in/hostgator253199/file/powersystemharmonics2nded.-arrillagawatson.pdf>
- Barajas, M., & Bañuelos-Sánchez, P. (2010). Contaminación armónica producida por cargas no lineales de baja potencia: modelo matemático y casos prácticos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 11(2), 189-198. <https://doi.org/10.22201/ii.25940732e.2010.11n2.016>
- Benachaiba, C., & Ferdi, B. (2007). Un estudio comparativo de las normas IEC 61000 parte 3-2 y 3-4 e IEEE 519-1992 en aplicaciones de baja tensión. *Revisión Internacional de Ingeniería Eléctrica*, 2(6), 771-776.
- Brady, H. (2017, 28 de noviembre). Las luces led incrementan la contaminación lumínica. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2017/11/las-luces-led-incrementan-la-contaminacion-luminica>
- Chacón García, A., & Ruiz Moreno, C. J. (2008). Medición de armónicos en un sistema monofásico: diseño e implementación de un prototipo. *Visión electrónica*, 2(2), 64-77.
- El Mofty, A., & Youssef, K. (2001, 18-21 de junio). *Industrial power quality problems* [Sesión de conferencia]. 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED, Amsterdam, Netherlands. <https://doi.org/10.1049/cp:20010757>
- Erazo Ávila, L. A., & Guamán Segarra, J. C. (2022). Analysis of energy efficiency in low voltage distribution systems through the reduction of harmonics. *Sapienza. International Journals of Interdisciplinary Studies*, 3(6), 154-163. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i6.505>
- Esparza González, M. S., Mata Guerrero, J. A., & Castañeda Ramos, L. A. (2006). Las cargas no lineales, su repercusión en las instalaciones eléctricas y sus soluciones. *Conciencia tecnológica*, (32).
- Hernández Corona, J. L., Albores Velazco, F. J., Carrasco Aguilar, M. A., & González Contreras, B. M., & Portilla Flores, A. (2016). Determinación del flujo armónico en conductores de alimentación. *Revista Iztal Computación*, 5(10), 33-40.
- Hernández Ochoa, C. E. (2018). *Reforma energética-electricidad*. Fondo de Cultura Económica.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2014). IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems. En *IEEE Std 519-2014* (pp. 1-29). IEEE Xplore.
- Llamas Terrés, A., Acevedo, S., De los Reyes, J., & Baez J. (2014). *Armónicas en sistemas eléctricos industriales*. Innovación Editorial Lagares de México.

- Martínez-Morales, S., Sellschopp-Sánchez, F. S., Loera-Palomo, R., Rivero-Corona, M. A., & Vargas-Salas. (2019). Estudio de resonancias armónicas en red eléctrica ante variación de carga. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec. Lerdo*, 1(5), 127-132.
- Mora-Barajas, M. A., & Bañuelos-Sánchez, P. (2010). Contaminación armónica producida por cargas no lineales de baja potencia: modelo matemático y casos prácticos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 11(2), 189-198.
- O'Reilly, K. J. (2020). *Medida y análisis de la distorsión armónica en cargas no lineales aisladas y combinadas en los rangos 0-2 kHz y 2-9 kHz* [Tesis de maestría, Universidad de Cantabria]. UCrea. Repositorio Abierto de la Universidad de Cantabria. <http://hdl.handle.net/10902/20263>
- Palacios, J. (2020). Estado del arte de la planeación de expansión de sistemas de transmisión. *I+D Tecnológico*, 16(2), 78-85. <https://doi.org/10.33412/idt.v16.2.2835>
- Pérez, Á. A., Bravo de Medina, N., & Llorente Antón, M. (1999). La amenaza de los armónicos y sus soluciones. *Centro Español de Información del Cobre*.
- Petit Suárez, J. F., Ordóñez Plata, G., & Ustariz Farfán, A. (2003). Análisis general de armónicos en sistemas eléctricos monofásicos: una revisión a las definiciones de la potencia. *Simposio Internacional sobre la Calidad de la Energía Eléctrica*, 2. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/SICEL/article/view/391>
- Ramírez, E. T. (2008). Harmonic distortion. *AGN Group. AP&C*. <https://agngroup.net/papers/Distorsion%20Armonica.pdf>
- Rojas, H. E., Rivas, E., & Jaramillo, A. A. (2014). Aspectos técnicos y normativos para el monitoreo y medición de armónicos. *Ingeniería*, 19(2), 129-146.
- Ruggero, B., & Sánchez, M. E. (2014). Incidencias de cargas no lineales en transformadores de distribución. *Revista Científica de la UCSA*, 1(1), 33-51.
- Vásquez Teneda, F. H., Vásquez Barba, D. B., & Urresty-Noguera, Y. U. (2022). Caracterización de la calidad de energía en focos incandescentes, fluorescentes, inducción y LED. *Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas*, 6(2), 117-133. <http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/ciya/article/view/444/455>
- Viego Felipe, P. R., Gómez Sarduy, J. R., De Armas Teyra, M. A., & Sousa Santos, V. (2014). Efecto de los armónicos en los motores monofásicos asíncronos con capacitor de marcha. *Ingeniería Energética*, 35(1), 27-37.
- Yebra Morón, J. A. (2021). *Sistemas eléctricos de distribución*. Editorial Reverté.

EL DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE LA CALIDAD Y LA TEORÍA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE INVENTIVA: UN ANÁLISIS DE APROXIMACIÓN PARA LA SATISFACCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE*

LIDILIA CRUZ-RIVERO**

<https://orcid.org/0000-0001-9399-3002>

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca,
Veracruz, México

JONATHAN MERÁZ-RIVERA

<https://orcid.org/0000-0002-1026-0071>

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca,
Veracruz, México

ERNESTO LINCE-OLGUÍN

<https://orcid.org/0000-0002-4810-5587>

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca,
Veracruz, México

Recibido: 16 de agosto del 2023 / Aceptado: 9 de septiembre del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6595>

RESUMEN. El despliegue de la función de la calidad (QFD) y la teoría para la solución de problemas de inventiva (TRIZ) son metodologías independientes que pueden ser utilizadas y desarrolladas en forma libre; sin embargo, estas pueden ser un potenciador importante de la innovación si se trabajan en conjunto. En relación con ello, el objetivo de este artículo es presentar un análisis de los requerimientos de los clientes en la obtención de un material fabricado con componentes biodegradables (fibra de coco y almidón termoplástico) a través de la aplicación de las metodologías QFD y TRIZ. El resultado de salida al aplicar el QFD fue el crítico de calidad relacionado con la toxicidad, mientras que la información de entrada para la matriz de contradicciones técnicas de TRIZ fue

* Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

** Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: lilrivero@gmail.com; merazrivera.j.22@gmail.com; ernesto_lince@hotmail.com

la traducción del crítico de calidad a uno de los treinta y nueve parámetros técnicos de diseño, correspondiente al parámetro 30 (factores nocivos actuando sobre el objeto). Este se considera como el punto de transferencia entre las metodologías, cuyo logro es la integración de ambas.

PALABRAS CLAVE: QFD / TRIZ / requerimientos de los clientes / innovación tecnológica

THE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT AND THE THEORY OF INVENTIVE PROBLEM SOLVING: AN APPROXIMATION ANALYSIS FOR PROBLEM SOLVING

ABSTRACT. The Quality Function Deployment (QFD) and the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) are independent methodologies, that can be used and developed freely, but can be an important enhancer when you want to achieve innovation if they work together. The objective of this article is to present an analysis of the customers'

requirements in a product manufactured with biodegradable materials, the output result when applying the QFD was the quality critic related to toxicity, while the input information for the matrix TRIZ's technical contradictions were the translation of the quality critic to one of the 39 technical design parameters, corresponding to parameter 30 (Harmful factors acting on the object from outside), being considered as the transfer point between the methodologies thus achieving the integration of both.

KEYWORDS: QFD / TRIZ /customer requirements / technological innovation

INTRODUCCIÓN

El despliegue de la función de la calidad (por sus siglas en inglés, QFD) fue desarrollado por los doctores Shigeru Mizuno y Yoji Akao en 1960. Este se fundamenta en principios de calidad total que son establecidos por el doctor Kaoru Ishikawa. Además, está designado para conocer las necesidades implícitas y explícitas del mercado, atender sus requerimientos y así permitir que la empresa diseñe procesos y productos que correspondan a sus necesidades (Herrera De la Barrera & Narváez Zúñiga, 2017). El QFD, al ser una metodología de uso universal, ha sido utilizado por distintas empresas, tales como automotrices (Toyota), de electrónica, de hogar/vivienda, de bienes de caucho sintético y de servicios (García Ortiz, 2015). QFD es un método para verbalizar requisitos de clientes con necesidades comerciales adaptadas en cada etapa, desde la investigación, el diseño y el desarrollo de la producción, hasta la fabricación, distribución, instalación y la comercialización, ventas y servicios (Frizziero et al., 2017).

La metodología de QFD fue desarrollada en 1972. Esta se basa en el desarrollo de matrices que, por su forma, reciben el nombre de casa de la calidad (*house of quality* [HoQ]) (Vargas Aldás, 2017). Además, sistematiza la relación entre los requisitos de los clientes y las características de la calidad agregadas en los productos. Esta matriz compone la parte central del QFD (García Ortiz, 2015).

Las siglas TRIZ, en alusión a la teoría de la resolución de problemas de inventiva, hacen referencia a una metodología sistemática, o conjunto de herramientas, que proporciona un enfoque lógico para desarrollar la creatividad para la innovación y la solución de problemas (Iliev et al., 2013), ya que esta metodología se basa en patentes a nivel mundial.

La innovación tecnológica, a partir de la utilización de metodologías como QFD y TRIZ en conjunto, permite identificar soluciones y características de puntos cruciales de la problemática central que se requiere solucionar. Esto se realiza mediante un análisis de patentes con el fin de innovar, no caer en errores frecuentes y así brindar una solución óptima (Dos Santos et al., 2016).

Tanto la metodología QFD como TRIZ son herramientas de calidad que tienen funcionalidades distintas y que trabajan de forma independiente, pues sus objetivos trazados perfilan diferentes resultados. A pesar de ello, ambas pueden integrarse entre sí, es decir, la finalización de una metodología, ya sea QFD o TRIZ, puede originar la aplicación de la otra para complementar a la primera y definir de mejor manera el proyecto que se realiza. En esta investigación, se expone el punto en donde la metodología QFD da un paso hacia la aplicación de la metodología TRIZ, ya que el despliegue de la función de la calidad aplicado al inicio del proyecto, mostró un crítico de calidad que, al ser traducido o verbalizado, logró transformarse en uno de los treinta y nueve parámetros que tiene establecida la metodología TRIZ.

En un estudio realizado por Frizziero et al. (2017), se demuestra la interacción que presentan las metodologías QFD y TRIZ para el diseño sostenible de moldes abiertos. En estos se muestran los datos de entrada del QFD, determinados mediante seis cuestiones que definieron nueve requerimientos técnicos que deben tener el molde abierto. Asimismo, con el análisis de importancia de los requerimientos técnicos de la casa de la calidad de la metodología QFD, se logró determinar que la industriabilidad, la personalización, la precisión y la resistencia estructural fueron las características más relevantes para los "clientes", denotando requerimientos de salida del QFD y representando la información de entrada para TRIZ. Para ello, se utilizó el *software* TechOptimizer®, con el "comando de recorte", el cual permitió elegir la ruta y la estructura óptima del proyecto, y así eliminar componentes y acciones innecesarias.

Cruz Rivero et al. (2016) muestran el uso de QFD y TRIZ para solucionar un problema de accidentes laborales en el sector agropecuario. Se aplicó el QFD para conocer los requerimientos técnicos y se utilizó TRIZ para obtener los principios de inventiva que generalizarán una solución al problema. Los requerimientos de los clientes fueron enfocados a rígido, resistente, eficiente, de transmisión mecánica, funcional, ergonómico y seguro, mientras que los principios de inventiva que generalizaban la solución al problema eran los principios 1, 15, 18 y 37.

Ching Hsiang y Chien Yi (2015) utilizan las metodologías QFD y TRIZ para resolver problemas de compatibilidad electromagnética (EMC) en una PC portátil. Con la implementación del QFD 10, lograron determinar requerimientos técnicos enfocados a la PC portátil; mientras que con la aplicación de la matriz de contradicciones de TRIZ, definieron cinco pares en conflicto que representaban problemas o características del producto. Los principios de inventiva que dieron solución a cada problema identificado fueron el 1, 5, 19, 22 y 39.

Tursch et al. (2015) presentan la integración de TRIZ en el QFD, en la cual se exhibe que las metodologías son individuales, pero que en las primeras etapas de implementación del proyecto se puede generar una integración, donde la interdisciplinariedad de las metodologías puede eliminar las barreras del pensamiento y ampliar el conocimiento. En tal investigación, se muestra un ejemplo práctico y sencillo de aplicación de TRIZ a un casco, donde se exponen diversas contradicciones técnicas del producto, tales como la resistencia del material del casco integral versus el deterioro de la ventilación, y la resistencia versus la disminución de los posibles cambios del molde.

Frizziero y Ricci Curbastro (2014) utilizaron QFD y TRIZ para desarrollar un sistema innovador de control de presión en el diseño mecánico, donde al localizar los requerimientos del QFD —seguridad, fiabilidad, uso simple, conformidad de las reglas de carrera, costos— y al identificar los parámetros de TRIZ —resistencia a un ambiente hostil, precisión del dispositivo, reducir las dimensiones del dispositivo, elecciones materiales, simplificar la producción y el montaje—, lograron establecer una válvula pequeña de presión simple que se instala directamente en las ruedas, en lugar de la tapa habitual.

Dos Santos et al. (2016) aplicaron TRIZ y QFD para el desarrollo de un juguete de espuma lego para niños con necesidades especiales. Con el apoyo de expertos en la materia, lograron definir los requerimientos técnicos que debería concebir el juguete y, en la parte final del proyecto, se utilizó TRIZ para la transformación de los requerimientos en parámetros de ingeniería, en la cual se determinaron repetitivos los siguientes principios de inventiva: 35, 1, 2, 10, 15, 28 y 40.

Para desarrollar la metodología QFD, es necesario recoger la voz de los clientes. Para ello existen metodologías, como el modelo Kano, que permiten estructurar y formular de una manera sencilla, puntual y concreta instrumentos que ayudan a compilar las opiniones, comentarios, pensamientos y puntos de vista del segmento de interés, tal como realizaron Ramírez Ruiz y Mejía Trejo (2014). Ellos aplicaron el modelo Kano para construir un cuestionario que les ayudó a obtener requerimientos de calidad para el diseño de un sitio web de turismo. En este, obtuvieron una lista clasificada de los requerimientos de acuerdo a la categoría que se establece en el modelo. De esta manera, lograron que los requerimientos más sobresalientes, de acuerdo a su categoría, fueran el diseño innovador de la página web en la categoría *atractivo*, el incluir el precio de los viajes en la categoría *unidimensional* y las propuestas de viaje a los usuarios en la categoría *indiferente*, sobre la base de sus búsquedas y compras.

González Revaldería et al. (2017) aplicaron una entrevista a profundidad y el modelo Kano para conocer las necesidades de los hospitalizados en una unidad de quemados. La entrevista fue el primer instrumento que utilizaron, cuyo objetivo fue conocer la experiencia de los pacientes quemados (hospitalizados en los últimos meses) durante el proceso de su atención en cualquier área: hospitalización, urgencias, UCI y consultas externas. Esta entrevista logró identificar once requisitos que hacían referencia a aspectos de información, hosteleros, aspectos organizativos y necesidad de mayor cercanía del personal, mientras que con el modelo Kano estructuraron una encuesta donde mostraron cada uno de los once requisitos en forma funcional y disfuncional. De esta manera, obtuvieron la siguiente clasificación: (1) imprescindibles —televisión gratuita y desconexión automática de la televisión a las cero horas—, (2) atractivos —mayor intimidad durante la hospitalización, como habitación individual e información previa del horario en el que se van a realizar las curas para disminuir la ansiedad—, (3) indiferentes —apoyo psicológico a familiares, además del que se da al paciente, como dedicar más tiempo a la limpieza de las habitaciones— y (4) cuestionables —esperar menos de veinte minutos la ambulancia para el traslado al domicilio tras el alta, mejorar el trato al paciente en consultas—.

Aguilar Lasserre et al. (2018) utilizaron algoritmos genéticos y TRIZ para la optimización funcional de un empaque de limón persa. Rediseñaron el empaque calibre 110 para su exportación a Europa y a Estados Unidos. Con la implementación de TRIZ, se determinaron dos contradicciones para el empaque: (1) cantidad de sustancia versus

resistencia y (2) forma versus volumen de un objeto sin movimiento. Así resultaron los principios de acción preliminar (10) y de transformación de los estados físicos y químicos de un objeto (35). Al aplicar los principios 10 y 35, consiguieron que el nuevo diseño tenga un ahorro económico, una disminución del impacto ambiental y una mayor funcionalidad.

Por todo ello, el objetivo de esta investigación es plantear la relación y transferencia de las metodologías QFD y TRIZ para delimitar los requerimientos de los clientes, identificar el crítico de calidad y transformar los datos de salida del QFD a parámetros de entrada para TRIZ. Esto permitirá verificar el punto de correspondencia entre ambas metodologías y reflejar los beneficios máximos de aplicarlas en conjunto, con el fin de obtener un material parcialmente biodegradable a base de fibra de coco y almidón termoplástico.

2. METODOLOGÍA

El objetivo de esta investigación es aplicar la metodología QFD y TRIZ para la obtención de un material parcialmente biodegradable a base de fibra de coco y almidón termoplástico. Para ello, el criterio/atributo más significativo por determinar son los usuarios finales, a quienes se considera como aquellos que utilizarán el composito obtenido para la sustitución de plástico convencional; puesto que, para la aplicación de la metodología QFD, es importante conocer las opiniones de los clientes y verbalizar sus respuestas como parámetros de diseño. Por ello, el tipo de investigación realizado es de enfoque exploratorio y el instrumento utilizado es el cuestionario, con el cual se facilitó llegar a una respuesta al encuestado a través de la selección de una opción (o varias, según la pregunta) entre múltiples soluciones concentradas en el instrumento. La encuesta se diseñó con base en las metodologías de QFD y TRIZ.

En esencia, la aplicación de la metodología del despliegue de la función de la calidad recae parcialmente "en la estructura, la cual contiene matrices de relaciones y correlaciones horizontales y verticales que denotan una ilusión a una casa" (Herrera De la Barrera & Narváez Zúñiga, 2017). Esta casa, denominada *la casa de la calidad* (HoQ), está conformada de seis partes y se pueden visualizar en la Figura 1.

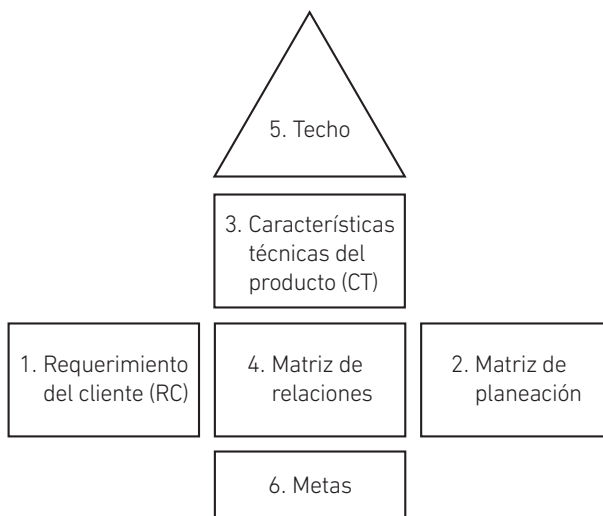
1. *Requerimientos de los clientes* (RC). Conlleva escuchar, analizar y traducir a palabras técnicas las opiniones, conceptos y puntos de vista que tiene el cliente del producto o servicio. De acuerdo con Singh Soin (1997), el desarrollo de una excelente opinión del cliente es de máxima importancia.
2. *Matriz de planeación*. En esta parte, los clientes realizan una evaluación de la forma en que conciben el grado de satisfacción del producto o servicio que provee la empresa y los competidores cercanos (Vargas Aldás, 2017).
3. *Características técnicas del producto* (CT, requerimientos funcionales). En este punto, se identifican varias características de la empresa que permitan

satisfacer las necesidades. Estas deben de ser cuantificables y representar una respuesta total del cliente, debido a que se trata de parámetros que deben ser controlados y medidos para satisfacer los requisitos identificados (Ministerio de la Protección Social, s. f.).

4. *Matriz de relaciones.* Implica determinar el impacto de los requerimientos de los clientes en la satisfacción de cada una de sus expectativas. Para ello, se debe conferir a cada relación una serie de símbolos cualitativos para demostrar el tipo de relación: relación fuerte, relación media, relación débil y sin relación (Esteban Ferrer, s. f.).
5. *Techo, correlación de las características técnicas del producto.* Esta matriz permite identificar las características que están puntualmente relacionadas y el impacto que pueden producir en otra característica. De esta manera, se identifican los efectos desfavorables o problemas que se pueden presentar, lo que permite conseguir una gestión eficaz en el momento de evaluar y realizar cambios de los requisitos (Espitia Peña, 2015).
6. *Metas.* Se establece un valor objetivo esperado, el cual se encuentra en unidades para cada producto y se realiza un *benchmarking* para comparar el producto con el de la competencia. Además, se consideran los requerimientos técnicos de los bienes para poder obtener oportunidades de mejora (Izar Landeta, 2018).

Figura 1

Casa de la calidad y sus partes



Nota. Adaptado de "Aplicación del QFD a la industria refresquera de San Luis Potosí", por Izar Landeta e Ynzunza Cortés, 2013.

Previo a la aplicación de la metodología del QFD, se realizó una encuesta a un grupo *target* conformado por especialistas y profesionistas en el área de materiales biodegradables o afines. Se concentró en una lista las características más relevantes o importantes de los productos que se encuentran elaborados o que están constituidos por materiales que se degradan en el ambiente. Los requerimientos evaluados en la encuesta se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Requerimientos del cliente (expertos evaluados en la aplicación de la encuesta)

Requerimientos del cliente (RC)	
1. Resistente	8. Funcional
2. No tóxico	9. Degradación rápida
3. De bajo costo	10. No contaminante
4. Ligero	11. Manufacturable
5. Buen diseño	12. Reciclable
6. Confiable	13. Fácil de adquirir
7. Normativo	

Una vez realizada la encuesta, se construyó la HoQ para establecer el crítico de calidad que da la pauta para el uso y desarrollo de la metodología TRIZ. El primer paso para constituir la HoQ es definir los requerimientos del cliente y establecer su necesidad superior (NS), es decir, identificar los RC en pequeños conjuntos de familias. Para ello, se establecieron tres grupos o familias (necesidad superior) de RC, como los siguientes:

- Material resistente, no tóxico, de degradación rápida, no contaminante, reciclable, ligero, manufacturable y que cumple con la normatividad.
- Diseño funcional, cumple con el estándar de diseño y buen diseño.
- Mercado de bajo costo, confiable y fácil de adquirir.

Se han definido los requerimientos técnicos de los clientes en la HoQ. Ahora, el siguiente paso es establecer los requerimientos funcionales por parte de la empresa, es decir, se trata de identificar una o más características de calidad para cada una de las necesidades del cliente (Espinoza, 2015).

Los requerimientos funcionales por parte de la empresa, también denominados como requerimientos de diseño o características técnicas de los productos (CT), según Izar Landeta e Ynzunza Cortés (2013), se han establecido como las estrategias, actividades

y operaciones que deben considerarse en el proceso, con el fin de garantizar que los requerimientos de los clientes se cumplan y estén presentes en el producto o servicio de estudio. En la presente investigación se han identificado los siguientes requerimientos funcionales:

- Selección del material
- Proceso de obtención de la fibra
- Proceso de formado
- Condiciones ambientales
- Composición de la mezcla
- Dimensiones
- Apariencia final del producto

Una vez definidos los requerimientos de los clientes (RC) y los requerimientos funcionales, es preciso pasar de la representación de la información de una dimensión (listas) a la representación en dos dimensiones (matrices) (González Sara, 2014). Para crear la relación entre los requerimientos de los clientes y los requerimientos funcionales, existen diversos símbolos que utilizan algunos autores para representar la relación. Por ejemplo, “●” para indicar que existe una relación fuerte, “○” para señalar que existe una relación moderada, “▽” para indicar que existe una relación débil y un espacio en blanco en donde no existe relación. Por otro lado, otros autores prefieren plasmar la relación con valores numéricos como el “9” para una relación fuerte, el “3” para una relación moderada, el “1” para una relación débil y el “0” para una relación nula.

Después de generar la relación, el siguiente paso es determinar la correlación entre los requerimientos funcionales. Para ello, es importante señalar que la correlación se lleva a cabo en el techo de la HoQ, donde se identifica, entre los requerimientos funcionales, qué estrategias, actividades y operaciones tienen correlación entre sí.

La matriz de correlación permite evaluar las relaciones de dependencia o de importancia relativa de varias necesidades o ideas. También se utiliza para definir las prioridades y para establecer la secuencia óptima de acciones (Frizziero et al., 2017). Asimismo, para señalar la correlación de las estrategias, actividades y operaciones, se utilizó la simbología siguiente: “+” para indicar una correlación positiva, “-” para una correlación negativa y un espacio en blanco para una correlación nula.

Una vez definidas las relaciones y correlaciones, se ponderó la relación máxima o el grado de importancia que presiden los clientes en los requerimientos técnicos (los *qué*) del producto. Para ello, se realizó la ponderación en escala del 1 al 5, donde 5 es muy importante y 1 poco importante. La ponderación asignada a cada uno de los

requerimientos de los clientes consideró los resultados proyectados por la encuesta aplicada al grupo *target*. En la Figura 2, se observa cómo quedó establecida la HoQ; para ello, es importante señalar que, de acuerdo a las seis partes que componen la casa de la calidad de la Figura 1, en este trabajo no se realizó la parte 2 (matriz de planeación) ni la 6 (metas), ya que el objetivo del proyecto solo conllevaba puntualizar la transición que genera utilizar la metodología QFD al TRIZ. Además, de acuerdo al área de estudio y al grupo *target* que se encuestó, solo se deseaba determinar el crítico de calidad que percibían los clientes para poder convertirlo/traducirlo a un parámetro de mejora de la metodología TRIZ.

La metodología TRIZ es una metodología propuesta por Genrich Altshuller para resolver problemas de inventiva. Ha sido utilizada por muchos investigadores y emprendedores para mejorar sus bienes, procesos y servicios, gracias a la efectividad y eficiencia que brinda. Esta metodología desarrolla lógicamente la creatividad en el proceso de diseño de productos innovadores (Taşkın et al., 2019). Del mismo modo, se utiliza la matriz de contradicciones de la metodología TRIZ, con el objetivo de localizar principios de inventiva que guiarán a una solución para alcanzar el crítico de calidad definido con la HoQ de la metodología QFD.

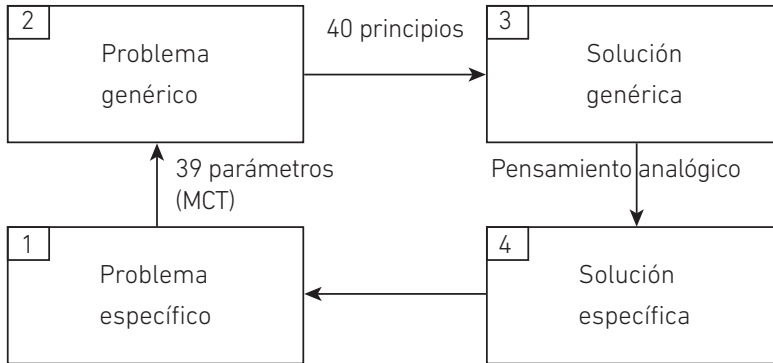
La matriz de contradicciones de TRIZ está constituida por treinta y nueve parámetros y cuarenta principios de inventiva. Para su uso, es importante considerar las siguientes etapas (Orloff, 2017):

1. *Problema específico*. Se plantea el problema que se desea resolver. A partir de ahí, con el uso de los treinta y nueve parámetros, se convierte a un problema genérico.
2. *Problema genérico*. Una vez identificado el parámetro que se desea mejorar (A) y el parámetro que empeora (B), o que se ve afectado en la matriz de contradicciones, se determinan problemas generales análogos al que se plantea y que han sido resueltos por medio de los cuarenta principios, basados en patentes.
3. *Solución genérica*. Son las posibles soluciones obtenidas considerando el cruce entre el parámetro A y el parámetro B. Estas posibles soluciones son conocidas como principios de inventiva y son soluciones genéricas.
4. *Solución específica*. Con base a lo obtenido en la etapa anterior, se soluciona el problema específico utilizando el principio de inventiva que mejor se ajuste. En esta etapa se rompe la inercia psicológica y se encuentra el resultado final ideal (RFI), que es la mejor solución obtenida en el momento del análisis.

En cuanto a lo anterior, se sugiere el uso del algoritmo para la implementación de las cuatro etapas mencionadas (véase la Figura 2).

Figura 2

Algoritmo de solución de problemas de TRIZ



3. RESULTADOS

El resultado con la aplicación del QFD ha derivado un crítico de calidad. Además, de acuerdo al grado de importancia que se estableció en función a los resultados de la encuesta formulada y aplicada, se obtuvo que el requerimiento técnico de los clientes ha sido "no tóxico", es decir, los clientes esperan que un producto que contiene o esté constituido por materiales biodegradables no sea tóxico (véase la Figura 3). Ahora, a partir de este crítico de calidad, se procede a realizar la transición y traducción a un parámetro de mejora en la metodología TRIZ.

Figura 3

Casa de la calidad resultante

		Número de columna						
		1	2	3	4	5	6	7
Relación máxima	Necesidad superior	Requerimientos funcionales						
		Selección del material	Proceso de obtención de la fibra	Proceso de formado	Condiciones ambientales	Composición de la mezcla	Dimensiones	Apariencia final del producto
	Requisitos del cliente (explícito e implícito)							
3	Material	Resistente	○				●	
5		No tóxico	○				▽	
4		Degradación rápida	○			●	▽	
4		No contaminante	●			○	▽	
3		Reciclable	○				▽	
1		Ligero	○				▽	●
1		Manufacturable	○	▽	●			
2		Cumple con normatividad						●
4		Diseño	Funcional		●			
2	Cumple con estándar de diseño		▽		●			○
2	Buen diseño				○			
3	Mercado	De bajo costo		●	○			
1		Confiable	▽		○		●	
2		Fácil de adquirir						○

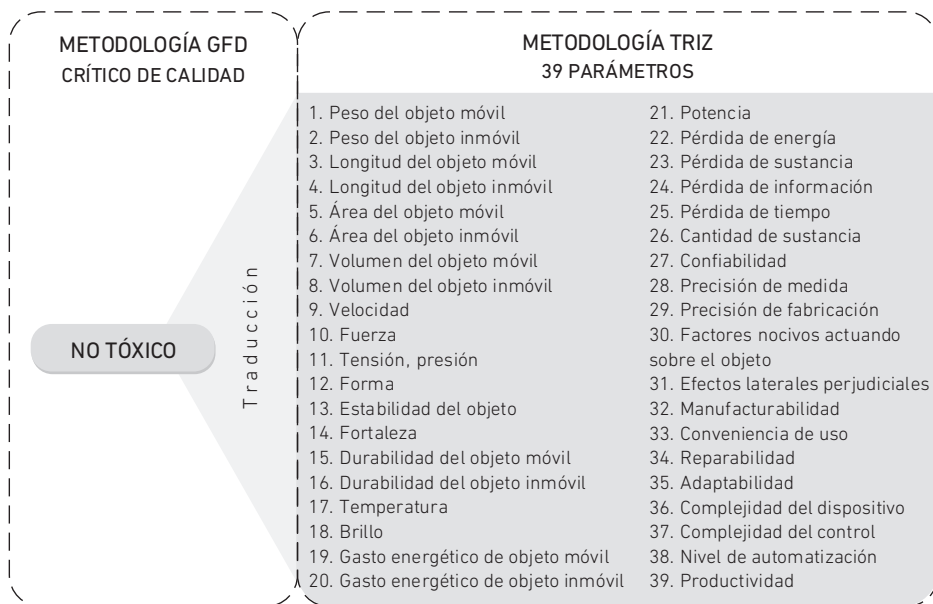
Nota. Adaptado de Battles (2010).

La metodología QFD priorizó los requerimientos del cliente en un orden de relevancia, en donde, de acuerdo a las ponderaciones otorgadas, se consiguió definir un crítico de calidad, el cual se convertirá, para la metodología TRIZ, en un parámetro de mejora (parámetro A). Este deberá ser verbalizado/traducido a uno de los treinta y nueve parámetros estipulados en esta metodología.

Este crítico de calidad definido por la metodología QFD ha sido "no tóxico". Además, al realizar un análisis y una búsqueda comparativa, en relación a la traducción de dicho crítico de calidad versus parámetro, se consiguió establecer que el requerimiento del cliente denominado como "no tóxico" se verbaliza/traduce a "factores nocivos que actúan sobre el objeto", que representa el parámetro número 30 de los treinta y nueve parámetros constituidos en la metodología TRIZ. En la Figura 4, se muestra la parte de la traducción de lo mencionado y la transferencia de la metodología QFD a la metodología TRIZ.

Figura 4

Traducción del crítico de calidad a parámetro



Nota. Adaptado de "Integración de metodologías de diseño para la obtención de un material parcialmente biodegradable a base de fibra de coco", por Cruz-Rivero et al. (2022).

4. DISCUSIÓN

Una vez que se llevó a cabo el análisis de aproximación de QFD y TRIZ, cada uno de los autores citados en la introducción, han implementado de manera efectiva las metodologías QFD y TRIZ para solucionar un problema específico en un área distinta. No obstante, a diferencia de lo que se expone en la presente investigación, el objetivo va más allá de mostrar un ejemplo de aplicación, es decir, la meta del estudio desarrollado es mostrar al investigador la importancia, la máxima relación y el punto preciso de migración que presentan las metodologías expuestas. Todo ello debido a que con el desarrollo,

aplicación e implementación conjunta se pueden cubrir mejores resultados y generar un beneficio óptimo para el estudio que se realice en cualquiera de las áreas de investigación que contextualice el investigador.

Autores como Dos Santos et al. (2016) y Frizziero et al. (2017), que han desarrollado investigaciones con estas metodologías, exponen puntos de reciprocidad entre sí, dado que se presentan conclusiones sobre cómo desarrollar, vincular, relacionar e integrar ambas metodologías para conseguir requerimientos técnicos y parámetros de diseño que conlleven a un resultado final ideal momentáneo. Esa es la solución factible u óptima en el presente, pero dicha solución no garantiza el mismo beneficio en el futuro.

Tal y como lo mencionan Herrera De la Barrera & Narváez Zúñiga (2017), se utilizó el QFD para identificar los requerimientos de los clientes para "verbalizarlos en operaciones y bocetos, enfocando varias funciones hacia la meta en común" (Frizziero et al., 2017, p. 22). Mientras tanto, las diferencias de aplicación han sido parte de la metodología TRIZ, ya que esta metodología posee varios métodos de resolución de problemas, tales como la matriz de contradicciones, el análisis nueve ventanas, el análisis de recorte de patentes, los principios de separación, entre otras. Cada uno de los autores desarrolló un método de TRIZ diferente en sus trabajos.

El objetivo de relacionar y corresponder las metodologías QFD y TRIZ es conocer las ventajas máximas que propician a la investigación. Tal como mencionan Tursch et al. (2015), la combinación de ambas metodologías puede generar un enorme potencial para la innovación, asegurar los prerrequisitos para un producto exitoso, eliminar las barreras del pensamiento y extender el horizonte de conocimiento.

5. CONCLUSIONES

Como se analizó en este artículo, las metodologías tienen aplicaciones libres e independientes una de la otra, aunque la utilización y aplicación de una marca una parte importante para incorporar a la otra; por ejemplo, al desarrollar la metodología QFD se identificó el crítico de calidad "no tóxico" que los clientes denominaron como esencial en un producto constituido por materiales biodegradables y que se tradujo a uno de los treinta y nueve parámetros que están constituidos y establecidos en la metodología TRIZ. Con esta integración de las metodologías, es posible cubrir una mejor investigación en el producto o servicio de interés, puesto que, por una parte, se analizan las necesidades del mercado y, por la otra, se estudian los requerimientos de diseño en base a esas necesidades conceptualizadas.

Cabe mencionar que, a pesar de que se señale la correspondencia de las metodologías en cuestión, no hay ni existe una regla o condición donde se establezca o se exija la aplicación dependiente de ambas metodologías, puesto que cada metodología

tiene su creador y origen marcado, QFD fue creado a finales de la década de 1960 y es proveniente de Japón por Shigeru Mizuno y Yoji Akao, mientras que TRIZ hace sus primeras apariciones en la década de 1950, proveniente de Rusia por Genrich Altshuller. Sin embargo, la aplicación conjunta de ambas puede generar mejores resultados que si son aplicadas de manera independiente.

Se puntualiza que existen otras metodologías que se logran integrar o adicionar a estas herramientas, como el modelo Kano, el análisis de modo efecto y fallo (AMEF), entre otras. Estas pueden ser utilizadas adyacentemente para el diseño y satisfacción de los bienes y servicios que perciben los clientes/usuarios.

REFERENCIAS

- Aguilar Lasserre, A. A., Torres Sánchez, V. E., Fernández Lambert, G., Azzaro Pantel, C., Cortes Robles, G., & Román Del Valle, M. A. (2018). Functional optimization of a Persian lime packing using TRIZ and multi-objective genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.12.005>
- Battles, C. (2010). *QFD: house of quality template*.
- Ching Hsiang, C., & Chien Yi, H. (2015). La sinergia de QFD y TRIZ para resolver problemas de EMC en productos eléctricos: un estudio de caso para el PC portátil. *Revista de Ingeniería Industrial y de Producción*, 32(5), 311-330, <https://doi.org/10.1080/21681015.2015.1046507>
- Cruz-Rivero, L., Mar Orozco, C. E., & Martínez Hernández, M. L. (2016). TRIZ y QFD como herramientas de gestión de la innovación. En R. Pérez Rojas (Ed.), *Gestión de la innovación como agente determinante del cambio* (pp. 921-930). Ediciones ILCSA.
- Cruz-Rivero, L., Meraz Rivera, J., & Méndez Hernández, M. L. (2022). Integración de metodologías de diseño para la obtención de un material parcialmente biodegradable a base de fibra de coco (*Cocos nucifera* L.). En *Investigación pura y avances tecnológicos. Aportación al desarrollo educativo y social en México* (pp. 212-220). Instituto Tecnológico Superior de Naranjos.
- Dos Santos, M., De Carvalho Fernandes, M., Carpinteiro dos Santos, F. M., Da Costa Dias, F., Almeida, J. J., & Agner Júnior, J. (2016). An approach of TRIZ methodology with inventive solutions for toys used by children with special needs based on the requirements of quality house (QFD). *IOSR Journal of Engineering*, 6(12), 45-50. http://iosrjen.org/Papers/vol6_issue12/Version-1/G0612014550.pdf
- Espinoza, C. M. (2015). *Aplicación del método QFD para el diseño de un envase de geometría especial en el proceso de termoformado* [Tesis de doctorado, Universidad de la Rioja]. Universidad de la Rioja.

- Espitia Peña, E. (2015). *Aplicación del despliegue de la función de calidad para el análisis, el diseño y la gestión del currículo para un programa de ingeniería de sistemas* [Tesis de maestría, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional de la Universidad EAFIT. <http://hdl.handle.net/10784/11353>
- Esteban Ferrer, M. J. (s. f.). *Análisis estratégico de la calidad en los servicios jurídicos. Aplicación del despliegue de la función de calidad (QFD) al estudio del sector de prestación de servicios jurídicos a empresas en Cataluña* [Tesis de doctorado, Universidad Ramon Lull]. Tesis Doctorales en Xarxa. <https://www.tdx.cat/handle/10803/9318>
- Frizziero, L., & Ricci Curbastro, F. (2014). Innovative methodologies in mechanical design: QFD vs TRIZ to develop and innovative pressure control system. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(6), 966-970. http://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2014/jeas_0614_1126.pdf
- Frizziero, L., Francia, D., Donnici, G., Liverani, A., & Caligiana, G. (2017). Sustainable design of open molds with QFD and TRIZ combination. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(1), 21-31. <https://doi.org/10.1080/21681015.2017.1385543>
- García Ortiz, O. A. (2015). *Mejora a los procesos de servicio de TI mediante la fusión de minería de datos, recuperación de información y QFD para el incremento en la percepción de la calidad en el servicio* [Tesis de maestría, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas]. Repositorio Institucional de CIATEC. <http://ciatec.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1019/60>
- González Revaldería, J., Holguín Holgado, P., Lumbreras Marín, E., & Núñez López, G. (2017). La entrevista en profundidad y la metodología Kano para conocer los requisitos de los usuarios en una unidad de quemados. *Revista de Calidad Asistencial*, 32(1), 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.cali.2016.06.009>
- González Sara, A. (2014). *Quality function deployment: una herramienta para establecer los requerimientos técnicos de un edificio en México* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. RiuNet. Repositorio Institucional UPV. <http://hdl.handle.net/10251/47822>
- Herrera De la Barrera, J., & Narváez Zúñiga, C. (2017). Metodología para la comprensión de la voz del cliente en entornos dinámicos utilizando el despliegue de funciones de calidad (QFD). *Teknos. Revista Científica*, 17(2), 63-72. <https://doi.org/10.25044/25392190.906>
- Ilevbare, I. M., Probert, D., & Phaal, R. (2013, 10 de enero). A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. *Technovation*, 33(2-3), 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003>

- Izar Landeta, J. M., & Ynzunza Cortés, C. B. (2013). Aplicación del QFD a la industria refresquera de San Luis Potosí, México. *Hitos de Ciencias Económico Administrativas*, 19(53), 7-16.
- Izar Landeta, J. M. (2018). Despliegue de las funciones de calidad (QFD). En *Calidad y mejora continua*. LID Editorial.
- Ministerio de la Protección Social. (s. f.). *Guía de instrucción. Despliegue de la función calidad (QFD): identificación y evaluación de las necesidades de los clientes de las instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS)*. Universidad CES; Gesaworld S. A.
- Orloff, M. A. (2017). *ABC-TRIZ: introduction to creative design thinking with modern TRIZ modeling*. Springer.
- Ramírez Ruiz, C., & Mejía Trejo, J. (2014). Metodología Kano para el diseño de un sitio web de turismo de aventura. *Mercados y negocios*, 15(1), 92-110. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=571863945006>
- Singh Soin, S. (1997). *Control de calidad total. Claves, metodologías y administración para el éxito*. McGraw Hill; Interamericana Editores.
- Taşkın, B., Başıoğlu, N., Daim, T., & Barham, H. (2019). Creativity in design process using TRIZ: application to smart kitchen design. En T. D. Daim, M. Dabić, N. Başıoğlu, J. R. Lavoie & B. J. Galli (Eds.), *R&D management in the knowledge era. Challenges of emerging technologies* (pp. 223-236). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15409-7_7
- Tursch, P., Goldmann, C., & Woll, R. (2015). Integration of TRIZ into quality function deployment. *Management and Production Engineering Review*, 6(2), 56-62. <https://doi.org/10.1515/mper-2015-0017>
- Vargas Aldás, J. C. (2017). *Propuesta de aplicación del modelo QFD para el análisis de satisfacción del cliente caso: dental metrópoli* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio de Tesis de Grado y Posgrado. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13398>

CARACTERIZACIÓN DE LA NORMA ISO 9001:2015 A TRAVÉS DE LA MEJORA CONTINUA PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN ORGANIZACIONES CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL

CARLOS VÁZQUEZ CID DE LEÓN

<https://orcid.org/0000-0003-2067-0565>

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Instituto de Ingeniería Industrial, Oaxaca,
México

ASENET NIZANDAYA ALCÁNTARA SÁNCHEZ

<https://orcid.org/0000-0001-7197-0897>

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Instituto de Ingeniería Industrial, Oaxaca,
México

SALVADOR MONTESINOS GONZÁLEZ

<https://orcid.org/0000-0001-6006-7790>

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Instituto de Ingeniería Industrial, Oaxaca,
México

Recibido: 29 de agosto del 2023 / Aceptado: 19 de septiembre del 2023

doi: <http://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6627>

RESUMEN. La norma ISO 9001:2015 es un estándar aplicado a los sistemas de gestión de la calidad y su implementación tiene como objetivo mejorar la calidad de los productos o servicios que brinda una organización para satisfacer los requisitos del cliente, así como los requisitos legales y reglamentarios. Esta norma utiliza un enfoque basado en procesos, que incluye el ciclo de mejora continua de planificar-hacer-verificar-actuar (PHVA), y abarca siete puntos auditables que se integran en el sistema. En relación con ello, para lograr el objetivo de esta investigación, se empleó un tipo de investigación descriptiva, transeccional y no experimental, cuyos resultados incluyen una caracterización de la norma ISO 9001:2015, así como una propuesta que aborda los puntos auditables a través de diferentes herramientas y métodos, con el fin de cumplir con los requisitos de dicha norma. Al finalizar la revisión de la literatura, se ha concluido que existen artículos que solo abordan una pequeña

* Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

** Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: carlosvazquezc@mixteco.utm.mx; aasa000421@gs.utm.mx; smontesinos@mixteco.utm.mx

parte de la norma, lo que ha llevado a ampliar esta investigación para generar una propuesta que sea de utilidad y sirva como una guía metodológica para las organizaciones que busquen certificarse en dicha norma, con el objetivo de lograr la mejora continua.

PALABRAS CLAVE: caracterización / ISO 9001 / sistemas de calidad / mejora continua

CHARACTERIZATION OF THE ISO 9001:2015 STANDARD THROUGH CONTINUOUS IMPROVEMENT FOR ITS IMPLEMENTATION IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE ORGANIZATIONS

ABSTRACT. ISO 9001:2015 is a standard for Quality Management Systems. Its implementation aims to improve the quality of the products or services provided by an organization to meet customer needs as well as legal and regulatory requirements. This standard uses the process approach, which includes the PDCA (Plan, Do, Check, Act) cycle and covers seven audit findings integrated into the system. To achieve the objective, a descriptive, cross-sectional, and non-experimental research was conducted. The results include a characterization of the ISO 9001:2015 standard, as well as a proposal that addresses the audit findings using different tools and methods, in order to comply with the requirements of the standard. At the end of the literature review, it was concluded that some articles only address a small part of the standard, which led to expand this research to generate a proposal that will be useful and serve as a methodological guide for organizations seeking certification in said standard and achieve continuous improvement.

KEYWORDS: characterization / ISO 9001 / quality systems / continuous improvement

1. INTRODUCCIÓN

La norma ISO 9001:2015, aplicada a los sistemas de gestión de la calidad (SGC), ha sido ampliamente adoptada por las organizaciones con el objetivo de mejorar su desempeño y establecer una base sólida para el desarrollo sostenible (Por & Sotorrío, 2022). Al implementar este sistema, las organizaciones logran proporcionar productos o servicios que satisfacen los requisitos del cliente, así como los requisitos legales y reglamentarios correspondientes, lo que conlleva una mejora en la satisfacción del cliente. Además, se abordan los riesgos y oportunidades relacionados con el contexto de la organización y sus objetivos.

Dicha norma utiliza un enfoque basado en procesos en el que se encuentra implícito el ciclo planificar-hacer-verificar-actuar (PHVA). Este ciclo permite a la organización gestionar de manera adecuada los recursos de sus procesos, asegurar su disponibilidad y planificar los procesos y sus interacciones (International Organization for Standardization [ISO], 2022). Sin embargo, muchas organizaciones carecen del conocimiento necesario para abordar correctamente los requisitos que presenta la norma. Además, existen vacíos en la información disponible. Las herramientas, métodos y técnicas de calidad son fundamentales para adoptar los principios de la calidad total y son un apoyo en los procesos de mejora continua dentro de las organizaciones (Álvarez, 2012).

El ciclo Deming es una herramienta orientada a la resolución de problemas y a la mejora continua. Esta consiste de cuatro etapas. En la fase "Planear", la organización establece sus metas, objetivos, planes, misión y visión en función de los requerimientos del cliente. Además, se realiza un diagnóstico para evaluar la situación actual de la organización y determinar las áreas que requerirán un mayor esfuerzo para alcanzar los resultados deseados. En la fase "Hacer", se implementan los planes, los cuales están alineados con los objetivos establecidos en la fase anterior. En la fase "Verificar", se realiza una comparación entre los resultados esperados y los resultados obtenidos. Si existe una diferencia significativa entre ellos, se pasa a la fase "Actuar", donde se establece un plan correctivo utilizando nuevamente el ciclo PHVA (Castillo, 2019).

Es importante destacar que el ciclo PHVA engloba los puntos auditables del 4 al 10 de la norma ISO 9001:2015. Es el punto 5 (liderazgo) el eje central del mismo. A continuación, se explica de manera breve estos puntos.

- *Punto auditable 4 (contexto de la organización).* En este punto, se establecen las bases y limitaciones del SGC, se realiza un análisis del entorno interno y externo para comprender la situación de la organización y se incluye el análisis de la competencia y cómo se enfrenta (Fernandes, 2019).
- Alguna de las herramientas utilizadas en este punto puede ser el análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas), ya que evalúa tanto el entorno interno como el externo. Además, permite identificar oportunidades y

amenazas externas, así como fortalezas y debilidades internas de la organización (De Sousa & Castañeda, 2022). Asimismo, se utiliza el análisis PESTEL, el cual se centra en el entorno externo de la organización y, para ello, considera los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales. Esta herramienta proporciona una visión amplia de los aspectos clave que pueden influir en la organización, lo que permite una mejor comprensión de su entorno (De Sousa & Castañeda, 2022). Por otro lado, se hace uso de la herramienta de las cinco fuerzas de Porter, la cual sirve para analizar la competencia y evaluar las cinco fuerzas básicas que afectan a una organización en el mercado (Thompson et al., 2016). Del mismo modo, el supersistema de Rummler-Brache es una herramienta que facilita la comprensión de cómo la organización controla su contexto y cómo interactúa con las partes interesadas (Alfonso Robaina et al., 2011). Finalmente, también se suelen utilizar los diagramas SIPOC (*supplier, input, process, output, customer*), los cuales proporcionan una representación visual de esta información al identificar los proveedores, las entradas, la secuencia del proceso, las salidas y los clientes involucrados (Gueorguiev, 2018).

- *Punto auditable 5 (liderazgo)*. El liderazgo de la alta dirección desempeña un papel crucial al distribuir responsabilidades entre los colaboradores para asegurar una implementación efectiva del SGC (Hernández, 2016a). La norma ISO 9001:2015 requiere el establecimiento de una política y objetivos de calidad alineados con el plan estratégico de la organización, que incluye la misión, visión y estrategias establecidas. Asimismo, es importante determinar los requisitos del cliente y los riesgos y oportunidades de la organización. La alta dirección asignará las responsabilidades necesarias para que los colaboradores participen activamente en los diferentes procesos (ISO, 2022).
- Algunas herramientas que se utilizarían en esta etapa son las siguientes: el despliegue de la función de la calidad (QFD), una herramienta que define la relación entre las necesidades y deseos del cliente y la capacidad de la organización para satisfacerlos (Gunduz et al., 2021); la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos (IPER), para identificar la probabilidad de ocurrencia de eventos no deseados y el nivel de consecuencias asociadas —el producto de estos resultados será el nivel de riesgo, sobre el cual se trabajarán estrategias para reducirlo y evitar impactos negativos en la organización (Bueno Quimis, 2018)—; una matriz de asignación de responsabilidades, conocida como matriz RACI, para que cada colaborador sepa qué debe hacer, cuáles son sus capacidades y habilidades necesarias, y con qué departamentos debe interactuar (Cabanillas et al., 2012). Este punto de la norma busca establecer la dirección del SGC y asegurar que cada colaborador conozca sus responsabilidades para obtener los resultados esperados.
- *Punto auditable 6 (planificación)*. En este punto, se realiza la identificación de riesgos y oportunidades, se definen los objetivos y se asignan los recursos necesarios para garantizar los resultados deseados (ISO, 2022).

- Una herramienta utilizada para detectar posibles errores en un proceso, producto o servicio es el análisis modal de fallos y efectos (AMFE), la cual proporciona información similar a la de la matriz IPER (Galvez & Solorzano, 2022). Una vez obtenidos los resultados del análisis de riesgo, es necesario tomar acciones para enfrentar las consecuencias con el menor impacto negativo posible. Para ello, las estrategias deben convertirse en objetivos y el *balanced scorecard* (BSC) es una herramienta útil para ello. Esta permite interconectar los objetivos desde todas las perspectivas (financiera, del cliente, procesos internos, aprendizaje y crecimiento) para alinearlas con la misión de la compañía y así obtener los mejores resultados. Estos objetivos deben ser coherentes con la política de calidad establecida y ser relevantes para mejorar la satisfacción del cliente a través de la conformidad de productos o servicios (Hernández, 2016b; Quintero-Beltrán & Osorio-Morales, 2018; Suárez et al., 2020). Estos dos puntos auditables corresponden a la fase “Planificar”, que implica el diseño del SGC, y que establece lo que se espera y lo que se pretende hacer para lograr resultados exitosos. A continuación, se exponen los que corresponden a la segunda etapa de la fase “Hacer”.
- *Punto auditable 7 (apoyo)*. El objetivo es determinar, proporcionar y mantener los recursos necesarios para la implementación del SGC (Talamantes-Valenciana & Rodríguez Picón, 2020), así como asegurar el control en las actividades operativas. Se debe realizar un *layout*, determinar la capacidad de la planta para determinar las capacidades y limitaciones existentes y gestionar los recursos humanos, mediante métodos de selección y reclutamiento de personal. También se especificarán las cualidades y habilidades necesarias para alcanzar los objetivos establecidos (Jiménez, 2020), mediante evaluaciones de 360° o encuestas del clima organizacional, lo cual permite obtener información relevante sobre las áreas deficientes (Brito et al., 2020). Asimismo, debe existir auditorías internas, autoevaluaciones y revisiones continuas —para el caso de la infraestructura también requiere mantenimiento periódico, el cual debe establecerse mediante un plan maestro de mantenimiento—.
- *Punto auditable 8 (operación)*. En este punto, la organización planifica y controla los procesos para establecer una estructura sólida en el SGC y cumplir con los requisitos del cliente en cuanto al producto o servicio. Para lograr lo anterior, se debe realizar algunas de las siguientes actividades: desarrollar manuales de procedimientos, diagramas de tortuga para los procesos, planeación por escenarios para tener una visión general de los desafíos a los que se enfrentará, *hoshin kanri* para alinear los objetivos con los planes y la metodología SOSTAC —que considera la situación, objetivos, estrategias, tácticas, acción y control para tomar decisiones estratégicas de la organización—; implementar herramientas de control, como el diagrama de Gantt y la elaboración de formatos e instructivos de llenado que proporciona a los trabajadores una guía para evitar errores al documentar; proponer *poka-yokes* que proporcionen un control para

los operarios al ser un dispositivo antierror y el sistema *kanban*, que permite tener un control del tiempo y la cantidad de recursos dentro de los procesos; y, finalmente, implementar gráficas de control y herramientas estadísticas que midan el rendimiento de los procesos implementados (Cruz et al., 2017).

- En la fase “Verificar”, se realiza una comparación entre los resultados esperados y los resultados obtenidos. Si existe una diferencia significativa entre ellos, se pasa a la fase “Actuar”, donde se establece un plan correctivo utilizando nuevamente el ciclo PHVA. A continuación, los puntos auditables que forman parte de esta etapa.
- *Punto auditable 9 (evaluación del desempeño)*. En esta fase, se lleva a cabo el seguimiento y la medición de los procesos y sus resultados. Se realiza una comparación entre lo establecido en la política, los objetivos, los requisitos y lo planificado previamente con los resultados obtenidos (ISO, 2022). Para cumplir con estos requisitos, se elabora un plan de monitoreo, para lo cual se utilizan herramientas estadísticas, tales como el diagrama de Pareto y las gráficas de control; además, se realizan encuestas de satisfacción del cliente y un análisis de tendencias, los cuales permiten evaluar los datos a lo largo del tiempo, identificar oportunidades de mejora y posibles riesgos, y determinar qué acciones correctivas deben llevarse a cabo en primer lugar. Asimismo, la empresa debe establecer indicadores clave de desempeño (KPI), una vez que identifique las posibles mejoras a implementar. Finalmente, se propone un plan de acción para ejecutar en orden las acciones necesarias para lograr la mejora y el cambio (Quiroga & Mojica, 2022).
- *Punto auditable 10 (mejora)*. En esta fase, la organización debe identificar las oportunidades de mejora y llevar a cabo acciones para cumplir con los requisitos del cliente, lo que implica mejorar los productos y servicios, prevenir, reducir y corregir las no conformidades, y mejorar el desempeño en general (ISO, 2022). Según los resultados obtenidos en fases anteriores, se determinará la acción por implementar. Para ello, se puede optar por una reingeniería o simplemente en mejorar una actividad específica o corregir un error interno de la organización, o se puede utilizar el enfoque de eventos Kaizen (Montesinos González et al., 2020). Otra herramienta de resolución de problemas que se puede aplicar es el de las ocho disciplinas, que consiste en la identificación, corrección y eliminación de problemas (Toro, 2020). También es útil el reporte A3 de Toyota, que se basa en analizar los problemas, proponer acciones correctivas y establecer un plan de acción (Papić et al., 2019). Cualquier herramienta o método enfocado en la resolución de problemas proporcionará los recursos necesarios para corregir defectos y no conformidades, y así cumplir con los requisitos del cliente y de la norma.

El presente estudio busca profundizar en la comprensión de la norma ISO 9001:2015 y su influencia en el ámbito organizacional. Además de analizar sus puntos auditables

y herramientas asociadas, es esencial destacar el impacto de una implementación exitosa de esta norma en las organizaciones. La mejora del desempeño y la calidad de los productos y servicios, la satisfacción del cliente y la gestión efectiva de los riesgos y oportunidades son aspectos críticos que resaltaremos en este artículo. Asimismo, se explorará cómo las herramientas de calidad mencionadas en este estudio pueden contribuir de manera significativa a la implementación efectiva de la norma ISO 9001:2015, lo que proporcionará a las organizaciones las herramientas necesarias para abordar los requisitos de la norma de manera efectiva y, en última instancia, lograr una gestión de calidad sólida y sostenible.

2. METODOLOGÍA

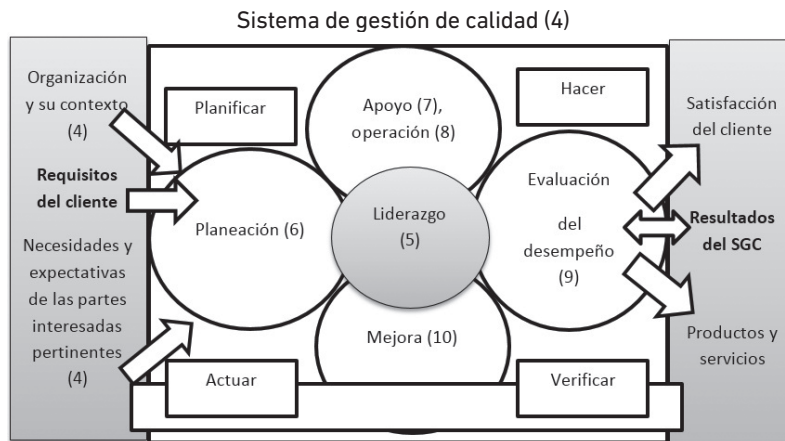
En esta investigación, se optó por un tipo de investigación descriptiva y cualitativa que permitió una comprensión profunda de un fenómeno específico dentro del contexto elegido. El enfoque se centró en explorar las percepciones, opiniones y experiencias de diversas fuentes en relación con el tema de estudio.

El diseño de investigación adoptado fue de naturaleza no experimental y longitudinal (Hernández Sampieri et al., 2020). Se buscó capturar la evolución y cambios en el tema de interés a lo largo del tiempo, sin recurrir a manipulaciones experimentales. Esta aproximación permitió observar cómo se desarrollaba y transformaba el fenómeno en cuestión a lo largo de un periodo prolongado.

Para llevar a cabo la investigación, se realizó una revisión bibliométrica que se apoyó en bases de datos científicas para tener una comprensión profunda de la temática en cuestión. Se hizo una recopilación, análisis y síntesis de datos provenientes de estudios e investigaciones previas relacionadas con el tema e identificar tendencias emergentes, patrones y enfoques teóricos a través de la revisión de la literatura. A continuación, se presenta la Figura 1.

Figura 1

Ciclo planear-hacer-verificar-actuar y su relación con los puntos auditables de la norma ISO 9001:2015



Nota. SGC: Sistema de gestión de calidad. De International Organization for Standardization, 2015.

Específicamente, la metodología utilizada fue la del ciclo Deming o también conocido como ciclo PHVA o de mejora continua. A su vez, en cada una de las etapas se propusieron herramientas para cada punto auditable con el fin de cumplir con los requisitos establecidos. Es importante destacar que este ciclo engloba los puntos auditables del 4 al 10 de la norma ISO 9001:2015, de los cuales el punto 5 (liderazgo) es el eje central (véase la Figura 1).

3. RESULTADOS

Durante la caracterización de la norma ISO 9001:2015, se identificó un promedio de 302 requisitos en los puntos auditables del 4 al 10. Además, se recopilieron los verbos más utilizados en dicha norma. Es importante destacar que se encontró una mínima conjugación de treinta y seis verbos, acciones y evidencias documentadas. Sin embargo, este número puede resultar insuficiente para un SGC y puede evidenciarse durante una auditoría interna.

Por lo tanto, se sugiere realizar un consenso con el equipo auditor y los responsables de los procesos para obtener la información y evidencia objetiva necesaria, de modo que no queden dudas de que se han cumplido todos los requisitos de cada punto. A partir de esta premisa, se desarrolla una propuesta que aborda los puntos auditables utilizando diversas herramientas y métodos, con el objetivo de cumplir con los requisitos de la norma. Es importante destacar que esta propuesta puede ser modificada, adaptada, reducida o mejorada por cada organización, según la experiencia y conocimientos de su capital humano (véanse las tablas 1, 2, 3, 4 y 5).

Tabla 1*Debes de la norma ISO 9001:2015 por punto auditable*

Punto auditable	Debes por cumplir	Total acumulado de debes por cumplir
(4) Contexto de la organización	24	24
(5) Liderazgo	26	50
(6) Planificación	25	75
(7) Apoyo	42	117
(8) Operación	125	242
(9) Evaluación del desempeño	42	284
(10) Mejora	18	302

La conjugación de los verbos puede darse dentro de un punto con respecto a sus demás clasificaciones. Por ejemplo: "Punto 4, apartado 4.1, secciones 4.1.1, subsección 7.1.5.1, inciso (a) y numeral (1)". En la Tabla 2 se muestran los verbos más comunes que se abordan en la norma ISO 9001:2015. Es importante mencionar que la norma puede conjugar más de un verbo con una acción que debe cumplir la organización y debe documentar tal actividad para su cumplimiento.

Tabla 2*Verbos más populares de la norma ISO 9001:2015*

Número	Debe	Verbo	Acción	Evidencia documentada
1	1	Actualizar	1	1
2	2	Adecuar	2	2
3	3	Aplicar	3	3
4	4	Asegurar	4	4
5	5	Asignar	5	5
6	6	Aumentar	6	6
7	7	Cambiar	7	7
8	8	Comunicar	8	8
9	9	Conservar	9	9
10	10	Considerar	10	10
11	11	Controlar	11	11
12	12	Corregir	12	12
13	13	Cumplir	13	13
14	14	Determinar	14	14
15	15	Disponer	15	15

(continúa)

(continuación)

Número	Debe	Verbo	Acción	Evidencia documentada
16	16	Documentar	16	16
17	17	Eliminar	17	17
18	18	Encontrar	18	18
19	19	Entender	19	19
20	20	Evaluar	20	20
21	21	Evidenciar	21	21
22	22	Gestionar	22	22
23	23	Hacer	23	23
24	24	Implementar	24	24
25	25	Incluir	25	25
26	26	Mantener	26	26
27	27	Medir	27	27
28	28	Mejorar	28	28
29	29	Organizar	29	29
30	30	Planificar	30	30
31	31	Prevenir	31	31
32	32	Reaccionar	32	32
33	33	Reducir	33	33
34	34	Revisar	34	34
35	35	Seleccionar	35	35
36	36	Tomar	36	36

Enseguida se presenta la Tabla 3, el cual inicia con una propuesta que aborda los puntos auditables 4, 5 y 6. Cabe resaltar que las organizaciones, según su contexto y naturaleza, pueden adoptar todas, algunas e incluso otras.

Tabla 3

Herramientas y métodos que se pueden aplicar en los puntos auditables 4, 5 y 6

Punto auditable 4	Punto auditable 5	Punto auditable 6
Análisis FODA	Política de calidad	AMFE
Análisis PESTEL	Casa de calidad	<i>Balanced scorecard</i>
Cinco fuerzas de Porter	Matriz IPER	Plan para el cumplimiento de objetivos
Supersistema de Rummler-brache	Matriz RACI	Método de la gestión de cambio

(continúa)

(continuación)

Punto auditable 4	Punto auditable 5	Punto auditable 6
SIPOC	Organigrama	
	Descripción de puestos	

Continuando con los puntos auditables 7 y 8, se puede observar en la Tabla 4 la propuesta de herramientas y métodos que pueden servir de guía para el cumplimiento de los deberes que contienen.

Tabla 4

Herramientas y métodos que se pueden aplicar en los puntos auditables 7 y 8

Punto auditable 7	Punto auditable 8
Presupuestos	Manuales de procedimiento
Caracterización de procesos	Diagramas de tortuga
Diagrama de tortuga	Planeación por escenarios
<i>Layout</i>	<i>Hoshin kanri</i>
Método de selección y reclutamiento de personal	SOSTAC
Autoevaluaciones	Diagrama de Gantt
Auditorías internas	Formatos
Plan maestro de mantenimiento	Instructivos de llenado
Evaluación 360°	<i>Poka-yoke</i>
Encuesta de clima organizacional	<i>Kanban</i>
Capacitaciones	Detección de necesidades de capacitación
<i>Empowerment</i>	Plan de desarrollo de capital humano
	Gráficas de control
	Herramientas estadísticas

Finalmente, en la Tabla 5 se concentran más herramientas y métodos que dan respuesta a los deberes de los puntos auditables 9 y 10 de la norma ISO 9001:2015.

Tabla 5

Herramientas y métodos que se pueden aplicar en los puntos auditables 9 y 10

Punto auditable 9	Punto auditable 10
Plan de monitoreo	PHVA
Diagrama de Pareto	Reingeniería
Gráficas de control	Eventos Kaizen
Encuestas de satisfacción del cliente	Las ocho disciplinas
Análisis de tendencia	Reporte A3 de Toyota
Indicadores o KPI	
Programa de auditorías	

Enseguida se presenta una segunda alternativa a manera de ejemplo, de tal manera que los interesados puedan desarrollar su propia propuesta para el contexto de su organización en particular. Para ello, en la Tabla 6 se enumera herramientas de mejora continua para cada uno de los puntos auditables de la norma ISO 9001:2015 (del 4 al 10).

Tabla 6

Puntos auditables y herramientas de mejora

Punto auditable	Herramientas de mejora continua
(4) Contexto de la organización	Análisis PESTEL Análisis de las partes interesadas Diagrama de flujo del proceso Diagrama SIPOC Matriz FODA Diagrama de Ishikawa (espina de pescado)
(5) Liderazgo	Política de calidad Objetivos de calidad Reuniones de revisión por la dirección Análisis de desempeño del liderazgo
(6) Planificación	Matriz de planificación estratégica Matriz DAFO (SWOT) Análisis de riesgos y oportunidades Matriz de priorización
(7) Apoyo	Gestión del talento Capacitación y desarrollo Comunicación interna Gestión de recursos
(8) Operación	Diagrama de flujo del proceso Estándares de trabajo Métodos de mejora de la eficiencia Gestión de cambios

(continúa)

(continuación)

Punto auditable	Herramientas de mejora continua
(9) Evaluación del desempeño	Indicadores clave de desempeño (KPI) Auditorías internas Encuestas de satisfacción del cliente Revisión del desempeño
(10) Mejora continua	Ciclo planificar-hacer-verificar-actuar (PHVA) Acciones correctivas y preventivas Kaizen <i>Six sigma</i> <i>Benchmarking</i>

La Tabla 6 es una referencia y se puede adecuar con diferentes herramientas de mejora continua específicas para cada punto auditable según las necesidades de cada organización; sin embargo, las antes mencionadas pueden servir como una guía para los auditores que buscan apoyo a través de artículos científicos.

Propuesta de implementación modelo CidMont

El modelo CidMont emerge como una metodología exhaustiva que surge de un profundo análisis respaldado por la revisión de bases de datos científicas líderes, tales como Scopus, Web Of Science, Redalyc, Elsevier, Sage y Google Scholar. Este riguroso proceso de investigación arrojó un resultado fundamental: la construcción del modelo CidMont. Este enfoque, diseñado para adaptarse a las demandas cambiantes de un entorno empresarial en evolución constante, fusiona sabiamente herramientas tradicionales de mejora continua con tecnologías avanzadas y enfoques innovadores.

El propósito central de esta metodología radica en abordar con eficacia los desafíos y las oportunidades de mejora que enfrentan las organizaciones que buscan cumplir con los estándares establecidos por la norma ISO 9001:2015. De manera significativa, el modelo CidMont incorpora la inteligencia artificial como un componente clave. Esta inclusión potencia la eficacia en la resolución de problemas y, lo que es aún más importante, garantiza la instauración de una mejora continua que perdure en el tiempo.

Es relevante destacar que el modelo CidMont representa uno de los logros resultantes de las investigaciones emprendidas por los autores de este artículo, lo que subraya su solidez y validez respaldada por un riguroso proceso de análisis y revisión.

El proceso de resolución de problemas, estructurado para su implementación en el ciclo PHVA y su relación con los puntos auditables de la ISO 9001:2015, es un modelo

que se ajusta a las nuevas competencias digitales y tecnologías disruptivas en el 2023 y consta de seis fases, que se abordan a continuación.

Evaluación inicial (Assess)

En esta etapa inicial, se lleva a cabo una evaluación exhaustiva del problema o desafío en cuestión. Se busca comprender en profundidad la situación y considerar posibles oportunidades de mejora. Se podría emplear herramientas como las siguientes:

- *Análisis de datos más complejos*. El aprendizaje automático puede manejar análisis de datos más complejos y detallados. También puede descubrir patrones sutiles y relaciones que no serían detectados fácilmente por enfoques tradicionales.
- *Diagrama de Ishikawa* (espina de pescado). Para identificar y visualizar las posibles causas raíz del problema.
- *Análisis Pareto*. Para determinar las causas principales que están contribuyendo al problema.
- *Ciclo PDCA* (ciclo Deming o ciclo de mejora continua). Para establecer una base de mejora continua y planificar el enfoque de resolución.

Diseño de soluciones creativas (Create)

En esta etapa, se reúne un equipo multidisciplinario para generar soluciones innovadoras. Se fomenta la creatividad y el pensamiento lateral a través de las siguientes herramientas:

- *Brainstorming*. Para generar una amplia gama de ideas sin restricciones.
- *Diagrama de flujo*. Para visualizar los posibles flujos de trabajo de las soluciones propuestas.
- *Kano model*. Para identificar características que pueden sorprender y encantar a los clientes.

Por ejemplo, el equipo genera ideas para mejorar la comunicación entre los departamentos de logística y producción. Para ello, usan el *brainstorming* para proponer soluciones como la implementación de un sistema de gestión de pedidos en línea y la realización de reuniones regulares entre los equipos.

Validación estratégica (Validate)

En esta etapa, las soluciones generadas se evalúan en términos de viabilidad y alineación estratégica. Las herramientas y enfoques utilizados son los siguientes:

- *Matriz de impacto-esfuerzo*. Para evaluar la factibilidad y el impacto potencial de cada solución.

- *Análisis FODA*. Para identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas asociadas a cada solución.
- *Modelos predictivos* (inteligencia artificial [IA]). Para predecir el impacto financiero de cada solución a través de IA.

Por ejemplo, al utilizar la matriz de impacto-esfuerzo, el equipo evalúa la implementación de un sistema de gestión de pedidos en línea. Entonces, determinan si es una solución viable con un alto impacto en la mejora de la comunicación y la eficiencia.

Ejecución inteligente (Execute)

En esta etapa, se implementan las soluciones seleccionadas. La automatización y la tecnología avanzada son elementos clave.

- *Automatización robótica de procesos (RPA)*. Para automatizar tareas repetitivas y liberar recursos humanos.
- *Sistemas de control de procesos*. Para mantener el nuevo proceso en funcionamiento sin desviaciones significativas.

Por ejemplo, para implementar el sistema de gestión de pedidos en línea, se utiliza RPA para automatizar la transferencia de información entre logística y producción. Los sistemas de control de procesos aseguran que el flujo de trabajo se mantenga sin problemas.

Monitorización adaptativa (Adapt)

En esta etapa, la inteligencia artificial desempeña un papel importante en la monitorización en tiempo real y la adaptación continua.

- *Sensores Avanzados*. Para capturar datos en tiempo real sobre el proceso.
- *Análisis de datos en tiempo real (IA)*. Para detectar anomalías y desviaciones y ajustar automáticamente los parámetros.

Por ejemplo, los sensores avanzados monitorean el flujo de pedidos en tiempo real. La IA analiza los datos y detecta una disminución en el rendimiento. Ajusta automáticamente la asignación de recursos para optimizar el flujo.

Fomento de la cultura innovadora (Innovate)

A lo largo del proceso, se promueve una cultura de innovación constante.

- *Eventos Kaizen*. Para involucrar a los empleados en la mejora continua.
- *Hoshin kanri*. Para alinear los objetivos de mejora con la estrategia general de la organización.

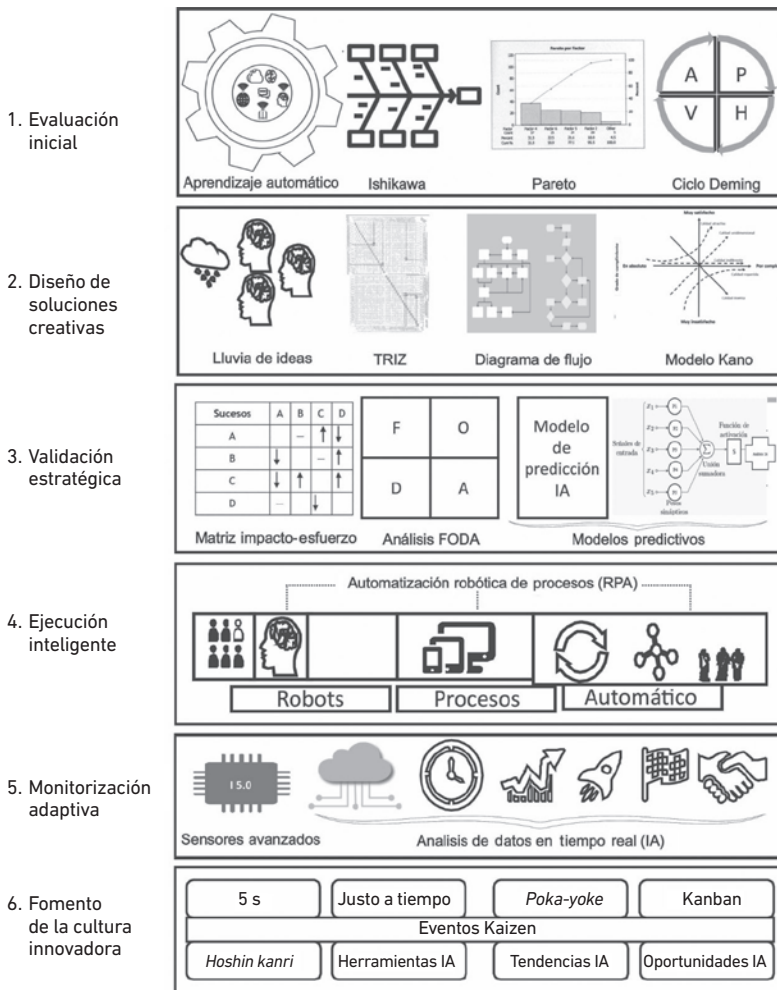
- *Herramientas de recopilación de ideas (IA)*. Se utiliza IA para identificar tendencias emergentes y oportunidades de mejora.

Por ejemplo, se organizan eventos Kaizen en los que los empleados de diferentes departamentos colaboran para identificar posibles mejoras en los procesos. La IA analiza el flujo de datos de estas sesiones para detectar patrones y sugerir áreas de enfoque adicionales.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos después de la revisión bibliométrica y el desarrollo de esta investigación en la Figura 2.

Figura 2

Modelo CidMont para su implementación en el ciclo planificar-hacer-verificar-actuar y su relación con los puntos auditables de la ISO 9001:2015



La Figura 2 representa el modelo CidMont. Este es un enfoque estructurado y completo para abordar la resolución de problemas y la mejora continua en organizaciones que implementan la norma ISO 9001:2015. Este modelo se adapta a las competencias digitales y tecnologías disruptivas que se esperan en el año 2023. Consiste en seis fases claramente definidas, cada una con sus objetivos y herramientas específicas.

Si bien esta caracterización de la norma ISO 9001:2015 se centra en la mejora continua para su implementación en organizaciones en general, es fundamental reconocer la creciente importancia de la inteligencia artificial en este proceso. En la actualidad, las organizaciones con capacidades de inteligencia artificial están experimentando un beneficio adicional al aplicar estas tecnologías en la gestión de calidad. La inteligencia artificial puede optimizar la detección de desviaciones, mejorar la automatización de procesos y proporcionar análisis de datos en tiempo real para respaldar la toma de decisiones informadas en el cumplimiento de los requisitos de la norma. Para las organizaciones que buscan un enfoque avanzado en la implementación de la norma ISO 9001:2015, la integración de la inteligencia artificial puede representar una ventaja competitiva significativa. Sin embargo, es importante destacar que la adopción de estas tecnologías debe ir acompañada de un enfoque estratégico y la capacitación adecuada para maximizar sus beneficios.

Respecto a la correlación e incidencia de la inteligencia artificial en las organizaciones en el contexto de esta caracterización de la norma ISO 9001:2015, es importante destacar que, si bien el enfoque principal de este estudio se centró en la norma ISO 9001:2015 y su implementación en organizaciones en general, la influencia y adopción de la inteligencia artificial en este proceso puede variar significativamente según el nivel de madurez tecnológica y las necesidades específicas de cada organización. La implementación de la inteligencia artificial en el marco de la norma ISO 9001:2015 puede manifestarse en diversas etapas, desde la automatización de tareas rutinarias hasta la aplicación avanzada de algoritmos de aprendizaje automático para el análisis de datos y la toma de decisiones.

En este artículo, no se profundiza específicamente en el nivel detallado de implementación de la inteligencia artificial en cada organización, ya que esto puede variar ampliamente y requerir un análisis individualizado. En cambio, nos enfocamos en proporcionar una visión general de cómo las herramientas de mejora continua, tradicionales y modernas, pueden ser aplicadas en el contexto de la norma ISO 9001:2015.

Se identifica la necesidad de investigaciones adicionales y análisis específicos para estudiar más a fondo la relación entre la inteligencia artificial y la implementación de la norma en organizaciones específicas. Cada organización puede abordar la implementación de la inteligencia artificial de manera diferente para adaptarla según sus necesidades y objetivos particulares en el cumplimiento de los requisitos de calidad.

4. CONCLUSIONES

Tras realizar una exhaustiva revisión de la literatura, se concluye que existen numerosos artículos que abordan solo una pequeña parte de la norma ISO 9001:2015. En vista de esta situación, se decidió ampliar el alcance de esta investigación con el objetivo de desarrollar una propuesta que sirva como guía metodológica para orientar a las organizaciones que deseen certificarse en esta norma con miras a lograr la mejora continua de sus procesos.

Las herramientas y métodos propuestos en este estudio proporcionan una base sólida para abordar los puntos auditables y apartados, sección, subsección, inciso y numeral de la norma. Sin embargo, es importante destacar que se requiere la generación de documentos específicos basados en las recomendaciones propuestas en esta investigación, para que las organizaciones estén en condiciones de obtener la certificación.

En consecuencia, se recomienda a las organizaciones interesadas en certificarse en la norma ISO 9001:2015 que utilicen la propuesta metodológica desarrollada en este estudio como una guía para implementar y mejorar sus sistemas de gestión de calidad. Es fundamental que se generen los documentos necesarios y se apliquen los métodos propuestos para cumplir con los requisitos de la norma.

Como trabajo futuro, se sugiere llevar a cabo estudios empíricos para evaluar la efectividad de la propuesta metodológica en diferentes organizaciones y sectores industriales. Además, se podrían explorar nuevas herramientas y métodos que complementen y enriquezcan la propuesta existente, con el objetivo de brindar un mayor apoyo a las organizaciones en su camino hacia la certificación y la mejora continua de sus procesos.

Este estudio ha proporcionado una propuesta metodológica sólida para abordar los puntos auditables de la norma ISO 9001:2015 y se ofrece una guía práctica y orientativa para las organizaciones interesadas en obtener la certificación y lograr la mejora continua en su gestión de calidad.

5. REFERENCIAS

- Alfonso Robaina, D., Villazón Gómez, A., Milanes Amador, P. E., Rodríguez González, A., & Espín Alonso, R. (2011). Procedimiento general de rediseño organizacional para mejorar el enfoque a procesos. *Ingeniería Industrial*, 32(3), 238-248. <https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/355>
- Álvarez, J. (2012). Grado de utilización de las herramientas de calidad en el sector de alojamiento turístico español. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 10(5), 495-510. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2012.10.065>

- Andrés, J. (2021). *Implementación de herramientas y métodos para la mejora continua en los procesos del área de clientes y proyectos mediante el convenio entre ZTE Colombia SAS y la UDFJC* [Tesis de licenciatura, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas]. Repositorio Institucional RIUD. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/11349/28251>
- Brito, C., Pitre, R., & Cardona, D. (2020). Clima organizacional y su influencia en el desempeño del personal en una empresa de servicio. *Información Tecnológica*, 31(1), 141-148. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642020000100141>
- Bueno Quimis, J. A. (2018). *Identificación de peligros y evaluación de riesgos mediante la matriz Iper en la empresa de confecciones Alpha y Omega* [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36636>
- Cabanillas, C., Resinas, M., & Ruiz-Cortés, A. (2012). Automated resource assignment in BPMN models using RACI matrices. En R. Meersman, H. Panetto, T. Dillon, S. Rinderle-Ma, P. Dadam, X. Zhou, S. Pearson, A. Ferscha, S. Bergamaschi & I. Cruz (Eds.), *On the move to meaningful internet systems: OTM 2012* (pp. 56-73). https://doi.org/10.1007/978-3-642-33606-5_5
- Castillo, L. (2019). *El modelo Deming (PHVA) como estrategia competitiva para realzar el potencial administrativo* [Tesis de licenciatura, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <http://hdl.handle.net/10654/34875>
- Cruz, F. L., López, A. del P., & Ruiz, C. (2017). Sistema de gestión ISO 9001-2015: técnicas y herramientas de ingeniería de calidad para su implementación. *Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 17(1), 59-69. <https://doi.org/10.19053/1900771x.v17.n1.2017.5306>
- De Sousa, G. C., & Castañeda, J. A. (2022). PESTEL analysis and the macro-environmental factors that influence the development of the electric and hybrid vehicles industry in Brazil. *Case Studies on Transport Policy*, 10(1), 686-699. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.01.030>
- Fernandes, J. P. (2019). Developing viable, adjustable strategies for planning and management. A methodological approach. *Land Use Policy*, 82, 563-572. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.044>
- Galvez, C. A., & Solorzano, K. J. (2022). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo, ABC, codificación, sistema kanban, AMFE y pronósticos para reducir costos en la empresa metalmeccánica ingenieros en acción S. R. L.* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. <https://hdl.handle.net/11537/31651>

- Gueorguiev, T. (2018). Improving the internal auditing procedure by using SIPOC diagrams. *Journal of Innovations and Sustainability*, 4(2), 35-43. <https://doi.org/10.51599/ is.2018.04.02.35>
- Gunduz, M. A., Demir, S., & Paksoy, T. (2021). Matching functions of supply chain management with smart and sustainable tools: a novel hybrid BWM-QFD based method. *Computers & Industrial Engineering*, 162. <https://doi.org/10.1016/j. cie.2021.107676>
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2020). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.) McGraw Hill Education. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hernández, G. (2016a, 4 de septiembre). *La ISO 9001:2015 punto por punto: capítulo 5. Calidad y ADR*. <https://aprendiendocalidadyadr.com/la-iso-90012015-capitulo-5-liderazgo/>
- Hernández, G. (2016b, 11 de septiembre). *La ISO 9001:2015 punto por punto: capítulo 6. Calidad y ADR*. <https://aprendiendocalidadyadr.com/la-iso-90012015-capitulo-6/>
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015. Quality management systems. Requirements*. <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- International Organization for Standardization. (2022). *ISO 9001:2015(es). Sistemas de gestión de calidad. Requisitos*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
- Jiménez, D. (2020). *Conoce a fondo la norma ISO 9001:2015. Guía de interpretación y aplicación*. Pymes y Calidad 2.0. <https://www.pymesycalidad20.com/conoce-a-fondo-iso-9001-2015-guia-de-interpretacion>
- Montesinos González, S., Vázquez Cid de León, C., Maya Espinoza, I., & Gracida Gracida, E. B. (2020). Mejora continua en una empresa en México: estudio desde el ciclo Deming. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(92), 1863-1883. <http://dx.doi.org/10.37960/rvg.v25i92.34301>
- Papić, L., Gadolina, I. V., Panteli, M., & Papić, N. (2019). Solving the problem of mining machine accidents using the Toyota A3 Report. *Reliability*, 19(4), 32-44. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-4-32-44>
- Por, G., & Sotorrió. (2022). *Las normas como herramienta de calidad*. Lactulose. https://www.researchgate.net/publication/268418282_LAS_NORMAS_COMO_HERRAMIENTA_DE_CALIDAD
- Quintero-Beltrán, L., & Osorio-Morales, L. (2018). Balanced Scorecard como herramienta para empresas en estado de crisis. *Revista CEA*, 4(8), 75-94. <https://doi.org/10.22430/24223182.1049>

- Quiroga, J. C., & Mojica, W. G. (2022). Herramienta para la medición del desempeño de los requisitos del SGC, considerando criterios normativos ISO. *Signos. Investigación en Sistemas de Gestión*, 14(1). <https://doi.org/10.15332/24631140.7481>
- Suárez, M. S., Álvarez, M. T., & Vásquez, M. del C. (2020). La gestión de cambio organizacional: variables asociadas para una implementación exitosa. *Ciencia, Economía y Negocios*, 4(1), 69-83. <https://doi.org/10.22206/ceyn.2020.v4i1.pp69-83>
- Talamantes-Valenciana, A., & Rodríguez Picón, L. (2020). Implementación de diagramas de tortuga para el cumplimiento de la norma ISO 9001:2015 / TL 9000:2016. *Mundo FESC*, 10(19), 40-54. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.507>
- Thompson, I., Pech, R., Oh, K. B., & Marjoribanks, T. (2016). An assessment of delivery changes for UK terminal air navigation services. *Journal of Air Transport Management*, 57, 155-167. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.07.016>
- Toro, R. (2020, 30 de junio). *Metodología de las 8D para la resolución de problemas ¿La conoces?* Grupo ESGInnova. <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2020/06/metodologia-de-las-8d-para-la-resolucion-de-problemas-la-conoces/>

SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE OF GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN THE FOOD PACKAGING INDUSTRY*

RENZO ERNESTO CHUMPITASI ORTIGAS

<https://orcid.org/0000-0003-1921-1388>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

VALERIA GONZALES CAMPANA**

<https://orcid.org/0000-0003-3329-0342>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 18 de agosto del 2023 / Aceptado: 26 de septiembre del 2023

doi: <https://10.26439/ing.ind2023.n45.6599>

ABSTRACT. The awareness of green supply chain management (GSCM) has grown in the past year, particularly in the food packaging industry, due to population growth and its environmental impact. To explore this, we studied global perspectives on and contributions to GSCM, aiming to apply insights to developing countries. Our research revealed three main barriers hindering GSCM adoption in emerging economies: limited knowledge, inadequate technology, and high costs. By examining several authors' viewpoints, we created a timeline showcasing GSCM's evolution, enabling targeted improvements within the food packaging industry. Through this analysis, our paper not only reaffirms its initial objectives but also provides a foundation of tools and information for future GSCM research. This work contributes to the understanding of GSCM's benefits and challenges, facilitating sustainable practices in a vital industry.

KEYWORDS: green supply chain management / supply chain / food industry / packaging and sustainability

* Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

** Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: 20190492@aloe.ulima.edu.pe; 20183967@aloe.ulima.edu.pe

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA SOBRE GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO VERDE EN LA INDUSTRIA DEL ENVASADO DE ALIMENTOS

RESUMEN. La concienciación sobre la gestión de la cadena de suministro verde (GCSV) ha crecido en el último año, especialmente en la industria del envasado de alimentos, debido al incremento de la población mundial y su impacto medioambiental. Para explorar esta cuestión, se estudiaron las perspectivas y las contribuciones mundiales a la GCSV, con el objetivo de aplicarlas a los países en vías de desarrollo. El presente artículo revela tres barreras principales que dificultan la adopción de la GCSV en las economías emergentes: conocimientos limitados, tecnología inadecuada y costes elevados. Examinando los puntos de vista de varios autores, construimos una línea de tiempo que muestra la evolución de la GCSV, la cual permite mejoras específicas dentro de la industria del envasado de alimentos. Gracias a este análisis, el artículo no solo reafirma sus objetivos iniciales, sino que también proporciona una base de herramientas e información para futuras investigaciones sobre GCSV. Este trabajo contribuye a la comprensión de los beneficios y retos de la GCSV, lo que facilita prácticas sostenibles en una industria vital.

PALABRAS CLAVE: gestión de la cadena de suministro verde / cadena de suministro / industria alimentaria / envasado y sostenibilidad

1. INTRODUCTION

A supply chain is defined as a system of activities related to the design, coordination, and control of materials and finished products, among others (Lazar et al., 2021). In the last decade, environmental awareness has increased due to the harmful consequences of pollution. Thus, manufacturing companies have tried to implement eco-friendly activities, particularly in the supply chain. Supply chain management is a recurrent concern, escalating to new ways of achieving supply and demand fulfillment in a cost-effective way (Kumar et al., 2018). A good supply chain management becomes a key factor for business management and generates a competitive advantage (Petljak, 2019). However, supply chains have the greatest impact on the environment. The integration of sustainability principles in the supply chain is a key issue that affects corporate competitiveness in the current socioeconomic and environmental context (Batista et al., 2019).

The supply chain has become a component that influences customers' decisions because they are more aware of the importance of incorporating social responsibility in business management (Saidi et al., 2020). That is why price no longer has the relevance it used to have; at present, innovation, sustainability, and product optimization have a significant weight in customer decisions (Leu et al., 2021).

This is how the concept of green supply chain management or GSCM was born, in the way of implementing environmental thinking within logistics processes (Yildiz Çankaya & Sezen, 2019). This can be defined as the process that uses eco-friendly inputs or materials and converts them into green products that can be recovered and reused after their life cycle, creating eco-friendly supply chains (Rahman et al., 2020). At a time when consumers demand more sustainable businesses, companies are trying to gain a competitive advantage by implementing green practices (Jayant & Azhar, 2014). In the report published by Statista Research Department (2016), 33 % of consumers in the US consider that the use of an eco-friendly package is a must and 19 % are proud of using them. The implementation of GSCM involves all stages of the production process, from initial operations to end consumers (Yildiz Çankaya & Sezen, 2019).

Sustainable supply chain management has increased its importance and the knowledge in the field follows the same trend (Saidi et al., 2020). GSCM becomes the most successful sustainability practice for every industry (Khan et al., 2022).

GSCM is an improvement strategy or policy that integrates environmental concerns with supply chain management practices (Ososanmi et al., 2022) and has five dimensions: green purchasing, eco-design, customer cooperation with environmental concerns, and reverse logistics (Liu et al., 2020). However, while GSCM has so far been researched for environmental practices, there is no comprehensive approach as well as some discrepancies between the terminology and differences in the understanding of GSCM and its purpose in the available literature (Petljak, 2019). Although there is an extensive

literature, there are no articles that provide guidelines to put GSCM into practice (Assumpção et al., 2019).

From different industries, the ecological impact of packaging waste is a global problem that has become a matter of discussion in both the public and scientific spheres (Obersteiner et al., 2021). In 2019, 31,02 % of plastic was used in the packaging industry. Furthermore, by 2027, it is estimated that the plastic market size will increase to 385,5 million dollars according to Statista Research Department (2016). Thus, in the search for sustainable solutions to the increasing environmental pollution, we found that the amount of packaging waste is significant: 40 % of plastics are petroleum-based, and half of them come exclusively from the food packaging industry (Kleine Jäger & Piscicelli, 2021). In the same way, other authors point out that there is a growing trend in the global food industry, and that 37 % of plastics are used by the packaging industry (Farrukh et al., 2022). Based on the population growth, it is expected that the consumption of plastics and particularly of packaged foods will increase. Thus, packaged food supply chain has become relevant. This consists of all activities, organizations, actors, technologies, information, resources, and services that are related to food production until it reaches end consumers (Angarita-Zapata et al., 2021).

Only in the United States food industry is responsible for 20 % to 30 % of environmental damage (Simms et al., 2020). In 2017, approximately 30 kg of plastic packaging waste was generated per inhabitant per year in Europe (Geueke et al., 2018). Moreover, it has been observed that 95% of packaging is discarded after a first use (Kleine Jäger & Piscicelli, 2021). By the end of 2021, only 6,5 % of plastic was recycled. Therefore, sustainable packaging is a necessity to provide greater product innovation and competitiveness (Mattia et al., 2021). Based on the above, it is evident the need for solutions to the current problems to successfully implement GSCM in the food packaging industry.

As a result, this question was posed: What is the impact of the implementation of GSCM in the food packaging industry in developing countries? Therefore, the general objective was to determine the progress of GSCM in the food packaging industry, and the specific objectives were as follows:

- Identify the most relevant barriers to green supply chain adoption in developing countries.
- Analyze the different definitions of GSCM over time.
- List the different tools that have been developed in GSCM as well as their objectives.
- Synthesize the results of different studies of GSCM over the last decade.
- Determine the possible factors for improving the food packaging industry within the green supply chain.

2. METHODOLOGY

The method used in this research was a systematic scientific literature review, which allowed us to research different authors, gather their contributions, and analyze them in order to obtain new knowledge. Thus, different databases—Proquest, Scopus, and Web of Science—were used to answer the research question “What is the impact of the implementation of GSCM in the food packaging industry in developing countries?”.

Some keywords were used to guide the search in these databases, conduct the research and obtain specific results related to the topic and research question. These words were *sustainability, supply chain, food packaging, and green supply chain management*.

It should be noted that a certain combination of words was used to have accurate results, so keywords and Boolean operators were used.

Similarly, temporality as well as other criteria were considered as inclusion and exclusion criteria:

- **Temporality:** To ensure that the studies to be reviewed were the most recent ones, a filter to exclude all those articles older than five years was used, i.e., only papers from 2017 to the present were considered.
- **Access:** To have access, the Open Access option had to be set.
- **Type of document:** Only scientific articles were chosen.
- **Language:** Only papers in English and Spanish were used.
- **Subject:** Once all the abovementioned filters were established, there was only one left: To delimit the articles related to the research topic and question, we selected all the articles that had similarities with what was intended to be asked.

Based on an exhaustive search of articles and applying the inclusion and exclusion criteria, several tables were designed to better analyze the selected articles. Consequently, different characteristics were evaluated, including the years of publication, the database from which they were extracted, and the number of citations.

This review consists of publications from 2017 to 2022. Most of the selected articles were published in 2021, accounting for 34,08 % of the total. Thus, we have a wide range of recent articles with the latest knowledge and advances in GSCM. Moreover, there is a significant number of articles on the topic published in 2022, so it is a good indicator that knowledge of the subject continues to grow.

As mentioned before, the databases used in the research were Proquest, Scopus, and Web of Science. Relevant information can be found in Table 1. It is evident that Web of Science was the database with the least number of articles (30,23 %). The sources retrieved from each database were analyzed and duplicate sources were removed.

Table 1

Percentage of Extracted Articles with Respect to the Filtered Database

Database	Total	Percentage
Proquest	15	34,88 %
Scopus	15	34,88 %
Web of Science	13	30,23 %
Total	43	100,00 %

Finally, the number of times the article has been cited was considered. For the analysis of this point, ranges were used to better identify the analysis. Articles were grouped according to the number of times they were cited: a maximum of 20, between 20 and 40, and more than 40. Table 2 shows that most of the articles do not exceed 20 citations. They account for 55,81 % of the total number of articles. However, there are four articles that have been cited more than 40 times: they are considered the most important to analyze in this research.

Table 2

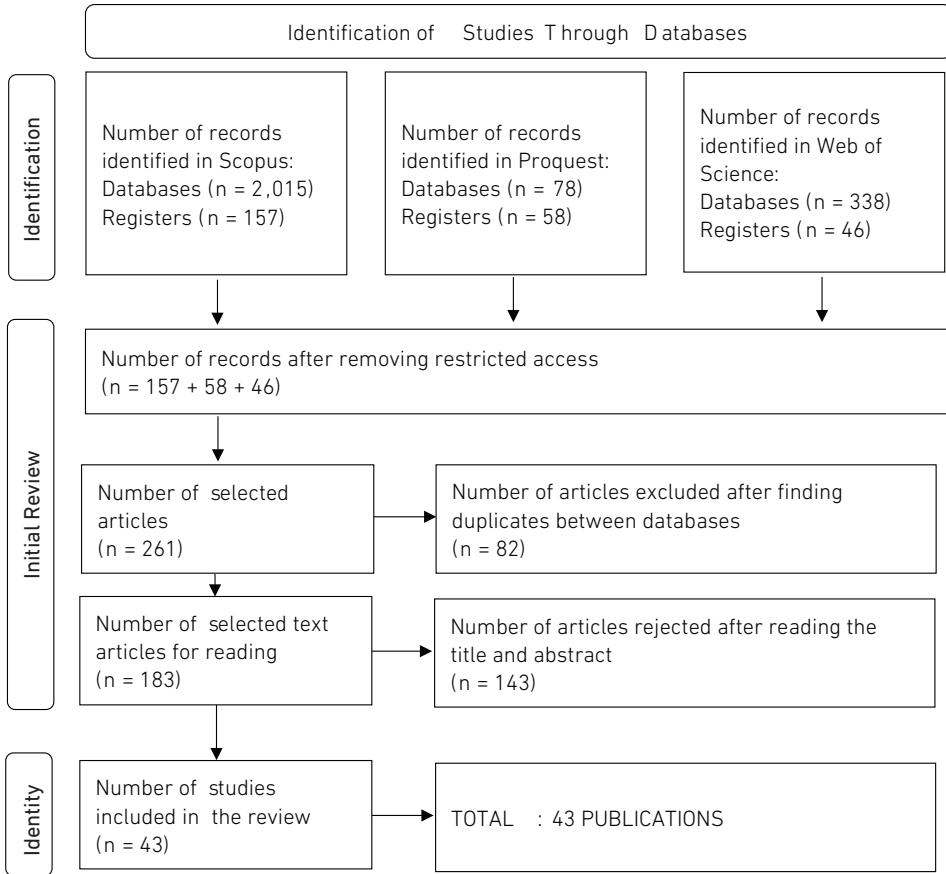
Percentage of Extracted Articles with Respect to the Filtered Citations

Number of times cited	Number of items	Percentage
1 to 20	24	55,81 %
20 to 40	15	34,88 %
40 and more	4	9,30 %
Total	43	100,00 %

Using this information, the following scheme was developed to determine the number of articles that were analyzed and will be used for a subsequent research plan.

Figure 1

PRISMA Flow Diagram



3. RESULTS AND DISCUSSION

After reading the scientific literature retrieved and shown in the PRISMA flow diagram, a detailed analysis of GSCM and food packaging industry was carried out. From this reading and analysis, it was possible to determine the points shared by the authors, which will be highlighted in the following pages.

In many industries there are different barriers to the adoption of GSCM, particularly in the manufacturing industry. These barriers increase in developing countries and start from the company's resistance to the adoption of green technologies and the lack of information about them. More barriers were identified as shown in Table 3.

It was also possible to identify the tools used by various authors. The purpose of this was to gather more information, both qualitative and quantitative, on the perspective of workers and employers regarding the adoption of GSCM. With these contributions and an analysis of the evolution of the term GSCM, we were able to create a timeline, which is shown from Figure 2 to Figure 5.

Finally, we considered making a summary table of the contributions in GSCM from 2012 to 2021, as well as the factors that the food packaging industry must improve.

Table 3

Summary of GSCM Barriers

Barrier	Description	Author
Lack of collaboration between government and environmental institutions	Weak relationships between business and government hinder an effective green process. Therefore, collaboration is essential for the adoption of green innovation.	Assumpção et al., 2019; Kumar et al., 2018; Laari et al., 2018; Liu et al., 2020; Movahedipour et al., 2017; Ososanmi et al., 2022; Saeed et al., 2018; Tundys & Wiśniewski, 2018; Ullah et al., 2021.
Uncertainty about the effectiveness of green innovation	Green innovation is risky in terms of uncertainty about return prospects.	Aslam et al., 2018; Saidi et al., 2020; Ullah et al., 2021.
Fear of failure about green innovation	Critical factor due to not knowing what the effect will be both for the market and for their own production processes.	Movahedipour et al., 2017; Rahman et al., 2020; Simms et al., 2020; Ullah et al., 2021; Vernier et al., 2021; Waqas et al., 2018.
Lack of new technology	The degree of technological information to understand green innovation is at a high level, but companies give little information due to sustainability constraints.	Assumpção et al., 2019; Clark et al., 2019; Farrukh et al., 2022; Hebaz & Oulfarsi, 2021; Movahedipour et al., 2017; Rahman et al., 2020; Simms et al., 2020; Ullah et al., 2021; Waqas et al., 2018.
Lack of market information	Green innovation requires certain information to successfully adopt eco-practices in the marketplace.	Assumpção et al., 2019; Batista et al., 2019; Clark et al., 2019; Farrukh et al., 2022; Hebaz & Oulfarsi, 2021; Jum'a et al., 2022; Movahedipour et al., 2017; Rahman et al., 2020; Simms et al., 2020; Ullah et al., 2021; Waqas et al., 2018; Yadav et al., 2021.

(continúa)

(continuación)

Barrier	Description	Author
High cost of implementing a green innovation system	High costs associated with manufacturing green products make it difficult to adopt green practices.	Aslam et al., 2018; Assumpção et al., 2019; Hebaz & Oulfarsi, 2021; Jum'a et al., 2022; Khan et al., 2022; Laari et al., 2018; Li & Zhu, 2020; Movahedipour et al., 2017; Rahman et al., 2020; Saidi et al., 2020; Santos et al., 2019; Simms et al., 2020; Tundys & Wiśniewski, 2018; Ullah et al., 2021; Vernier et al., 2021; Wang et al., 2021; Waqas et al., 2018.
Keeping suppliers aware of environmental impact	Industries are not able to keep suppliers informed of the necessary environmental policies.	Cristóbal et al., 2018; Kumar et al., 2018; Movahedipour et al., 2017; Ullah et al., 2021; Waqas et al., 2018.
Uncertainty in demand for green innovative products	Demand for green products is uncertain due to high costs and returns, so companies are hesitant to produce them.	Cristóbal et al., 2018; Kumar et al., 2018; Movahedipour et al., 2017; Ullah et al., 2021; Waqas et al., 2018.
Lack of rules and regulations for green practices	Unclear rules, poor enforcement of environmental laws and regulations that do not bind companies to follow environmental regulations.	Aslam et al., 2018; Cristóbal et al., 2018; Liseć et al., 2017; Movahedipour et al., 2017; Rahman et al., 2020; Simms et al., 2020; Ullah et al., 2021; Waqas et al., 2018.
Barriers in business practices	Lack of management in green practices, misperception about green innovation and technology initiatives.	Cristóbal et al., 2018; Hebaz & Oulfarsi, 2021; Jum'a et al., 2022; Khan et al., 2022; Kumar et al., 2018; Laari et al., 2018; Leu et al., 2021; Liu et al., 2020; Mattia et al., 2021; Movahedipour et al., 2017; Saeed et al., 2018; Ullah et al., 2021; Waqas et al., 2018.
Lack of training and seminars related to green innovation	Lack of training programs and insufficient workforces due to the lack of motivation on the part of workers and employers to carry out green activities.	Hebaz & Oulfarsi, 2021; Kumar et al., 2018; Movahedipour et al., 2017; Santos et al., 2019; Ullah et al., 2021; Waqas et al., 2018.
Lack of knowledge related to green innovation and practices	Lack of knowledge and awareness blocks the innovation process.	Angarita-Zapata et al., 2021; Assumpção et al., 2019; Cristóbal et al., 2018; Hebaz & Oulfarsi, 2021; Kleine Jäger & Piscicelli, 2021; Kumar et al., 2018; Movahedipour et al., 2017; Petljak, 2019; Petljak et al., 2018; Rahman et al., 2020; Saeed et al., 2018; Saidi et al., 2020; Simms et al., 2020; Tundys & Wiśniewski, 2018; Tunj et al., 2018; Ullah et al., 2021; Waqas et al., 2018.

Thus, we can determine that the three main barriers to the implementation of GSCM in the food packaging industry are: lack of knowledge related to green innovation and practices, lack of new technology, and high cost of implementing a green innovation system. The first barrier is reinforced by 17 authors who, based on their research works, determined that the lack of knowledge and awareness of innovative processes inhibits companies from adopting GSCM practices. The second barrier, lack of new technology, is supported by the resistance of companies to adopt innovative processes and machines. In addition, this barrier refers to the fact that in developing countries, technology in industrial processes sometimes does not reach the country. Finally, the high cost of implementing a green innovation system, depending on the industry, may require high investment. In the case of developing countries, importing technologies and getting advice imply additional costs.

Our analysis showed that the barriers are not mutually exclusive but rather correlated. As Saidi et al. (2020) point out, the first challenge is to be efficient. This requires cost control and the certainty that the product will not be rejected by the market. On the other hand, it is also mentioned how the perception of the companies is not clear. Improving the barrier related to suppliers could also increase the good perception about these practices (Petljak, 2019).

However, while some authors argue that GSCM does not receive support from the government or other institutions because of resistance to change (Kumar et al., 2018), there is evidence in the literature that the aforementioned support exists and even better results are required without providing enough tools and legal or financial resources (Assumpção et al., 2019).

Table 4

Summary of the Results of Different Studies Based on the Adoption of GSCM

Year	Contributions
2012	Factor analysis and multiple linear regressions prove that GSCM internal and external factors must be coordinated to increase performance. External factors include the relationship between suppliers and customers through the implementation of reverse logistics and green purchasing, while internal factors refer to an eco-design contemplating energy and materials in the process.
2014	A correlation was found between internal environmental management practices, eco-design and return on investment, and technological innovation. However, no relationship was found between green purchasing, customer cooperation, and technological innovation.
2016	The most effective way to evaluate supply chain management performance is through green design, logistics, and green transformation.
2016	The most important component for the implementation of GSCM processes is green procurement, followed by green transportation and green manufacturing.

(continúa)

(continuación)

Year	Contributions
2018	There is a relationship between organizational learning mechanisms, organizational support, and the use of control variables in GSCM (organizational size, country perspective, firm's cost pressure, and industry practices at various levels).
2018	Using GSCM practices reduces environmental pollution and operating costs, but it does not increase the organization's flexibility.
2021	There is a positive effect of partial meditation of operational performance between GSCM, environment, and financial performance, as well as an effect of external pressure on the relationship between GSCM and operational success.
2021	GSCM methods mitigate the impact of Industry 4.0 in both its economic and environmental consequences.

Table 4 shows the results of different studies on the adoption of GSCM. Research conducted in 2012 and 2014 referred to the need of taking into account internal and external factors for a complete implementation of GSCM. Research conducted in 2018 determined that GSCM practices reduce environmental pollution and operating costs and increase the organization's flexibility. Finally, in 2021, the literature reviewed operational success, as well as the positive effect on external pressure, to reduce the environmental effects linked with GSCM.

Table 5*Tools and Objectives for the Development of Supply Chain Strategies*

Tool	Objectives for Strategy Development Within the Supply Chain	Authors
Qualtrics application (software for data distribution and processing)	From a production point of view, it will be shown how the adoption of green practices with suppliers impacts performance.	Santos et al., 2019.
CFA and LPA	Attempt to analyze confidence in sustainability and business competitiveness aimed at finding a correlation between the practices of different companies.	Laari et al., 2018.
CFA	Evaluation of how to increase the sustainability of a company's internal supply chain processes.	Leu et al., 2021.
Co-design workshop sheets	Evaluation of consumer behavioral insights into food to go processes with the purpose of making it greener.	Clark et al., 2020.

(continúa)

(continuación)

Tool	Objectives for Strategy Development Within the Supply Chain	Authors
DM	Evaluation of the impact of enterprise resource planning for sustainable supply chain and future strategy development. Development of green supply chain strategies from a sustainable perspective, strategy, and emerging economies. Evaluation of supplier selection based on environmental factors for the technology industry. Evaluation of critical problems in the sustainable logistics chain and reverse logistics.	Waqas et al., 2018.
EBM and LTS(A,A,A) models	Implementation of the EBM and LTS models; attempt to predict the efficiency of packaging in the supply chain (done across 10 packaging companies).	Waqas et al., 2018.
Fuzzy VIKOR approach	Observation of the barriers to GSCM and managing to classify their importance to take an action plan.	Waqas et al., 2018.
LCA and programming	Plan for packaging waste to maximize the benefits of environmental prevention.	Waqas et al., 2018.
Various methods, including key performance indicator (KPI) analysis	Finding the relationship between green supply chain and the research questionnaire to find out the most frequently used methods and tools.	Wang et al., 2021.
MILP	Designing a distribution channel that offers fresh food online in a sustainable way.	Rahman et al., 2020.
Multi-criteria decision-making	Designing and implementing a method to create the package and layout of a product to enhance sustainability with the decision tool.	Cristóbal et al., 2018.
Principles of system theory in GF	Evaluation of the sustainability of processes in different industries to assess their greening factor.	Tundys & Wiśniewski, 2018.
Purposive sampling	Observing and analyzing green technologies to reduce waste.	Yadav et al., 2021.

Table 5 shows the tools used by different authors in their research and the objectives related to each of them. Several authors also used other not so common tools due to the objective of their studies. One example is Fuzzy VIKOR (Rahman et al., 2020), which is a combination of two tools: Fuzzy, to obtain the weight of the alternatives, and VIKOR, to evaluate the optimal alternative. Moreover, Laari et al. (2018), as the previous authors, apply a set of two tools to conduct their research, CFA and LPA, demonstrating the wide range of tools that can be used.

Figure 2
Timeline of the Evolution of GSCM (Part 1)

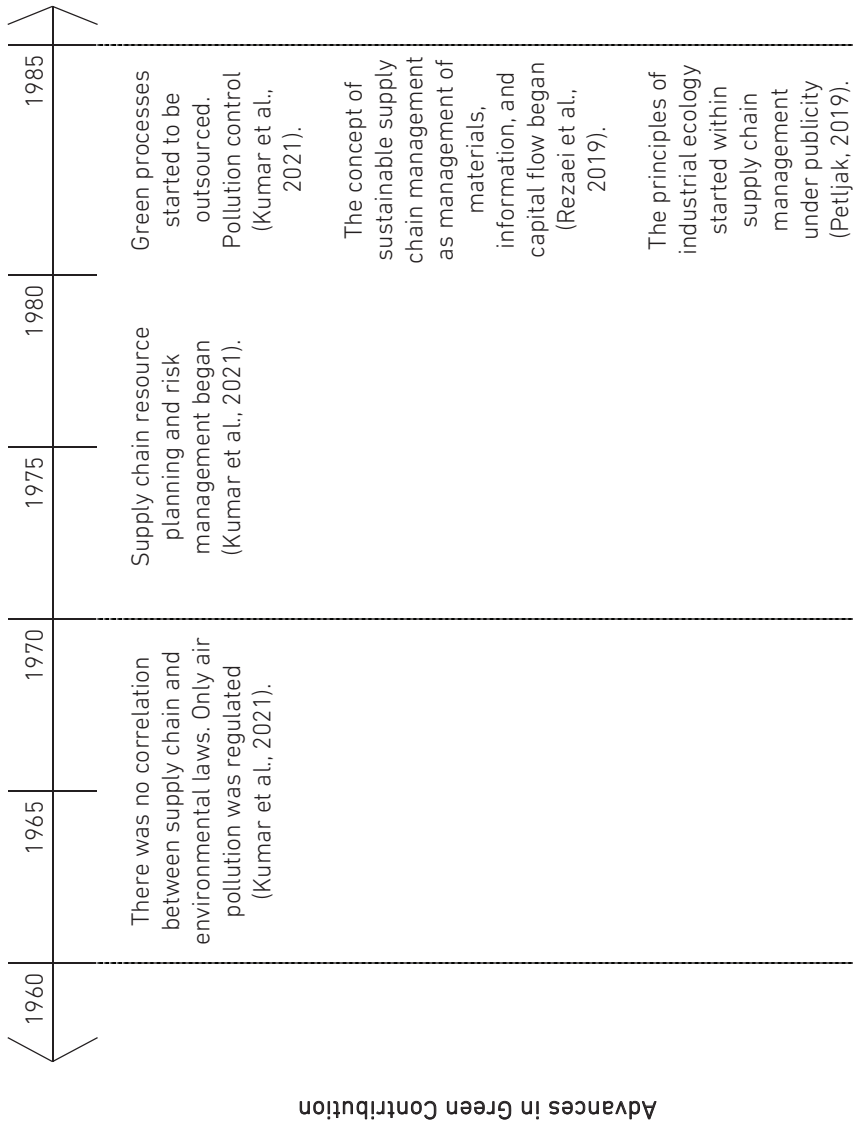


Figure 3

Timeline of the Evolution of GSCM (Part 2)

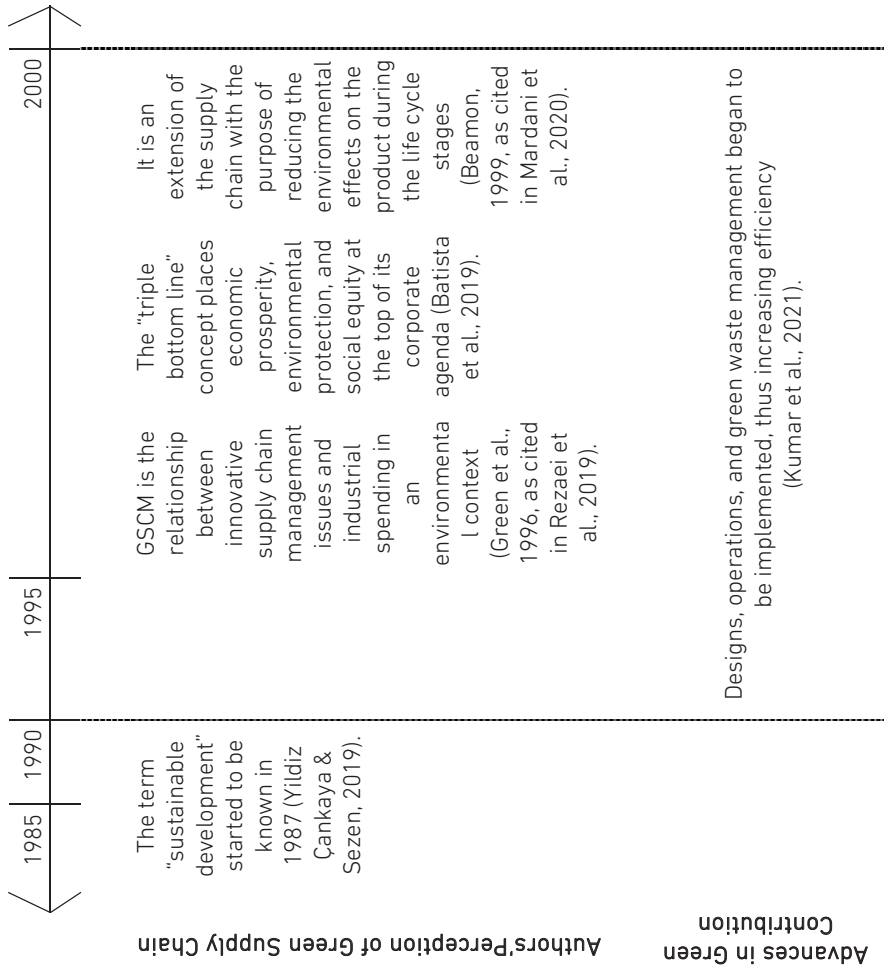


Figure 4
Timeline of the Evolution of GSCM (Part 3)

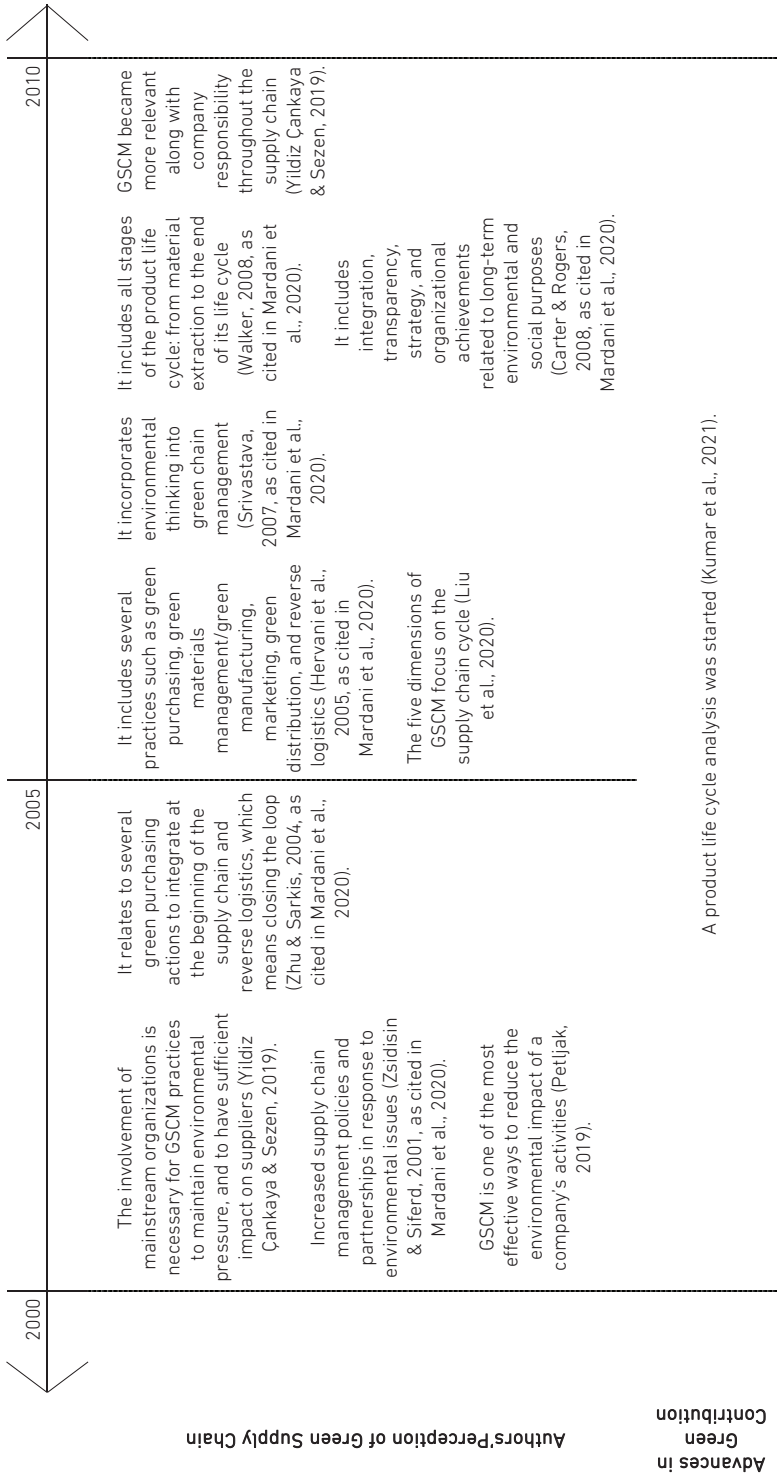
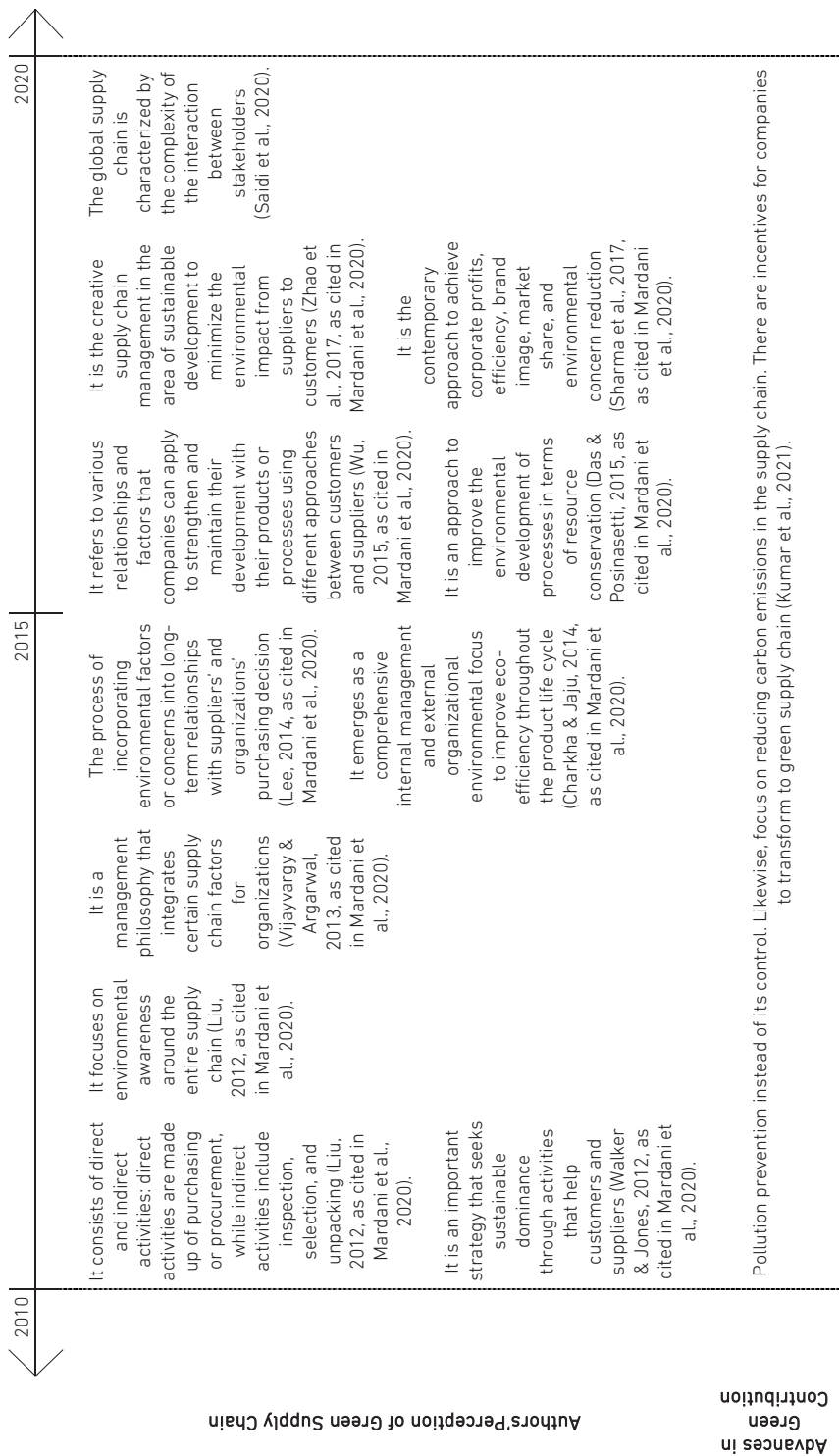


Figure 5
Timeline of the Evolution of GSCM (Part 4)



This timeline from Figure 2 to Figure 5 includes different authors' perception of GSCM and the advances in green contribution. This timeline starts in 1960, the year in which GSCM was first discussed, until 2020, the year in which the importance of stakeholders in the supply chain was emphasized. While the last contribution made in the past decade was pollution prevention instead of its control, the aim is not to control pollutants but to eliminate them from the beginning of the chain. In the same way, it can be observed that the closer the timeline came to the present, the more evidence and contributions from the authors with their knowledge of the subject.

Table 6

Factors to be Improved in Food Packaging

Green Food Packaging Approach	Source
Optimization of waste transfer.	Lisec et al., 2017.
Eco-technologies approach only in the primary logistic chain.	Simms et al., 2020.
Circular economy for waste collection.	Batista et al., 2019; Clark et al., 2019; Geueke et al., 2018; Mattia et al., 2021.
Improved communication to suppliers about related costs and green performance.	Li & Zhu, 2020; Mattia et al., 2021.

In Table 6, we can identify that both circular economy and improved communication are important factors for the development and enhancement of supply chain in the food packaging industry. This is because circular economy ranges from communication on the use and recycling methods of packaging to addressing the refurbishment, repair, or reuse of packaging. Therefore, improving the communication with suppliers will allow constant negotiations to reduce the cost and improve the quality of recycled packaging.

Different authors propose approaches to address the green supply chain in food packaging. However, scholars offer different solutions. On the one hand, authors who agree on a circular economy approach to solve the packaging waste problem do not fully agree on how to reach this goal. While Clark et al. (2019) propose symbiosis in the industry by applying vertical integration, Batista et al. (2019) believe that a possible solution is to support third-party actors. However, Geueke et al. (2018) propose that maintaining an adequate recycling and optimization of packaging material is adequate, but it may have future recycling problems in aluminum that can result in the accumulation of other metals. Mattia et al., 2021 state their position of maintaining the support between the actors to optimize the process and achieve innovation and better ways of recycling.

4. TRENDS AND FUTURE CHALLENGES

As shown by the current scenario and the timeline shown in the previous section, the supply chain strongly focuses on achieving synergy between suppliers and customers. This means that the commitment of both parties to the environmental factors will be essential in the future. Future trends will see supply chains aiming to use recycled material in their products' life cycle (Mattia et al., 2021). This means that packaging should be used as little as possible and reused as much as possible (Mattia et al., 2021).

Other authors argue that new areas—such as environmental purchasing, manufacturing, R&D, and distribution—will be of greater importance within GSCM planning (Tundys & Wiśniewski, 2018). It is worth noting that Laari et al. (2018) claim that a very important future advantage will be that those leaders who implemented GSCM from the beginning will find themselves at a competitive advantage by differentiating themselves from their competitors. This is because the green logistics trend will increase demand in the future and will be an important factor with benefits in the long term (Laari et al. 2018). All this—coupled with new trends such as the life cycle of the products—will take relevance, and the companies and their supply chains that best adapt will obtain benefits.

On the other hand, the future is not free of its own challenges since, as exemplified in the barriers, many of them are constant obstacles that are not solved with technological advances but with structural changes or modifications in the methodologies. Another future challenge is the standardization and correct definition of KPIs for GSCM so that they may be evaluated through different companies without confounding the factors to be assessed (Tundys & Wiśniewski, 2018). This means that, in the future, the various published research will need to focus on describing several KPIs to measure supply chain in terms of sustainable performance (Tundys & Wiśniewski, 2018). Similarly, Mattia et al. (2021) claim that one of the most complex goals to solve in the future is to reconcile technological and market advances with the shift towards sustainable packaging as a new form of consumer behavior.

5. CONCLUSIONS

As a result of the systematic literature review, we can determine that both the general objective and the specific objectives were achieved.

First, through the summary table of the academic articles used for this work, it was possible to establish not only the barriers to the implementation of GSCM but also to identify those that affect to a greater extent and are the most common within the food packaging industry, including high implementation cost, lack of knowledge, and lack of new technology. Therefore, strategies and possible solutions should be developed to facilitate the adoption of GSCM by companies.

Second, based on research conducted by different authors, a timeline from 1960 to the present day, which includes the different perspectives and contributions of various authors in the definition of GSCM, was created. This timeline also facilitated the understanding and evolution of the processes involved in GSCM in countries where the topic is more developed.

Third, a table summarizing the tools used by the different authors for their research and the objectives of each of them was made. Thus, it was possible to analyze the use of each of the tools according to the objective of the research. With this information, companies will be able to take strategic actions in GSCM within their organizations.

Moreover, it was possible to synthesize the different contributions from various research in GSCM per year. Thus, those results show the search for solutions and improvements, demonstrating that the literature is still interested in contributing to the subject.

Finally, we could also identify the possible factors for improving the supply chain of the food packaging industry. In this way, an essential part will consist in improving the communication with suppliers about costs and green performance. This is because—if good practices are applied from the beginning of the chain—the generation of additional costs and a bad image for stakeholders will be prevented.

However, our review focused on the main factors that may contribute to or restrict GSCM in developing countries. It was also limited to the food packaging industry because of its large volumes of waste. This research did not consider other industries and whether there is any difference or similarity related to the industry.

It is recommended to conduct future research in Latin America because there is little information on the situation in Latin American countries. Therefore, by analyzing the current state, productivity, and contamination levels in the food packaging industry, it would be possible to motivate further research of new problems and solutions. This would be to contextualize the reader and perform a deeper analysis of the situation prior to the implementation of GSCM. Similarly, most of the studies analyzed only consider the business and theoretical approach without a wide range of proposals within companies.

6. REFERENCES

- Angarita-Zapata, J. S., Alonso-Vicario, A., Masegosa, A. D., & Legarda, J. (2021). A taxonomy of food supply chain problems from a computational intelligence perspective. *Sensors*, 21(20). <https://doi.org/10.3390/s21206910>
- Aslam, H., Rashid, K., Wahla, A. R., & Tahira, U. (2018). Drivers of green supply chain management practices and their impact on firm performance: a developing

- country perspective. *Journal of Quantitative Methods*, 2(1), 87-113. <https://doi.org/10.29145/2018/jqm/020104>
- Assumpção, J. J., Campos, L. M. de S., Jabbour, A. B. L. de S., Jabbour, C. J. C., & Vazquez-Brust, D. A. (2019). Green supply chain practices: a comprehensive and theoretically multidimensional framework for categorization. *Production*, 29. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190047>
- Batista, L., Gong, Y., Pereira, S., Jia, F., & Bittar, A. (2019). Circular supply chains in emerging economies: a comparative study of packaging recovery ecosystems in China and Brazil. *International Journal of Production Research*, 57(23), 7248-7268. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1558295>
- Clark, N., Trimmingham, R., & Storer, I. (2019). Understanding the views of the UK food packaging supply chain in order to support a move to circular economy systems. *Packaging Technology and Science*, 32(11), 577-591. <https://doi.org/10.1002/pts.2474>
- Clark, N., Trimmingham, R., & Wilson, G. T. (2020). Incorporating consumer insights into the UK food packaging supply chain in the transition to a circular economy. *Sustainability*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/su12156106>
- Cristóbal, J., Castellani, V., Manfredi, S., & Sala, S. (2018). Prioritizing and optimizing sustainable measures for food waste prevention and management. *Waste Management*, 72, 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.007>
- Farrukh, A., Mathrani, S., & Sajjad, A. (2022). A systematic literature review on environmental sustainability issues of flexible packaging: potential pathways for academic research and managerial practice. *Sustainability*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/su14084737>
- Geueke, B., Groh, K., & Muncke, J. (2018). Food packaging in the circular economy: overview of chemical safety aspects for commonly used materials. *Journal of Cleaner Production*, 193, 491-505. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.005>
- Hebaz, A., & Oulfarsi, S. (2021). The drivers and barriers of green supply chain management implementation: a review. *Acta Logistica*, 8(2), 123-132. <https://doi.org/10.22306/al.v8i2.211>
- Jayant, A., & Azhar, M. (2014). Analysis of the barriers for implementing green supply chain management (GSCM) practices: an interpretive structural modeling (ISM) approach. *Procedia Engineering*, 97, 2157-2166. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.459>
- Jum'a, L., Ikram, M., Alkalha, Z., & Alaraj, M. (2022). Factors affecting managers' intention to adopt green supply chain management practices: evidence from manufacturing

- firms in Jordan. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(4), 5605-5621. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16022-7>
- Khan, M. T., Idrees, M. D., Rauf, M., Sami, A., Ansari, A., & Jamil, A. (2022). Green supply chain management practices' impact on operational performance with the mediation of technological innovation. *Sustainability*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/su14063362>
- Kleine Jäger, J., & Piscicelli, L. (2021). Collaborations for circular food packaging: the set-up and partner selection process. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 733-740. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.025>
- Kumar, V., Sabri, S., Garza-Reyes, J. A., Nadeem, S. P., Kumari, A., & Akkarangoon, S. (2018). The challenges of GSCM implementation in the UK manufacturing SMEs. In *2018 International Conference on Production and Operations Management Society (POMS)* (pp. 1-8). <https://doi.org/10.1109/POMS.2018.8629449>
- Kumar, V., Sachdeva, A., & Pal Singh, L. (2021). A meta analysis of sustainable supply chain management from different aspects. *International Journal of Supply and Operations Management*, 8(3), 289-313. <https://doi.org/10.22034/IJSOM.2021.3.4>
- Laari, S., Töyli, J., & Ojala, L. (2018). The effect of a competitive strategy and green supply chain management on the financial and environmental performance of logistics service providers. *Business Strategy and the Environment*, 27(7), 872-883. <https://doi.org/10.1002/bse.2038>
- Lazar, S., Klimecka-Tatar, D., & Obrecht, M. (2021). Sustainability orientation and focus in logistics and supply chains. *Sustainability*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/su13063280>
- Leu, J.-D., Lee, L. J.-H., Huang, Y.-W., & Huang, C.-C. (2021). Sustainable supply chains: evidence from small and medium-sized manufacturers. *Sustainability*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13169059>
- Li, X., & Zhu, Q. (2020). Contract design for enhancing green food material production effort with asymmetric supply cost information. *Sustainability*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/su12052119>
- Lisec, A., Antić, S., Campuzano-Bolarín, F., & Pejić, V. (2017). An approach to packaging waste reverse logistics: case of Slovenia. *Transport*, 33(2), 1–9. <https://doi.org/10.3846/16484142.2017.1326404>
- Liu, J., Hu, H., Tong, X., & Zhu, Q. (2020). Behavioral and technical perspectives of green supply chain management practices: empirical evidence from an emerging market. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102013>

- Mardani, A., Kannan, D., Hooker, R. E., Ozkul, S., Alrasheedi, M., & Tirkolaee, E. B. (2020). Evaluation of green and sustainable supply chain management using structural equation modelling: a systematic review of the state of the art literature and recommendations for future research. *Journal of Cleaner Production*, 249. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119383>
- Mattia, G., di Leo, A., & Pratesi, C. A. (2021). Recognizing the key drivers and industry implications of sustainable packaging design: a mixed-method approach. *Sustainability*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13095299>
- Movahedipour, M., Zeng, J., Yang, M., & Wu, X. (2017). An ISM approach for the barrier analysis in implementing sustainable supply chain management. *Management Decision*, 55(8), 1824-1850. <https://doi.org/10.1108/MD-12-2016-0898>
- Obersteiner, G., Cociancig, M., Luck, S., & Mayerhofer, J. (2021). Impact of optimized packaging on food waste prevention potential among consumers. *Sustainability*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/su13084209>
- Ososanmi, A. O., Ojo, L. D., Ogundimu, O. E., & Oke, A. E. (2022). Drivers of green supply chain management: a close-up study. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(10), 14705-14718. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16638-9>
- Petljak, K. (2019). Green supply chain management practices in food retailing. *InterEULawEast: Journal for the International and European Law, Economics and Market Integrations*, 6(1), 61-82. <https://doi.org/10.22598/iele.2019.6.1.5>
- Petljak, K., Zulauf, K., Štulec, I., Seuring, S., & Wagner, R. (2018). Green supply chain management in food retailing: survey-based evidence in Croatia. *Supply Chain Management: An International Journal*, 23(1), 1-15. <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2017-0133>
- Rahman, T., Ali, S. M., Moktadir, Md. A., & Kusi-Sarpong, S. (2020). Evaluating barriers to implementing green supply chain management: an example from an emerging economy. *Production Planning & Control*, 31(8), 673-698. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1674939>
- Rezaei, J., Papakonstantinou, A., Tavasszy, L., Pesch, U., & Kana, A. (2019). Sustainable product-package design in a food supply chain: a multi-criteria life cycle approach. *Packaging Technology and Science*, 32(2), 85-101. <https://doi.org/10.1002/pts.2418>
- Saeed, A., Jun, Y., Nubuor, S., Priyankara, H., & Jayasuriya, M. (2018). Institutional pressures, green supply chain management practices on environmental and economic performance: a two theory view. *Sustainability*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/su10051517>

- Saidi, D., El Alami, J., & Hlyal, M. (2020). Sustainable supply chain management: review of triggers, challenges and conceptual framework. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/827/1/012054>
- Santos, H., Lannelongue, G., & Gonzalez-Benito, J. (2019). Integrating green practices into operational performance: evidence from Brazilian manufacturers. *Sustainability*, *11*(10). <https://doi.org/10.3390/su11102956>
- Simms, C., Trott, P., Van den Hende, E., & Hultink, E. J. (2020). Barriers to the adoption of waste-reducing eco-innovations in the packaged food sector: a study in the UK and the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, *244*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118792>
- Statista Research Department. (2016). Sustainable food industry - statistics & facts. *Statista*.
- Tundys, B., & Wiśniewski, T. (2018). The selected method and tools for performance measurement in the green supply chain—survey analysis in Poland. *Sustainability*, *10*(2). <https://doi.org/10.3390/su10020549>
- Tuni, A., Rentizelas, A., & Duffy, A. (2018). Environmental performance measurement for green supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *48*(8), 765-793. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2017-0062>
- Ullah, S., Ahmad, N., Khan, F. U., Badulescu, A., & Badulescu, D. (2021). Mapping interactions among green innovations barriers in manufacturing industry using hybrid methodology: insights from a developing country. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph18157885>
- Vernier, C., Loeillet, D., Thomopoulos, R., & Macombe, C. (2021). Adoption of ICTs in agri-food logistics: potential and limitations for supply chain sustainability. *Sustainability*, *13*(12). <https://doi.org/10.3390/su13126702>
- Wang, C.-N., Hoang, Q.-N., & Nguyen, T.-K.-L. (2021). Integrating the EBM model and LTS(A,A,A) model to evaluate the efficiency in the supply chain of packaging industry in Vietnam. *Axioms*, *10*(1). <https://doi.org/10.3390/axioms10010033>
- Waqas, M., Dong, Q., Ahmad, N., Zhu, Y., & Nadeem, M. (2018). Critical barriers to implementation of reverse logistics in the manufacturing industry: a case study of a developing country. *Sustainability*, *10*(11). <https://doi.org/10.3390/su10114202>
- Yadav, V. S., Singh, A. R., Raut, R. D., & Cheikhrouhou, N. (2021). Design of multi-objective sustainable food distribution network in the Indian context with multiple delivery channels. *Computers & Industrial Engineering*, *160*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107549>

Yildiz Çankaya, S., & Sezen, B. (2019). Effects of green supply chain management practices on sustainability performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(1), 98-121. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0099>

SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN DE PALTA (*PERSEA AMERICANA*) PERUANA EN EL CONTEXTO DEL COMERCIO INTERNACIONAL*

MANUEL ANTONIO FLORES-IZQUIERDO**

<https://orcid.org/0000-0003-0626-9943>

Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Economía y Planificación,

Lima, Perú

LUIS ENRIQUE ESPINOZA-VILLANUEVA

<https://orcid.org/0000-0002-9986-5180>

Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Economía y Planificación,

Lima, Perú

Recibido: 13 de mayo del 2023 / Aceptado: 17 de agosto del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6316>

RESUMEN. El presente artículo tiene como objetivo describir la situación actual y las perspectivas de la producción de palta peruana en el contexto del comercio internacional, a través de un diseño no experimental de tipo descriptivo. A partir de ello, se obtuvo que la producción y la exportación de palta peruana se mantiene en auge y con pronósticos positivos. Asimismo, en el 2021 el país cosechó 779 mil toneladas de palta y exportó 526 mil toneladas. Para el 2024, se espera un crecimiento del 10 % en las exportaciones respecto al 2023, con una proyección de exportación de 725 mil toneladas de palta fresca. El alza se atribuye a las inversiones previas y al fuerte compromiso de los productores locales y al incremento de la productividad de los campos. Las regiones de La Libertad, Lambayeque, Ayacucho y Huancavelica, entre otras, son clave en dicha producción. A pesar de un contexto político difícil y de las condiciones climáticas adversas en el 2023, la industria logró cumplir con sus estimaciones.

PALABRAS CLAVE: palta / productividad / agroexportación / agronegocio / exportación

* Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

** Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: manuelfloresizquierdo1@gmail.com; lespinoza@lamolina.edu.pe

CURRENT SITUATION AND PROSPECTS OF PERUVIAN AVOCADO (*PERSEA AMERICANA*) PRODUCTION IN THE CONTEXT OF INTERNATIONAL TRADE

ABSTRACT. This research aims to establish the current situation and prospects of Peruvian avocado production, in the context of international trade, using a non-experimental descriptive design. The production and export of Peruvian avocado remain on the rise, with positive forecasts. In 2021, the country harvested and exported 779 000 and 526 000 tons of avocado, respectively. By 2024, a 10 % growth in exports is expected compared to 2023, forecasting an export of 725 000 tons of fresh avocado. This increase is attributed to prior investments, the strong commitment of local producers, and the enhanced productivity of the fields. Regions such as La Libertad, Lambayeque, Ayacucho, and Huancavelica, among others, are key in production. Despite a challenging political context and adverse weather conditions in 2023, the industry managed to meet its estimates.

KEYWORDS: avocado / productivity / agricultural export / agricultural business / export

1. INTRODUCCIÓN

La agroindustria de exportación en el Perú ha experimentado un crecimiento notable en los últimos años y es particularmente destacable el auge del cultivo de la palta Hass. Esta variedad de fruto, muy apreciada no solo por su sabor, sino también por sus innumerables propiedades beneficiosas para la salud, ha conquistado mercados internacionales en diversas presentaciones: desde su estado natural y fresco hasta versiones congeladas, como pulpa y, recientemente, en forma de aceite. Por ello, se han hecho diversos estudios en el mundo para evaluar los factores que han influido en el crecimiento de la producción.

En el caso de las exportaciones de productos agrícolas en Perú, estas han crecido de forma constante, de manera especial en las exportaciones no tradicionales. Por lo que el país encabeza, a nivel mundial, la producción y comercio de café especial, espárragos y otros productos frescos y procesados. Además, tiene un papel destacado en café orgánico, alcachofas, arándanos y paltas (Morales, 2020).

Particularmente, la palta peruana ha representado una oportunidad para los productores locales. Además, ha sido impulsada, sobre todo, por sus periodos comerciales —a diferencia de México—, por las tendencias de consumo saludable a nivel mundial, por los tratados de libre comercio de Perú y por el crecimiento de la comunidad latina en los países desarrollados (Chávez, 2019).

Suárez et al. (2017) realizaron una investigación e identificaron las principales estrategias que se siguen para incrementar las exportaciones de palta Hass. Algunas son la diferenciación —lo que constituye una forma eficaz para incrementar las exportaciones—, las certificaciones internacionales como la GLOBAL G. A. P., la capacitación en el manejo del cultivo para los trabajadores y la imagen de las empresas en el mercado exterior.

Lozada et al. (2022) analizaron las estrategias de comercialización basadas en la virtualidad que han permitido incrementar la exportación de palta Hass al mercado de Estados Unidos, de las empresas exportadoras de la región Lambayeque. Afirman que el incremento de las exportaciones de palta se debe a las estrategias comerciales de las 4P (Lozada et al., 2022).

Caro et al. (2021) sostienen que hay un gran contraste entre las naciones desarrolladas y las naciones en desarrollo. Las primeras son importadoras netas de agua; mientras que las segundas, grandes exportadoras netas. Por ello, los amplios flujos de agua asociados con el aguacate se movilizan desde países ya sujetos a un estrés hídrico persistente, como México, Perú y Chile, hacia regiones más acaudaladas en agua, como Estados Unidos, Japón, Canadá y la Unión Europea. Como resultado, la explotación excesiva del agua inherente a los flujos comerciales de aguacate puede terminar agravando las condiciones ambientales en muchos países relativamente pobres, donde la exportación de aguacate se ve comúnmente como una fuente significativa de crecimiento.

Guevara et al. (2021) analizaron la agroindustria del aguacate de Chile en el mercado internacional en el periodo 2008-2017. Para ello, utilizaron varias métricas como ventajas comparativas: tasa de penetración de las importaciones y análisis de la participación constante de mercado. Consideran que la menor competitividad del aguacate en el mercado de Estados Unidos, durante ese periodo, fue por crecimiento de las exportaciones de otros países, así como la devolución del impuesto al valor agregado (IVA); además, las variaciones del dólar han afectado sus costos (Guevara et al., 2021).

Por otro lado, la tecnificación y acceso a mercados, así como la colaboración entre instituciones, han fortalecido el cultivo del aguacate en Colombia. La ayuda internacional ha fortalecido el acceso de pequeños y medianos productores a mercados externos; no obstante, persisten retos, como las cuestiones fitosanitarias y logísticas que requieren atención para impulsar sus exportaciones (Parra et al., 2023).

Denvir (2023) sostiene que el crecimiento del cultivo de aguacate en México se determina por elementos biofísicos e infraestructurales. Se descubrió que el progreso del aguacate es promovido en gran medida por factores ambientales, la altitud, la calidad del terreno y la cercanía a plantaciones y empresas empacadoras ya establecidas.

Tabla 1

Producción mundial de palta en el mundo

Exportadores	2018	2019	2020	2021	2022
	Cantidad exportada (toneladas)	Cantidad exportada (toneladas)	Cantidad exportada (toneladas)	Cantidad exportada (toneladas)	Cantidad exportada (toneladas)
Mundo	2 434 407	2 304 542	2 568 318	3 050 402	No hay cantidades
México	1 091 936	952 201	978 908	1 227 070	1 041 787
Perú	359 428	312 073	410 697	541 520	583 215
Países Bajos	245 776	270 108	333 212	366 439	334 542
España	108 891	119 144	138 401	139 925	150 148
Chile	132 525	144 621	96 884	98 183	109 287
Kenia	71 879	63 356	79 081	95 036	103 240
Colombia	30 009	44 570	77 075	96 904	98 595
Sudáfrica	89 343	47 948	47 265	52 795	62 985
República Dominicana	36 090	44 968	50 082	56 456	57 605

(continúa)

(continuación)

Exportadores	2018	2019	2020	2021	2022
	Cantidad exportada (toneladas)	Cantidad exportada (toneladas)	Cantidad exportada (toneladas)	Cantidad exportada (toneladas)	Cantidad exportada (toneladas)
Estados Unidos de América	68 535	59 347	66 940	61 386	49 332
Sri Lanka	No hay datos	108	60	34	39 570
Francia	21 760	28 217	28 653	32 336	37 427
Israel	18 342	22 577	20 127	23 562	32 336

Nota. Adaptado de la plataforma Trade Map (2023).

En la Tabla 1 se muestra la producción mundial de palta de los principales productores de palta entre el 2018 y el 2022. Del 2018 al 2021, la cantidad de palta exportada a nivel mundial aumentó de manera generalizada. Pasó de 2 434 407 toneladas, en el 2018, a 3 050 402 toneladas en el 2021. México, el mayor productor y exportador de palta del mundo, mostró un incremento notable en la cantidad exportada del 2018 al 2021, pero experimentó una disminución en el 2022 a 1 041 787 toneladas. A pesar de esta disminución, México sigue siendo el mayor exportador de palta en el 2022. Perú, los Países Bajos, España, Chile, Kenia, Colombia, Sudáfrica, la República Dominicana, Marruecos, los Estados Unidos, Sri Lanka, Francia e Israel también figuran en la lista de los principales exportadores. En general, estos países muestran una tendencia creciente en las exportaciones de palta del 2018 al 2022, con la excepción de los Estados Unidos, que muestra una disminución en el 2022. Sri Lanka es un caso interesante, ya que pasó de exportar solo 60 toneladas en el 2020 a 39 570 toneladas en el 2022.

Analizar la demanda de avocados en los principales mercados internacionales que reciben los envíos de Perú y describir la situación actual de la producción peruana de avocados son aspectos cruciales para formular estrategias e investigaciones destinadas a sostener y mejorar el crecimiento de esta actividad en el país. Las exportaciones agrícolas representan una herramienta efectiva para el avance socioeconómico de las áreas rurales de un país, pues impactan de manera positiva en la calidad de vida de sus habitantes, siempre y cuando se cuenten con políticas públicas adecuadas y con la colaboración del sector privado y la comunidad académico científica (Salas-Canales, 2020). Por todo ello, el presente artículo tiene como objetivo principal establecer la situación actual y las perspectivas de la producción de palta (*Persea americana*) peruana en el contexto del comercio internacional.

2. METODOLOGÍA

El presente artículo presenta un diseño no experimental de tipo descriptivo, dado que se limitó a describir la situación actual y las perspectivas de la producción de palta (*Persea americana*) peruana en el contexto del comercio internacional. Las variables por determinar son, por el lado de la producción peruana de palta, la superficie cultivada, el rendimiento por hectárea y el precio en chacra que reciben los productores; por el lado del comercio internacional, la contextualización de los principales mercados que demandan la palta peruana, así como el precio FOB y las principales empresas agroexportadoras que realizan envíos de palta peruana al mercado internacional. Las variables mencionadas no fueron intervenidas en la investigación (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Esta investigación, según la cronología en el análisis de los datos, es longitudinal, dado que evalúa las variables mencionadas en el periodo comprendido entre los años 2016 y 2022. Además, se ha considerado la subpartida correspondiente a la palta (*Persea americana*) peruana con el código numérico 0804.40.00.00. y la descripción de aguacates (paltas).

El diseño metodológico del presente estudio se ajusta a las características propias del enfoque cualitativo. Y como técnica de investigación se utilizó la revisión bibliográfica, los reportes estadísticos oficiales, así como la determinación del estado del arte actual, correspondiente a la temática planteada (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018). Además, como herramienta informática para el análisis y procesamiento de los datos, se empleó el paquete informático MS Office; mientras que, como fuente de información, se accedió a las plataformas web de información estadística correspondientes al Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (MINAGRI), a la Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria (SUNAT), a las Estadísticas del Comercio para el Desarrollo Internacional de las Empresas (TRADE MAP) y a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAOSTAT).

3. RESULTADOS

3.1 Producción mundial de palta

Acorde a las cifras mostradas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAOSTAT), la superficie cultivada y la producción total de este cultivo ha venido creciendo sosteniblemente en los últimos años (Ambrozek et al., 2018). Los datos en la Tabla 2 muestran que, en el año 2021, se alcanzó una producción mundial de 8 810 452 de toneladas de palta y en una superficie cosechada de 871 653 hectáreas.

Tabla 2

Producción y superficie cultivada mundial de palta

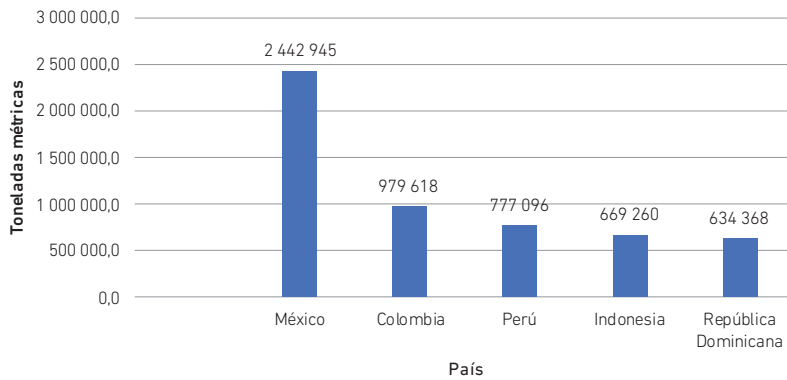
Parámetro productivo	Año					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Producción (toneladas métricas)	5 722 758	6 184 894	6 730 545	7 077 148	8 059 359	8 810 452
Superficie (hectáreas)	626 379	655 118	716 941	748 770	807 469	871 653

Nota. Adaptado de la plataforma de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023).

En la Figura 1 se puede observar los principales países productores de palta en el año 2021. De ellos, México lidera dicha producción con 2 442 944,64 toneladas métricas (TM); le sigue Colombia con una producción de 979 617,72 TM; Perú, con una producción de palta de 777 095,96 TM; Indonesia, con 669 260,46 TM; República Dominicana, con 634 368,16 TM de palta y Kenia, con 416 802,72 TM.

Figura 1

Principales productores de palta en el 2021



Nota. Adaptado de la plataforma de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023).

3.2 Producción de palta en el Perú

Según la Tabla 3, se puede observar la tendencia positiva del crecimiento del número de hectáreas, producción y rendimiento de palta en el Perú, así como el incremento del precio. Esto nos indica que este cultivo es cada vez más valioso, tanto en términos de cantidad producida como de ingresos para los productores. La superficie de siembra de palta ha aumentado desde 37 871 hectáreas en el 2016 a 55 130,22 hectáreas en el 2021.

La producción de palta ha aumentado de 455 394,18 TM en el 2016 a 778 790,873 TM en el 2021; también el rendimiento de la cosecha ha aumentado de 12,025 TM/ha en el 2016 a 14,126 TM/ha en el 2021. El precio ha aumentado desde 2,618 en el 2016 a 3,844 en el 2021. Se pronostica para el año 2024 una producción nacional de 973 mil toneladas de palta.

Tabla 3

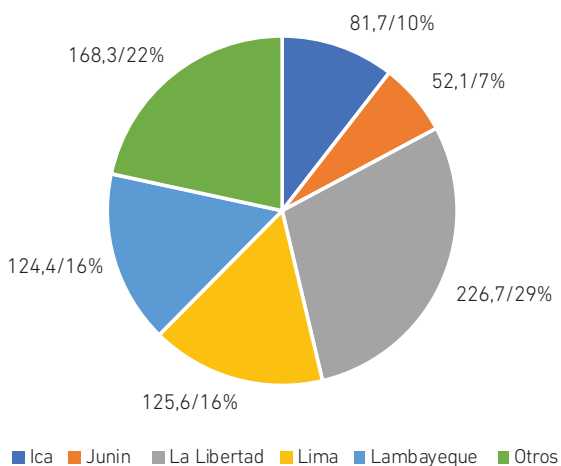
Parámetros productivos nacionales de palta 2016-2021

Parámetro	Año					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Superficie (hectáreas)	37 871,18	39 628,60	40 133,98	47 905,28	51 240,63	55 130,22
Producción (toneladas)	455 394,18	466 795,74	504 516,63	571 991,85	672 232,25	778 790,873
Rendimiento (toneladas por hectárea)	12,025	11,779	12,571	11,940	13,119	14,126
Precio productor (soles por kilogramo)	2,618	3,320	3,378	3,221	3,465	3,844

Nota. Adaptado de la Plataforma Digital Única del Estado Peruano (2023).

Figura 2

Regiones que más produjeron palta en el año 2021 (miles de toneladas métricas/porcentaje)



Nota. Adaptado de la Plataforma Digital Única del Estado Peruano (2023).

Como se puede observar en la Figura 2, La Libertad es la región que presenta mayor producción de palta a nivel nacional. Esto se debe al potencial agroexportador de la región, con presencia de grandes empresas agroexportadoras y asociaciones de productores. La Libertad reúne condiciones favorables para muchos de los cultivos estrella del *boom* de la agroexportación en el Perú. Sus condiciones climatológicas y edafológicas, así como su cercanía a los puertos de la costa y su infraestructura vial, han permitido un gran desarrollo productivo y tecnológico de cultivos como la palta.

En la Tabla 4 se puede apreciar el gran incremento en superficie sembrada, producción, rendimiento y precio, que ha tenido la palta en la región La Libertad, donde pasa de una superficie sembrada de 13 574,50 hectáreas en el 2016 a 14 849,10 hectáreas en el 2021; una producción de 178 272,39 TM en el 2016 a 226 699,81 TM en el 2021; y un rendimiento de 13 133 TM/ha en el 2016 a 15 266,91 TM/ha, en el 2021.

Tabla 4

Parámetros productivos de palta en la región La Libertad 2016-2021

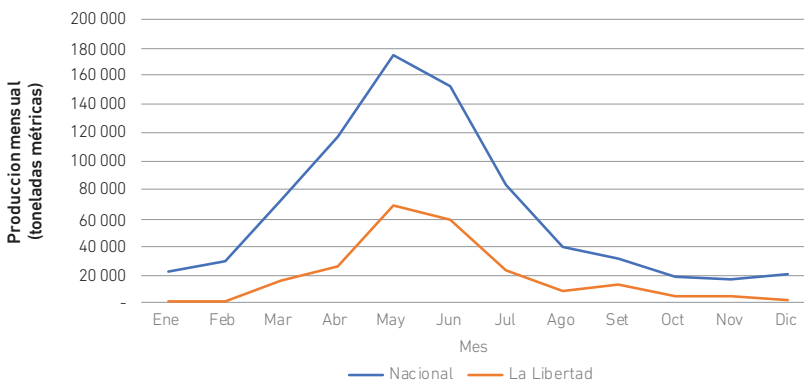
Parámetro	Año					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Superficie (hectáreas)	13 574,50	13 999,00	14 241,60	14 677,10	14 740,60	14 849,10
Producción (toneladas)	178 272,39	197 271,28	204 526,48	202 726,96	215 319,11	226 699,81
Rendimiento (toneladas por hectárea)	13 133	14 09,812	14 361,201	13 812,467	14 607,215	15 266,91
Precio productor (soles por kilogramo)	2,931	3,710	3,618	3,389	3,536	3,740

Nota. Adaptado de la Plataforma Digital Única del Estado Peruano (2023).

La Figura 3 muestra la ventana productiva de la región La Libertad y a nivel nacional, y se puede ver que en ambos casos se logra una producción pico entre los meses de mayo y julio. Esto permite una ventana comercial, sobre todo con la Unión Europea; además, brinda ventajas competitivas con respecto a México, que es el primer productor de palta del mundo dado que sus picos productivos no coinciden con los de Perú.

Figura 3

Ventana productiva a nivel nacional y en la región La Libertad para el año 2021

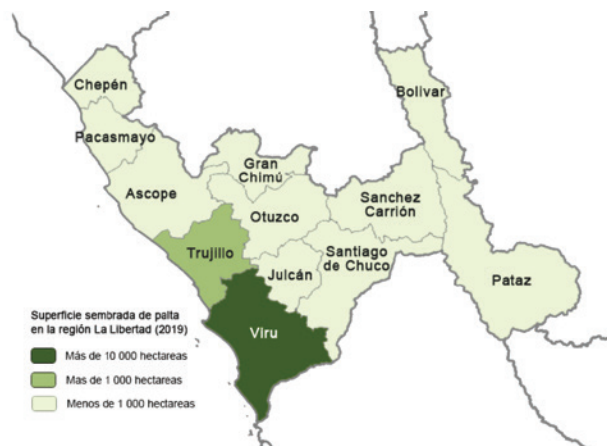


Nota. Adaptado de la Plataforma digital única del Estado peruano (2023).

Con respecto a la producción en las provincias que conforman la región La Libertad, podemos observar que, principalmente, la producción se concentra en las provincias de Virú (10,16 miles de hectáreas) y una parte menor en Trujillo (1,36 miles de hectáreas), tal como podemos observar en el mapa de producciones de la Figura 4. En la provincia de Virú, uno de los centros de la agroexportación a nivel nacional, dadas sus excelentes características, podemos observar que la producción de palta a nivel distrital se distribuye en dos terceras partes para el distrito de Virú (7,25 miles de hectáreas) y una tercera parte en el distrito de Chao (3,91 miles de hectáreas). Estos cálculos se realizan en función al área cultivada.

Figura 4

Distribución del cultivo palta en la región La Libertad



Nota. Datos estimados a partir del IV CENAGRO (Plataforma Digital Única del Estado Peruano, 2021).

3.3 Comercio exterior

La exportación de palta peruana ha experimentado un aumento sostenido en los últimos seis años, tal como se evidencia en la Tabla 5. Esto está alineado con los resultados globales en la industria alimentaria, ya que, a pesar de la crisis ocasionada por la pandemia del COVID-19, que ha paralizado la mayoría de las actividades económicas, se ha mantenido activo el comercio de alimentos en todo el mundo, incluso en Perú, sobre todo en las exportaciones de palta (Vittery & Colchao, 2019). No obstante, la Tabla 5 muestra que el precio FOB (dólar por kilogramo [USD/kg]) de la palta ha experimentado una fuerte caída. En el 2016 se tenía un precio FOB de 2,38 USD/kg y se llegó, en el 2022, a un precio FOB de 1,53 USD/kg. Este fenómeno podría estar relacionado con la sobreproducción generada en el mundo. Para el 2023, se pronostica exportar 650 mil toneladas de palta, mientras que para el 2024 se proyecta un incremento del 10 % en las exportaciones de palta con un valor de 716 mil toneladas de palta.

Tabla 5

Exportación peruana de palta durante los años 2017-2022

Indicadores	Año					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Valor FOB (miles de dólares)	588 085,5	723 045,8	757 148,2	757 901,3	1 013 643,8	890 451 638,1
Peso neto (toneladas métricas)	247 523,7	361 342,1	312 543,5	411 192,8	525 879,9	583 595 896,3
Valor FOB (dólares por kilogramo)	2,38	2,00	2,42	1,84	1,93	1,53

Nota. Adaptado de Promperú (2022).

Según la Tabla 6, podemos observar los principales mercados de exportación de la palta peruana, los cuales son los Países Bajos, Estados Unidos, España, Chile y el Reino Unido. También se observa que los Estados Unidos de América ha incrementado su demanda en el tiempo evaluado (2016-2021), por lo que creció un 206 %. Asimismo, Chile creció un 455 % entre el periodo 2016-2022.

Tabla 6

Principales mercados internacionales de palta peruana durante los años 2016-2022

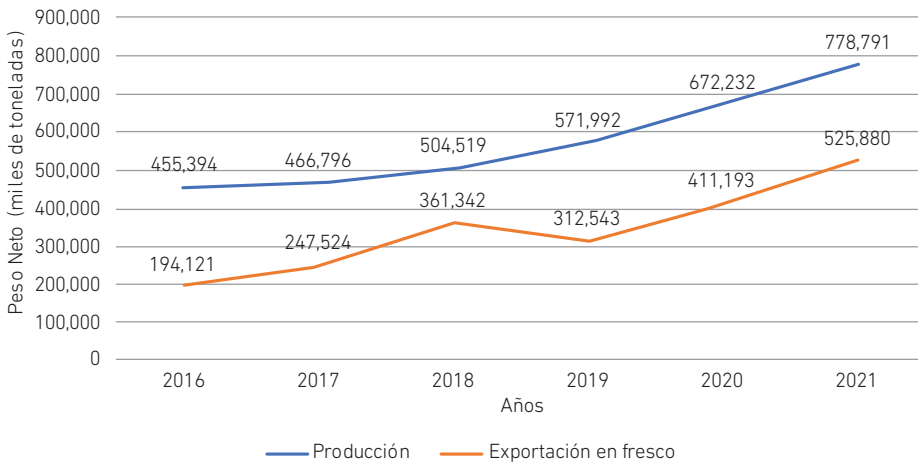
País	Año		Variación
	2016	2022	
Países Bajos	USD 163 402 420,56	USD 263 849 116,48	61 %
España	USD 78 129 983,03	USD 98 979 485,82	27 %
Estados Unidos	USD 74 862 959,75	USD 228 814 478,21	206 %
Reino Unido	USD 44 230 646,40	USD 35 959 851,42	-19 %
Chile	USD 12 479 692,35	USD 69 300 266,94	455 %

Nota. Adaptado de Promperú (2022).

La Figura 5 muestra las cantidades en peso producidas y exportadas de palta a nivel nacional durante el periodo 2016-2021.

Figura 5

Producción versus exportaciones nacionales en el periodo 2016-2021



Nota. Adaptado de la Plataforma Digital Única del Estado Peruano (2023) y de Promperú (2022).

En la Figura 5 se puede observar la tendencia al crecimiento de la producción y exportaciones de palta en el Perú. También se puede apreciar que la diferencia entre las exportaciones y la producción son las exportaciones de palta congelada, el consumo interno y las mermas en el manejo.

Para evaluar las exportaciones totales, es importante considerar los productos procesados y congelados basados en palta que, aunque representan una pequeña proporción de la producción total y las exportaciones de producto fresco, han mostrado un crecimiento sostenido. Es vital tener en cuenta que la partida armonizada 081190 puede referirse a productos con palta.

4. DISCUSIÓN

A pesar de la creciente competencia global, Perú se mantiene firme en su papel en la producción y exportación de aguacates. México ha reforzado su posición como el mayor exportador de aguacates en el mundo, con una notable expansión en su producción en años recientes. Adicionalmente, países como Chile, Colombia y República Dominicana han incrementado su participación en el mercado internacional de aguacates (García et al., 2021).

Para mantenerse en la vanguardia competitiva, Perú tiene que elevar de forma continua su rendimiento productivo y garantizar una calidad invariable. Esto significa: mejorar las técnicas agrícolas, continuar con la implementación de sistemas de riego eficaces, utilizar adecuadamente los fertilizantes y pesticidas, y optimizar la administración tras la cosecha. Adicionalmente, resulta fundamental invertir en investigación y desarrollo con el fin de obtener variedades de aguacate que sean más resistentes, sabrosas y de mayor durabilidad (Azadi et al., 2021).

Resulta crucial utilizar tecnologías avanzadas para superar los desafíos presentes en el cultivo y en la exportación de aguacates. Instrumentos tecnológicos precisos como los sensores y los sistemas de vigilancia pueden perfeccionar el riego, reducir la utilización de recursos naturales y potenciar la eficiencia productiva. Asimismo, los sistemas de información geográfica (SIG) proporcionan un respaldo para la toma de decisiones basada en datos y contribuyen a una mejor planificación del cultivo. La incorporación de la agricultura de precisión, que incluye el uso de drones y robots para el seguimiento y recolección de frutas, es otro campo con gran potencial. Estas tecnologías pueden incrementar el rendimiento, reducir los costos laborales y minimizar el impacto en el medio ambiente (Cáceres-Zambrano et al., 2022).

La sostenibilidad es un pilar esencial en la producción y exportación de la palta. Perú, en su papel de importante exportador, tiene la responsabilidad de promover métodos de cultivo respetuosos con el medio ambiente y sostenibles a nivel social. Cuestiones como el uso desmedido del agua, la deforestación y la polución del suelo y los recursos hídricos son problemas de gran relevancia que necesitan ser atendidos (Bhore et al., 2021; Denvir et al., 2021).

Promover la adopción de prácticas de agricultura regenerativa, que protegen el suelo, impulsan la biodiversidad y gestionan de manera eficaz el agua, representa una táctica efectiva. Incorporar diversidad a los cultivos puede fortalecer una agricultura más robusta que reduce la dependencia a un único tipo de cultivo y evita el agotamiento del suelo. Además, la implementación de prácticas orgánicas y la obtención de certificaciones de sostenibilidad pueden generar nuevas oportunidades de mercado y satisfacer las demandas de los consumidores preocupados por el medio ambiente (Giller et al., 2021).

El crecimiento en las plantaciones de aguacates puede desencadenar deforestación y destrucción de hábitats, lo que afecta perjudicialmente a la biodiversidad y a los servicios ecológicos (Sommaruga & Eldridge, 2021). Es imprescindible idear estrategias de desarrollo que reduzcan estos efectos, como la restauración de terrenos degradados y la implementación de prácticas de agricultura conservacionista. Además, se debe afrontar los desafíos asociados con la gestión de desechos agrícolas y la correcta administración de productos químicos empleados en la producción. La puesta en marcha de sistemas de gestión de residuos y la promoción de prácticas de producción limpia pueden ayudar a mitigar el impacto ecológico y asegurar la sostenibilidad a largo plazo (Pérez-Solache et al., 2023). La repercusión ambiental de la industrialización del aguacate es otro aspecto importante a tener en cuenta, ya que los residuos resultantes de la extracción de la pulpa del aguacate, como la cáscara y la semilla, pueden contaminar el suelo al ser enterrados, lo que produce acidificación y desertificación (Colombo & Papetti, 2019).

5. CONCLUSIONES

En el presente estudio se observa que la palta es uno de los iconos principales que conforman la cartera de productos agrícolas frescos para el comercio internacional y para el consumo interno en el Perú. Para el año 2021, en el mundo se cultivaron 871,65 miles de hectáreas de palta, con una producción de 8810 miles de toneladas, de las cuales 778,8 fueron producidas en el Perú.

A nivel nacional, de igual manera, observamos una tendencia creciente de la producción de palta durante los últimos años, de los cuales una gran proporción tiene como destino la exportación.

El análisis de las regiones muestra que la mayor importancia en producción y superficie sembrada la tiene La Libertad, con una producción total para el año 2021 de 226,72 miles de toneladas.

Con respecto al comercio exterior se concluye que las exportaciones de palta han mostrado un crecimiento sostenido durante los últimos cinco años, inclusive durante la pandemia en el 2020; sin embargo, vemos una caída drástica en el precio en los últimos años.

El cultivo de palta mantiene una tendencia de avance en el mundo, para lo cual se prevé que su crecimiento continúe, sobre todo en los países que reúnen las condiciones climatológicas y estratégicas para su producción. En el Perú, dados los hábitos de consumo y, sobre todo, la creciente demanda mundial, este cultivo se incrementará, sobre todo en regiones como La Libertad que presenta características idóneas, tanto para su producción, como para la actividad agroexportadora.

6. REFERENCIAS

- Ambrozek, C., Saitone, T. L., & Sexton, R. J. (2018). *Five-year evaluation of the hass avocado board's promotion programs: 2013–2017*. Hass Avocado Board. <https://hassavocadoboard.com/wp-content/uploads/2019/03/hab-latest-independent-economic-evaluation-2018.pdf>
- Azadi, H., Moghaddam, S. M., Burkart, S., Mahmoudi, H., Van Passel, S., Kurban, A., & Lopez-Carr, D. (2021). Rethinking resilient agriculture: from climate-smart agriculture to vulnerable-smart agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128602>
- Bhore, S., Salgado, D., Al Houssari, A., Lopez, A., Yang, R., Chen, Z., Siddiqui, S., Silva, S., Schumann, M., Zhang, Z., & Eltantawy, E. (2021). *The avocado (Persea americana Mill.): a review and sustainability perspectives*. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202112.0523.v1>
- Cáceres-Zambrano, J., Ramírez-Gil, J. G., & Barrios, D. (2022). Validating technologies and evaluating the technological level in avocado production systems: a value chain approach. *Agronomy*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy12123130>
- Caro, D., Alessandrini, A., Sporchia, F., & Borghesi, S. (2021, 20 de febrero). Global virtual water trade of avocado. *Journal of Cleaner Production*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124917>
- Chávez, M. (2019). Perú rompe récord de exportación de palta. *La Cámara*. https://apps.cameralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r868_3/comercio%20exterior.pdf
- Colombo, R., & Papetti, A. (2019). Avocado (*Persea americana* Mill.) by products and their impact: from bioactive compounds to biomass energy and sorbent material for removing contaminants. A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 943-951. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14143>
- Denvir, A., Arima, E. Y., González-Rodríguez, A., & Young, K. R. (2021). Ecological and human dimensions of avocado expansion in México: towards supply-chain sustainability. *Ambio*, 51(1), 152-166. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01538-6>

- Denvir, A. (2023). Avocado expansion and the threat of forest loss in Michoacán, Mexico, under climate change scenarios. *Applied Geography*, 151.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- García, J. S. A., Hurtado-Salazar, A., & Ceballos-Aguirre, N. (2021). Current overview of Hass avocado in Colombia. Challenges and opportunities: a review. *Ciência Rural*, 51(8). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200903>
- Giller, K., Hijbeek, R., Andersson, J., & Sumberg, J., S. (2021). Regenerative agriculture: an agronomic perspective. *Outlook on Agriculture*, 50(1), 13-25. <https://doi.org/10.1177/0030727021998063>
- Guevara, W., Hidalgo-Alcázar, C., & Rojas, J. (2021). Análisis de la agroindustria chilena del aguacate (palta) en el mercado internacional. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 37(1), 54-64. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS37-6AAWG30006>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.
- Lozada, A., Cúneo, F., Morán, R., Rituay, P., & Campos, J. (2022). Estrategias basadas en la virtualidad para la comercialización e incrementar la exportación de palta Hass. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (51), 401-418.
- Morales, R. J. (2020). La administración del Acuerdo de Libre Comercio firmado entre la República del Perú y la República de Canadá desde la mirada del agronegocio peruano. *Natura@economía*, 5(2), 126-143. <https://doi.org/10.21704/ne.v5i2.1521>
- Parra, C., Garavito, L., & Correa, D. (2023). Hass avocado value chain: interinstitutional process towards exportation in Cauca, Colombia. *Revista Iberoamericana de Viticultura Agroindustria y Ruralidad*, 10(28), 235-252. <https://doi:10.35588/rivar.v10i28.5333>
- Pérez-Solache, A., Vaca-Sánchez, M. S., Maldonado-López, Y., Lopes De Faria, M., Zazá Borges, M. A., Fagundes, M., Oyama, K., Méndez-Solórzano, M. I., Aguilar-Peralta, J. S., Hernández-Guzmán, R., & Cuevas-Reyes, P. (2023). Changes in land use of temperate forests associated to avocado production in Mexico: impacts on soil properties, plant traits and insect-plant interactions. *Agricultural Systems*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103556>
- Plataforma Digital Única del Estado Peruano. (2021). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. <https://www.gob.pe/inei/>
- Plataforma Digital Única del Estado Peruano. (2023). *Estadística de producción agropecuaria*. <https://www.gob.pe/midagri>

- Promperú. (2022). *Exportaciones peruanas*. https://exportemos.pe/promperustat/frmPaises_x_Partida.aspx
- Salas-Canales, H. (2020). Agroexportaciones no tradicionales y su contribución al desarrollo económico peruano. *Dom. Cien.*, 6(1), 4-27.
- Sommaruga, R., & Eldridge, H. M. (2021). Avocado production: water footprint and socio-economic implications. *EuroChoices*, 20(2), 48-53. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12289>
- Suárez, G., Echevarría, J., & Jiménez, D. (2017). Estrategias de diferenciación para la exportación de palta Hass (*Persea americana* Mill.) de la empresa Negociación Agrícola Yotita S. A. con destino a Alemania - 2016. *UCV Hacer*, 6(2), 8-19.
- Trade Map. (2023). *Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas*. <https://www.trademap.org/Index.aspx>
- Vitery, L. R., & Colchao, M. V. (2019). Posicionamiento de la palta Hass peruana en el mercado estadounidense. *Ciencia y Negocios*, 1(2).

EVALUACIÓN DE LA INTEGRACIÓN EN UNA CADENA HOTELERA DE UN HOTEL EN LA CIUDAD DE MACHALA*

EDWIN ZAMBRANO

<https://orcid.org/0000-0002-6169-4160>

Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería, Manabí, Ecuador

NEYFE SABLÓN COSSÍO**

<https://orcid.org/0000-0002-6691-0037>

Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Posgrado, Grupo de Producción y servicios, Manabí, Ecuador

Recibido: 7 de septiembre del 2023 / Aceptado: 27 de septiembre del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6642>

RESUMEN. Este estudio tiene como objetivo evaluar la integración en la cadena hotelera y caracterizar sus actores y debilidades. Se empleó un enfoque cuantitativo y descriptivo, utilizando entrevistas y análisis-síntesis de fuentes secundarias. La integración se evaluó mediante una lista de chequeo de siete dimensiones, aplicando el modelo de fiabilidad Alpha de Cronbach. Los resultados indican un nivel de integración por debajo del máximo, identificando cuatro eslabones: proveedores, instalaciones, departamentos de servicios y recepción, con veintinueve actores internos y externos. Los departamentos de servicios muestran la debilidad principal, por lo que requieren estrategias, políticas, mejoras en información, infraestructura y capacitación. Estos hallazgos son clave para mejorar la competitividad en la industria hotelera.

PALABRAS CLAVE: cadenas hoteleras / integración / turismo / tecnología

ASSESSMENT OF THE INTEGRATION OF A HOTEL IN THE CITY OF MACHALA INTO A HOTEL CHAIN

ABSTRACT. This study aims to assess the integration into a hotel chain and characterize its stakeholders and weaknesses. A quantitative and descriptive approach with interviews and

* Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

** Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: ezambrano3855@utm.edu.ec, neyfe.sablón@utm.edu.ec.

the analysis-synthesis of secondary sources was employed. The integration was evaluated using a checklist of seven dimensions and applying Cronbach's alpha reliability model. The results indicate an integration below the maximum level and identify four elements—suppliers, facilities, service departments, and reception—as well as 29 internal and external stakeholders. The service departments showed the greatest weakness, requiring strategies, policies, and improvements in information, infrastructure, and training. These findings are key for enhancing competitiveness in the hospitality industry.

KEYWORDS: hotel chains / integration / tourism / technology

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo empresarial, el turismo se considera un sector estratégico en la economía de cualquier país, porque conduce al fortalecimiento del sector comercial, productivo y al crecimiento monetario. El Ministerio de Turismo del Ecuador (2022) señala que el sector turístico aporta un ingreso total del 2,2 % del PIB al Estado ecuatoriano. Esto equivale a 2 397 millones de dólares anuales, los mismos que en el 2020, luego de la pandemia, disminuyó al 1,2 %; sin embargo, a partir del 2021 se obtuvo un aumento considerable del 1,3 %, teniendo en cuenta que la industria hotelera es el área de mayor influencia e impacto económico en el país, por debajo del sector primario.

En el turismo, el sector hotelero es considerado parte esencial en la cadena de valor (Blanco González & Font Aranda, 2022). Por ello, es imprescindible gestionar la calidad del servicio a partir de las percepciones del cliente sobre los atributos que consideran importantes en su valoración para cubrir sus expectativas y brindarles una experiencia memorable (Font Aranda & Bey, 2021). Según Angamarca et al. (2019): “La evaluación de la calidad percibida de los servicios hoteleros debe considerar el enfoque al cliente como principio fundamental” (como se cita en López, 2022, p. 27). Actualmente, la industria hotelera se encuentra enfocada en la integración y el mejoramiento de los procesos tangibles e intangibles internos de la empresa, tales como la calidad del recurso humano, la calidad de los servicios, *marketing* digital, seguridad, abastecimiento de productos, mayor implementación tecnológica, entre otros (Méndez et al., 2021). Estos cambios en la intensidad y distribución de los flujos turísticos han cambiado el entorno y la forma de competir, lo cual obliga a las empresas del sector turístico a reenfocar su estrategia competitiva del mercado (Ruiz Cedeño et al., 2023).

Las empresas turísticas transnacionales, a través de la integración de la cadena hotelera, continúan en la implementación y la inversión de grandes proyectos, basadas no tan solo en hoteles lujosos, sino en propiedades urbanizadas con destinos turísticos para extranjeros en los siguientes sectores: Manabí, Esmeralda, Santa Elena, Amazonia y las islas Galápagos (Bravo et al., 2018). La integración de hoteles, con grandes cadenas de abastecimiento y almacenes en el país, se vuelve cada vez más sólida, lo que ha permitido tener un gran dominio en el mercado mundial. Según Bravo et al., “una muestra de las cadenas hoteleras internacionales posicionadas en el territorio ecuatoriano son las que siguen: Best Western International, Carlson Hospitality Worldwide, Hilton Hotels, Intercontinental, NH Hotel Group, Marriott International, Wyndham Corporations, Royal Decameron” (2018, p. 103).

Por otra parte, la globalización mundial sin precedente alguno es considerada un indicador de desarrollo empresarial, en la cual se evidencia las dificultades y crecimiento de la industria hotelera (Pelegrín Entenza et al., 2022). Esto debido a los grandes avances y cambios tecnológicos en el mundo, ya que cada vez estos en su mayoría son

implementados para este tipo de servicio, lo que implica generar grandes cambios y estrategias para satisfacer al cliente. A su vez, también existe una presión que ejercen los competidores que toman aspectos importantes de la globalización, y permiten tomar ventajas de ello.

Desde el punto de vista de Avilés & Acosta (2018), la globalización es un fenómeno político, económico, social, tecnológico y cultural a nivel mundial, en la cual los países intercambian información con el fin de innovar y variar todos los sectores relacionados con el comercio, finanzas, comunicación y sobre todo el turismo. Esto debido al desarrollo de los medios de transporte y mejoramiento tecnológico.

Ante esta situación, muchas empresas de la industria hotelera buscan la integración, la que es comprendida como una estrategia de negocio y cuyo propósito radica en la agrupación de empresas a través de fusiones, adquisiciones o acuerdos de cooperación a largo plazo, con el objetivo de mejorar la competitividad, inversión y expansión del mercado (Cobo & Gónzales, 2006). El sector hotelero, como el resto de los sectores productivos y de servicio del país, conlleva una gran expectativa e incertidumbre, debido a las etapas de las crisis que afectan a todas las áreas de la economía. Esto deja a la luz gran preocupación y falta de financiación para adoptar nuevas tecnologías, lo que a largo plazo frena la salida económica de muchas empresas, especialmente las pymes. Además, se ven deficiencias en la adaptación de las herramientas tecnológica a las verdaderas necesidades de los negocios hoteleros (Gómez et al., 2015).

Enfatizando lo anterior, el sector hotelero del país conlleva un gran vacío entre las distintas etapas de desarrollo de negocio, el desconocimiento de las estrategias y poco interés en la integración hotelera. Además de la falta de reconstrucción y mejoramiento urbano, se ha permitido que esta industria cada vez opere de manera tradicional y poco ortodoxa, en comparación con otros países desarrollados donde existe una mayor integración e innovación en los sectores hoteleros. Esto se evidenció a través de la gran crisis sanitaria, cuando el turismo como otras actividades fueron las más afectadas y tuvieron que reducir la jornada laboral y desvinculación del personal, renegociar los plazos de pago con los proveedores y el refinanciamiento de la deuda (Sinchi, 2022).

La puntuación de un hotel es la calificación o valoración que los huéspedes o usuarios otorgan al establecimiento en función de su experiencia durante su estancia. Esta puntuación generalmente se expresa en forma de un número o una escala de estrellas y se utiliza como un indicador para evaluar la calidad y el nivel de satisfacción de los servicios y comodidades ofrecidos por el hotel. El hotel que es parte de esta investigación tiene una puntuación de 8,9 en el sitio web Booking.

Con los avances tecnológicos en el sector hotelero y el turismo, se ha puesto de manifiesto la importancia de una adecuada gestión de la cadena de suministro. La

industria de servicios no se ocupa del flujo de bienes tangibles, pero creemos que se necesitan varios procesos para brindar el servicio de manera adecuada. En el área de bienes y servicios, gestionar correctamente la cadena de suministro (SC) ha demostrado ser una estrategia efectiva para establecer posición en el mercado y controlar consumos y costos para brindar valor agregado a los clientes (Del Cid Carrasco & Jiménez, 2018).

Los participantes en la industria hotelera están enfocados en mantener a los clientes. Para lograrlo, implementan estrategias de retención que incluyen la incorporación de sistemas de mejora continua en el servicio, como proporcionar bienes y servicios de alta calidad, brindar atención al cliente y considerar otros aspectos que generen altas expectativas en los visitantes, ya sean locales, nacionales o extranjeros.

Los consumidores a menudo ven los productos turísticos como una combinación de valores que se suman a los diversos componentes del servicio que conforman la red de servicios. Por lo tanto, es importante identificar las mejores formas de liderar estas redes, especialmente para las principales empresas de viajes que desean mantener una ventaja competitiva sobre sus rivales igualmente eficientes (Gómez et al., 2015).

La integración de la cadena hotelera es crucial para el éxito y la eficiencia de las empresas del sector. Como se menciona en un estudio reciente, "La integración de la cadena hotelera implica la colaboración y coordinación de todos los aspectos operativos y funcionales de los diferentes establecimientos hoteleros que conforman la cadena" (Martínez-Rodríguez, 2013). Esta integración se logra mediante la implementación de sistemas y procesos que permiten una comunicación fluida y una gestión eficiente de los recursos a lo largo de la cadena.

Además, la integración de la cadena hotelera facilita la estandarización de los servicios y la garantía de una experiencia consistente para los clientes en todos los establecimientos de la cadena. En definitiva, la integración de la cadena hotelera es esencial para optimizar la rentabilidad y competitividad de las empresas hoteleras en un mercado cada vez más exigente y globalizado (Gutiérrez-Campos, 2021).

Para abordar dicho estudio, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es el grado de integración y cuáles son las características distintivas de la cadena hotelera de un establecimiento particular ubicado en la ciudad de Machala, Ecuador, en relación con sus actores, debilidades y fortalezas?

2. METODOLOGÍA

El enfoque metodológico de esta investigación es de tipo cuantitativo y descriptivo, con el cual se ha precisado el cumplimiento y descripción de los principales actores y eslabones involucrados en la cadena hotelera. Asimismo, mediante el método empírico, se llevó a cabo la ejecución de las entrevistas a cada uno de los *stockholders* vinculados

con el hotel. También se desarrolló el método análisis-síntesis como parte del análisis e interpretación de argumento de fuentes secundarias, con el cual se logró identificar el problema y los antecedentes relacionados al tema de investigación. En función de ello, se utilizaron principios básicos de la cadena de suministro como el mapeo de la cadena.

Se evaluó la integración de la cadena mediante la lista de chequeo, cuya herramienta cuenta con siete dimensiones: estrategia (D_1), información (D_2), planeación (D_3), compras (D_4), inventario (D_5), transporte (D_6) y desempeño colaborativo (D_7) (Sablón et al., 2021). Además, se aplicaron el modelo de fiabilidad alfa de Cronbach, para medir la consistencia interna del instrumento, y el análisis descriptivo por dimensiones (frecuencia, medianas, dispersión). Para ello, se utilizó las correlaciones entre variables y se calculó el nivel de integración en la cadena hotelera.

Si el valor obtenido en el índice del nivel de integración de las cadenas de suministro (NICS) se encuentra en el rango de cero a uno, se clasifica como "nivel muy bajo"; si está en el rango de uno a dos, "nivel bajo"; en el rango de dos a tres, "nivel medio"; si se sitúa entre tres y cuatro, "nivel alto"; y si supera cuatro, pero no llega a cinco, "nivel muy alto". Estos cinco niveles de NICS contribuyen al análisis e indican que una evaluación satisfactoria de las dimensiones sugiere un nivel adecuado de integración en la cadena de suministro (ICS). La determinación del nivel de integración en la cadena de suministro depende del actor con el valor más bajo en el índice de nivel de participación en la cadena (NPC), donde:

P_n : Peso específico de importancia otorgada por los expertos para la dimensión n

NI_{CS} : Nivel de integración de la cadena

Mo_n : Moda calculada para cada $E_{n,m}$ y para cada CD_n

A la vez, se aplicó la lista de chequeo para la evaluación de la sostenibilidad en la industria hotelera; esto mediante la herramienta diseñada por Rodríguez Rudi (2022).

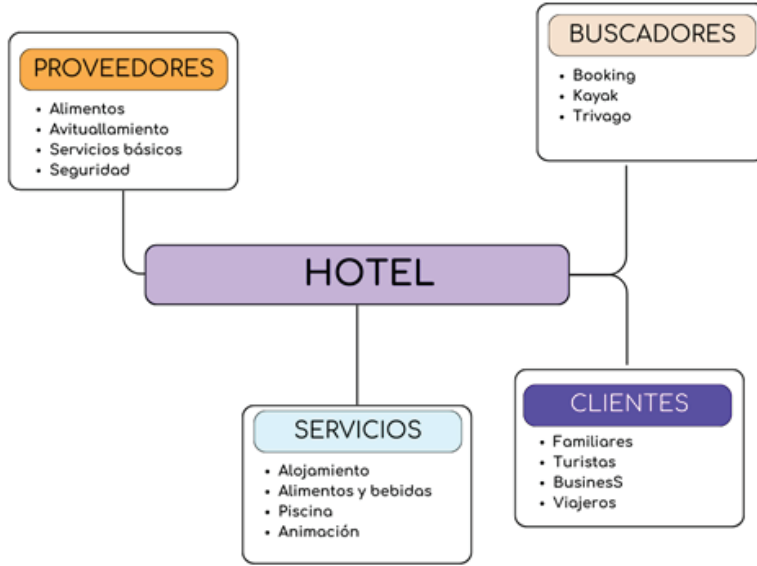
3. RESULTADOS

Caracterización de cada actor de la cadena hotelera

La cadena de suministro está compuesta por cuatro eslabones: (1) los proveedores, quienes suministran los insumos necesarios para que el operador de transporte funcione; (2) la empresa de transporte, que establece la infraestructura, los recursos humanos y monetarios para ofrecer el servicio a los usuarios; (3) los centros de distribución de servicios, en este caso las terminales terrestres o puntos de embarque caracterizados por ser los puntos de entrada y salida en el proceso de transporte; y, por último, (4) los clientes o usuarios, quienes aceptan contratar y adquirir los servicios del operador de transporte (véase la Figura 1).

Figura 1

Relaciones entre los actores y eslabones de la cadena objeto de estudio



A continuación, se describen los eslabones y sus actores en general:

Eslabón 1. Proveedores

Los proveedores de un hotel son las empresas o individuos que suministran los productos y servicios necesarios para el funcionamiento diario y la operación del hotel. Estos proveedores pueden abarcar una amplia gama de áreas y servicios para garantizar que el hotel ofrezca una experiencia de alta calidad para sus huéspedes (véase la Tabla 1).

Tabla 1

Relación detallada de los suministros y las empresas proveedoras que están bajo consideración en el hotel objeto de estudio

Nombre del proveedor	Productos que provee
Proveedor 1	Queso, yogur y mantequilla
Proveedor 2	Pollo, chuleta, jamón, salsas y pavos
Proveedor 3	Tocino, salchicha y botón paisa
Proveedor 4	Salchicha ranchera
Proveedor 5	Leche entera y queso fresco
Proveedor 6	Salchicha paisa

(continúa)

(continuación)

Nombre del proveedor	Productos que provee
Proveedor 7	Salsas y aceite
Proveedor 8	Aceite y achiote
Proveedor 9	Panko (tipo de apanadura)
Proveedor 10	Corvina en filete, pulpo y tinta de calamar
Proveedor 11	Baby back, costilla de chicharrón, matambre y longaniza ahumada
Proveedor 12	Arroz, azúcar y harina
Proveedor 13	Leche condensada, pimienta molida, orégano seco en hoja, ciruela pasa, curry amarillo, ají para seco, granola, chía, sal prieta, granola, salvado de trigo, pimienta en grano, pepa de zambo, hojas de laurel, nueces y canela en rama
Proveedor 14	Manjar, vainilla blanca, chantilly, chocolate en lágrimas, levadura (Fleischmann), Mass Cream, coco rallado, leche en polvo, manteca, chocomanjar, guayaba, azúcar en polvo (micro pulverizada), polvo de hornear, gelatina sin sabor, hojaldrina y Marva
Proveedor 15	Papa precocida, maíz dulce congelado y arveja precocida congelada
Proveedor 16	Queso crema
Proveedor 17	Almidón de yuca, fideo macarrón, fettuccine, pasta tornillo tricolor, espagueti #5 y cabello de ángel
Proveedor 18	Helado de vainilla y helado de chocolate
Proveedor 19	Lenteja seca, frejol bolón seco, canguil, avena, tostado y mote
Proveedor 20	Base para torta redonda de doce pulgadas, guantes azules en talla mediana, funda de basura "La Dura" de 30 x 36 cm, guantes negros para lavar platos, papel de cocina, escobas, delantales amarillos, fundas de empaque al vacío (grandes, medianas y pequeñas)
Proveedor 21	Vino blanco y vino tinto

Eslabón 2. Clientes

Machala es una ciudad que se encuentra en la provincia de El Oro, en la costa sur de Ecuador, en América del Sur. Es la capital de la provincia de El Oro y es una ciudad importante en términos económicos, agrícolas e industriales en la región. Algunos puntos clave sobre la ciudad de Machala incluyen a su economía —que es diversificada, pues incluye actividades agrícolas, industriales y comerciales—, y a su producción y exportación de plátanos y camarones —como dos de las principales actividades económicas de dicha ciudad—.

Algunos de los lugares turísticos de la ciudad de Machala son Parque Centenario, Parque Buenos Aires, Plazoleta Bolívar Madero Vargas, Parque Juan Montalvo Machala, Plaza Machala Amor y Esperanza, Plazoleta Bolívar Madero Vargas, Paseo Cultural Diego Minuche Garrido, Museo Arqueológico y Paleontológico Casa de la Cultura, Catedral Machala (Go raymi, 2023).

Eslabón 3. Hotel

Los servicios ofrecidos por un hotel pueden variar en función del tipo de establecimiento, su clasificación, ubicación y enfoque. Indudablemente, el componente central de los servicios de hospedaje se centra en las habitaciones del hotel, que están diseñadas para proporcionar comodidad y satisfacer las necesidades de descanso, sueño y trabajo de los clientes. Entonces, la función principal de una habitación es garantizar un ambiente propicio para el descanso. Sin embargo, de acuerdo a la naturaleza del hotel y de las preferencias de sus huéspedes, otras funciones pueden ser igualmente importantes, tales como la capacidad de llevar a cabo actividades laborales en la habitación. Esto es especialmente característico de hoteles de categoría empresarial, que suelen estar equipados con escritorios, teléfonos, faxes y computadoras para facilitar el trabajo de los clientes durante su estancia (Cortes, 2023).

Los servicios que brinda el hotel que ha sido parte de esta investigación son los siguientes: wifi gratuito en todo el hotel, estacionamiento (incluido estacionamiento bajo techo), *valet parking*, piscina climatizada, salones de eventos (bodas, sociales y corporativos), gimnasio, habitaciones cómodas y confortables, restaurante y bar-discoteca, servicio de lavandería, servicio *pet friendly*, desayuno *buffet* incluido y centro de negocios. La entidad se ubica en el centro de la ciudad de Machala, el hotel ofrece hospitalidad y comodidad.

Por otro lado, un hotel es un establecimiento que proporciona alojamiento temporal a los viajeros y visitantes a cambio de un pago. Además, los hoteles varían en tamaño, categoría y servicios ofrecidos, pero en general, su objetivo principal es brindar a los huéspedes un lugar cómodo y seguro para descansar durante su estadía.

Asimismo, los hoteles tienen una clasificación de una a cinco estrellas doradas. En particular, el hotel estudiado en la ciudad de Machala tiene una calificación de cuatro estrellas, de acuerdo a la Ley de Turismo del Ecuador.

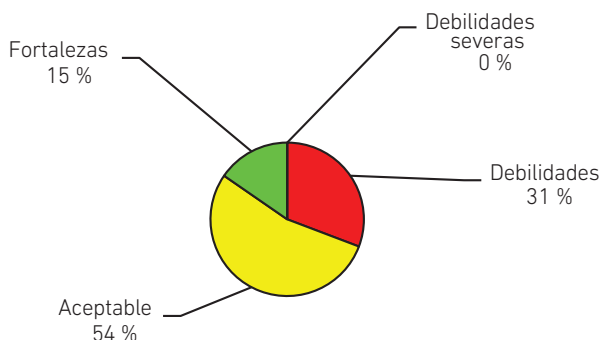
Finalmente, el tamaño del hotel, expresado en términos del número de habitaciones disponibles, constituye otro criterio legítimo para su clasificación. Por ello, los hoteles también se categorizan en grupos específicos según la cantidad de habitaciones o la dimensión estructural del establecimiento (Super, 2022).

Evaluación de la integración

En la evaluación subsiguiente, se desarrolló un conjunto de criterios de valoración y se asignó calificaciones en una escala del 1 al 5 a todos los proveedores de dicho estudio. El propósito subyacente es discernir el grado de integración alcanzado por cada uno de los actores que conforman la cadena hotelera. Estos esfuerzos de evaluación son esenciales para identificar áreas de mejora y fortaleza dentro de la cadena, y así contribuir con un enfoque más efectivo en la búsqueda de niveles óptimos de integración en el contexto hotelero.

Figura 2

Exploración y evaluación conjunta de las fortalezas y debilidades de los actores



De los actores evaluados, el 31 % presenta debilidades, un 54 % presenta un estado aceptable, un 15 % tiene fortaleza y no existen debilidades severas.

Por otro lado, se han identificado las variables de mayor debilidad (véase la Tabla 2). Estas son los contratos, indicadores para la evaluación del desempeño y los clientes.

Tabla 2

Información sobre los resultados obtenidos a partir de las variables relacionadas con la integración

Elemento del modelo de cadena de suministro	Valoración del estado actual	Clasificación por nivel
Estrategia de la empresa	3,83	Alto
Objetivos estratégicos	4,18	Alto
Formulación de los escenarios en la organización	4,07	Alto
Contratos	2,43	Bajo
Información	2,98	Medio
Planes	3,63	Medio

(continúa)

(continuación)

Elemento del modelo de cadena de suministro	Valoración del estado actual	Clasificación por nivel
Pronóstico de la demanda	3,20	Medio
Compras	3,56	Medio
Gestión de inventario	3,44	Medio
Proveedores	3,55	Medio
Distribución de mercancía	3,69	Medio
Indicadores para la evaluación del desempeño	2,85	Bajo
Clientes	2,74	Bajo
Evaluación media de las empresas	3,23	Medio

Por otra parte, se observa que el nivel más bajo de integración dentro de la cadena es de 2,52, ya que este es el valor mínimo registrado por uno de los actores que forman parte de dicha cadena (véase la Tabla 3). Como resultado de este hallazgo, la cadena se clasifica en el tercer nivel de integración, denominado *asociación*. En este nivel, cada empresa enfrenta, principalmente, la colaboración en términos económicos u otros intereses comerciales críticos, en lugar de buscar alianzas que fortalezcan su estrategia de negocio.

Tabla 3*Información sobre el nivel de integración alcanzado por cada actor*

Número	Empresa	País	Puntuación	Calificación por nivel
1	Actor 1	Ecuador	3,52	Medio
2	Actor 2	Ecuador	3,46	Medio
3	Actor 3	Ecuador	2,12	Bajo
4	Actor 4	Ecuador	2,92	Medio
5	Actor 5	Ecuador	2,68	Bajo
6	Actor 6	Ecuador	2,94	Medio
7	Actor 7	Ecuador	2,94	Medio
8	Actor 8	Ecuador	2,59	Bajo
9	Actor 9	Ecuador	2,72	Bajo
10	Actor 10	Ecuador	2,80	Bajo
11	Actor 11	Ecuador	2,52	Bajo
12	Actor 12	Ecuador	2,83	Bajo
13	Actor 13	Ecuador	3,51	Medio
14	Actor 14	Ecuador	3,02	Medio

(continúa)

(continuación)

Número	Empresa	País	Puntuación	Calificación por nivel
15	Actor 15	Ecuador	3,11	Medio
16	Actor 16	Ecuador	3,61	Medio
17	Actor 17	Ecuador	3,12	Medio
18	Actor 18	Ecuador	2,96	Medio
19	Actor 19	Ecuador	4,21	Alto
20	Actor 20	Ecuador	3,22	Medio
21	Actor 21	Ecuador	3,10	Medio
22	Actor 22	Ecuador	4,27	Alto
23	Actor 23	Ecuador	4,15	Alto
24	Actor 24	Ecuador	2,75	Bajo
25	Actor 25	Ecuador	2,97	Medio
26	Actor 26	Ecuador	3,59	Medio
27	Actor 27	Ecuador	3,80	Alto
28	Actor 28	Ecuador	4,16	Alto
29	Actor 29	Ecuador	4,16	Alto

Por otro lado, la evaluación de la sostenibilidad del hotel presenta un valor alto de forma general, y sus debilidades se centran en las capacidades de eco innovación y las capacidades proactivas de estrategias (véase la Figura 3).

Figura 3

Resultados de la evaluación de la sostenibilidad del hotel



4. DISCUSIÓN

A modo de síntesis, esta investigación se ha enfocado, a través de los principios básicos y del conocimiento práctico y teórico de la filosofía de la integración de la cadena de suministro (ICS), en la integración hotelera de un hotel en la ciudad de Machala, Ecuador. Además, se llevó a cabo un estudio de tipo cuantitativo y cualitativo, con diferentes dimensiones a evaluar, las cuales se detallan en este artículo. La evidencia empírica obtenida mediante otros estudios demuestra distintos niveles y dimensiones para evaluar. Por ejemplo, según Carrasco y Jimenéz (2018), la implantación de la integración de una cadena hotelera en Honduras efectuada en cuatro dimensiones, como son la estrategia, el liderazgo, la logística y el abastecimiento, representa un proceso que involucra inversiones significativas con un retorno de la inversión que se materializa de manera gradual. Esta circunstancia se combina con la urgencia de ajustarse ágilmente a los cambios en el mercado.

Desde el punto de vista de Monagas Docasal y Alemán (2018), los indicadores por medir en la integración hotelera no siempre pertenecen a un conjunto de dimensiones intangibles o tangibles, sino que también vale precisar y evaluar las percepciones del cliente, ya que al finalizar este estudio se evidenció que los hoteles que cumplen con estas dimensiones —como son la accesibilidad de los productos, la cortesía y el trato personalizado, la oferta atractiva, la credibilidad en los empleados y la seguridad— contemplan mayor oportunidad en el mercado con un alto nivel de posicionamiento.

Desde el punto de vista de Alcívar (2021), se señala que los hoteles deben cambiar su visión y enfocarse en tres dimensiones que brinda aspectos positivos a la cadena de valor. Estos son la buena infraestructura, los servicios y la percepción del cliente, los mismos que pueden ser evaluadas cuantificablemente para determinar el nivel de aceptación que tienen los clientes del hotel.

5. CONCLUSIONES

La integración de la cadena hotelera juega un papel muy importante en el contexto global dentro de la cadena de valor, pues cada vez esta industria exige grandes cambios y adaptación en el mercado. Frente a ello, la ingeniería, así como el avance tecnológico, han generado una mayor competitividad en la industria hotelera, cuyo logro es la integración de proveedores potenciales y personal calificado. Asimismo, han vinculado centros nocturnos, almacenes y comisariato, todo en un solo sitio.

Los resultados demuestran una integración equivalente a un coeficiente inferior al punto máximo en cada uno de los actores de la cadena del hotel. En ese sentido, se logra identificar un total de cuatro eslabones: proveedores, instalaciones, departamentos de servicios y recepción, los mismos que cuentan con veintinueve actores de manera interna y externa.

El eslabón más débil corresponde a los departamentos de servicios, para lo cual es necesario implementar estrategia de negocios, implementar políticas, mejorar la información y publicidad, mejorar la infraestructura y llevar capacitaciones con los proveedores y del personal. Estos factores son clave para contribuir al incremento de los niveles de integración.

6. REFERENCIAS

- Alcívar, A. (2021). *Sistema de indicadores de innovación para medir su incidencia en la gestión del hotel Mantahost de la ciudad de Manta* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio Digital ESPAM. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1590>
- Avilés, B., & Acosta, G. (2018). El sector hotelero y su papel en los procesos de globalización. *Revista Yura*, (13), 63-86. <https://yura.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2017/12/13.5-El-sector-hotelero-y-su-papel-en-los-procesos-de-globalizaci%C3%B3n.pdf>
- Blanco González, G., & Font Aranda, M. (2022). The concept of quality service in hotel management. *Revista Venezolana de Gerencia*, 27(97), 212-228. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.97.15>
- Bravo, L., Alonso, A., & Pérez, M. (2018). La actividad turística en el Ecuador. ¿Turismo consciente o turismo tradicional? *ECA Sinergia*, 9(1), 97-108. https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v9i1.1195
- Cobo, F., & Gónzales, L. (2006). La integración y la cooperación en las estrategias de *marketing* relacional. El caso del sector hotelero internacional. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, (39), 523-554. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1465583.pdf>
- Cortes, D. (2023). *Características de los servicios hoteleros*. Universidad CESUMA. <https://www.cesuma.mx/blog/caracteristicas-de-los-servicios-hoteleros.html>
- Del Cid Carrasco, J., & Jiménez, C. (2018). Integración y TIC en hoteles: importancia de su implementación conjunta. *Economía y Administración*, 9(1). <https://doi.org/10.5377/eya.v9i1.6652>
- Font Aranda, M., & Bey, J. M. P. (2021). Retrospectiva de la gestión turística para el cambio de calidad en la provincia de Manabí, Ecuador. *Atelie Gêográfico*, 15(1), 50-74. <https://doi.org/10.5216/ag.v15i1.65647>
- Go Raymi. (2023, 8 de junio). *Lugares turísticos de Machala*. <https://www.goraymi.com/es-ec/el-oro/machala/rutas-paseos/lugares-turisticos-machala-amuvu6s8b>

- Gómez, B., Tapia, A., & Garrido, B. (2015). Integración de las TIC en la gestión de la comunicación de las pymes españolas. El sector hotelero vallisoletano. *Zer. Revista de Estudios de Comunicación*, 20(38), 211-231, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5156064>
- Gutiérrez Campos, M. (2021). *Análisis del sector hotelero en España: el caso de Meliá Hotels International* [Tesis de doctorado, Universitat Politècnica de València]. RiuNet repositorio UPV. <http://hdl.handle.net/10251/171400>
- López Cruz, M. (2022). *Evaluación de la calidad percibida de hoteles de ciudad. Caso hoteles encanto de la ciudad de Matanzas* [Tesis de doctorado, Universidad de Matanzas]. REIN. <https://rein.umcc.cu/handle/123456789/1375>
- Martínez-Rodríguez, J. (2013). Los sistemas de información en el sector hotelero: un modelo de éxito [Tesis de doctorado, Universitat de Girona]. Tesis Doctorales en Xarxa. <http://hdl.handle.net/10803/319717>
- Méndez, M., Fernández, J., & Martín, C. (2021). Medición de la satisfacción a través de los atributos de la calidad percibida en una muestra de clientes de hoteles. *ROTUR. Revista de Ocio y Turismo*, 15(1), 78-97. <https://doi.org/10.17979/rotur.2021.15.1.5985>
- Ministerio de Turismo del Ecuador. (2022, 10 de julio). *Rendición de cuentas 2020*. <https://www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Presentacio%CC%81n-Informe-de-Rendicio%CC%81n-de-Cuentas-MINTUR-2020-compressed.pdf>
- Monagas Docasal, M., & Alemán, S. (2018). La mejora de los procesos en el Hostal Valencia. *Cofin Habana*, 12(1), 111-123. <https://revistas.uh.cu/cofinhab/article/view/965>
- Pelegrín Entenza, N., Vázquez Pérez, A., & Pelegrín Naranjo, A. (2022). Rural agrotourism development strategies in less favored areas: the case of hacienda Guachinango de Trinidad. *Agriculture*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/agriculture12071047>
- Rodríguez Rudi, G. (2022). *Gestión ambiental proactiva y la competitividad del sector turístico hotelero, bajo el enfoque de capacidad dinámica. Estudio empírico de Veracruz* [Tesis de doctorado, Universidad Veracruzana]. Repositorio Institucional de la Universidad Veracruzana. <https://www.uv.mx/dadministrativas/obtencion-grado-giselle/>
- Ruiz Cedeño, A., Cuétara Sánchez, L. M., Martín Fernández, R.A., & Márquez Ortiz, L. E. (2023). Estrategia comercial para el posicionamiento de organizaciones hoteleras en el destino sol y playa Crucita. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(9), 595-612. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.e9.37>
- Sablón, N., Crespo, E., Pulido, A., Acevedo, A., & Ruiz, S. (2021). Análisis de integración de la cadena de suministros en la industria textil en Ecuador. Un caso de

estudio. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 29(1), 94-108. <https://hdl.handle.net/20.500.12442/7229>

Sinchi, A. (2022). *La industria hotelera del Ecuador. Un análisis financiero a las principales cadenas antes, durante y después de pandemia* [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Super. (2022, 10 de abril). *Clases de hoteles y sus características*. Super Camarero. https://www.supercamarero.com/2022/02/Tipos%20de%20hoteles.html#:~:text=Hotel%20grande%3A%20Son%20Hoteles%2C%20con,spa%2C%20gimnasio%2C%20masajes%20etc_

FUTURE SCENARIOS OF THE COPPER INDUSTRY. A PROSPECTIVE STUDY OF THE COPPER SECTOR IN PERU*

SANTIAGO ARÉVALO RODRÍGUEZ**

<https://orcid.org/0000-0001-7226-1857>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

JOAQUÍN EDUARDO PISCOYA ÁLVAREZ

<https://orcid.org/0000-0001-9571-3174>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 7 de septiembre del 2023 / Aceptado: 24 de septiembre del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6637>

ABSTRACT. Mining has led to multiple social conflicts between communities and companies. However, at the same time, it has been the activity with the greatest contribution to Peru's gross domestic product for more than a decade, especially copper mining. The importance of copper lies in the fact that it is one of the basic raw materials for the manufacture of products and the expansion of global industries. This research seeks to identify and analyze the possible behavioral scenarios that will support copper mining in the next five years. Foresight (projection of future scenarios), along with the judgment of experts in the field, was used for conducting the research. This methodology employs a non-experimental design and aims at both exploratory and descriptive results. The main findings include an increase in the electricity cost for mining and the continuation of an unfavorable political leadership for its development. It is clear that this issue is taking place in a sensitive context due to the constant social conflicts that occur in favor of the growth of industry. This study will undoubtedly propose solutions to this disparity and will research whether, in any scenario, copper mining and the total population of a copper-rich country can really coexist.

KEYWORDS: copper / copper mining / foresight / variable / scenario

* Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

** Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: santiagoarevalorrr@yahoo.com; joaquinpiscoyaalvarez@gmail.com

ESCENARIOS FUTUROS DE LA INDUSTRIA CUPRÍFERA. UN ESTUDIO PROSPECTIVO DEL SECTOR EN EL PERÚ

RESUMEN. La minería ha generado múltiples conflictos sociales entre comunidades y empresas; sin embargo, ha sido la actividad con mayor contribución al producto interno bruto del Perú desde hace más de una década, sobre todo, la explotación cuprífera. La relevancia del cobre radica en que es una de las materias primas básicas en la fabricación de productos y la expansión de las industrias globales. A través de este artículo, se busca identificar y analizar los posibles escenarios de comportamiento de la minería cuprífera en los siguientes cinco años. Para el desarrollo del trabajo, se utilizó una prospectiva (proyección de escenarios a futuro) sumada al juicio de expertos en la materia. La metodología utilizada es el diseño no experimental y apunta a un resultado tanto exploratorio cuanto descriptivo. Entre los principales hallazgos, destacan un aumento del costo de la energía eléctrica para la actividad minera y la continuación de un manejo político desfavorable para su desarrollo. Es claro que este tema se desarrolla en un contexto delicado por los constantes conflictos sociales que se originan en pro del crecimiento de la industria. Sin duda, a raíz de este estudio, se podrán plantear soluciones a esta disparidad y a indagar si realmente, en algún escenario, podrán coexistir la actividad cuprífera y la población total de un país colmado de este mineral.

PALABRAS CLAVE: cobre / minería cuprífera / prospectiva / variable / escenario

1. INTRODUCTION

Copper, silver, and gold mining has been the cornerstone of the economic and sociocultural development of Andean societies for at least the last three millennia (Guédron et al., 2021). However, the first of these metals has not ceased to be important for the Peruvian nation even today. Thus, according to Hanni and Podestá (2019), copper is the mineral that has contributed the most foreign exchange to mining in Peru since it has accounted for about 23 % of the total exports in the last 10 years. Likewise, as mentioned by García and Pantigoso (2020), as of 2019, Peru has been the second largest copper producer (12 % of world production) with approximately 2,46 million tons. However, this positive outlook does not necessarily imply permanence; it is therefore essential to ask certain questions about the future context of the copper sector.

There are variables that have a significant impact on the stability and development of the Peruvian copper industry. Therefore, it is important to first determine which of them are exogenous and which are endogenous, then assess which features characterize them and, most importantly, see how they relate to each other (Andújar-Palao et al., 2021). The different interactions of these variables were considered in this research to visualize the future scenarios for copper industry in Peru and identify the most appropriate ones for its continuous development.

1.1 Rationale

Copper mining in Peru is one of the main drivers of the Peruvian economy. According to Landa Arroyo (2017), copper exports account for about 23 % of the country's total exports per year. Yet, from an environmental point of view, the population's discontent is growing because of the continuous and increasing presence of the mining industry, which in the country is often associated with phenomena such as environmental degradation, threat to native species, and harm to the lifestyle of surrounding villages. Likewise, the image of mining companies is often related to economic inequality and an unwillingness to redistribute wealth and development to the populations indirectly affected by this type of resource exploitation. However, regarding this point, Cornejo (2018) states that the main problem is the municipal and government management since the amounts of money contributed by mining fees are abysmal. Therefore, they are not used to improve health and education infrastructures and to repair the damage caused to the soil or to the standard of living of citizens and the environment; this situation does not end up being a responsibility and negligence of the mining company in question but rather a demonstration of the ineffectiveness of the political authorities.

Similarly, Landa Arroyo (2017) believes that this feature—the inefficient management of mining resources for the population—can be explained by two reasons. First, the State's lack of vision for sustainability, and second, the incipient and slow process of

regionalization in Peru. Cornejo (2018) concluded that, despite the environmental impact of mining companies, they—in cooperation with the State—are working to remedy this situation. Likewise, there is evidence that, in formal mining, there is willingness to financially compensate those who have suffered negative consequences of the activity. On the contrary, mineral extraction operations that have the most negative impact on ecosystems and the lives of the inhabitants are the informal ones. Informal mining follows unregulated processes and disposes of its waste in an irresponsible manner, resulting in an aggressively polluting activity. The abundant presence of this activity in the country is mainly due to poor control, high mineral prices, and the lack of employment and State presence in rural areas.

Economically, Peru has experienced remarkable changes in the copper sector. The exploitation of minerals other than gold, such as copper, is striking. This fact is convenient based on the idea of Miguel Cardozo, Vice President of the Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (IMP), who claimed in an interview with the “Red de Comunicación Regional del Perú” in 2021 that, the price of copper has increased by more than 70 % in the last 12 months, reaching even more than USD 4 a pound.

On the other hand, the demand for this mineral is expected to continue to grow with the addition of new sustainable energy technologies in the coming years (Kuipers et al., 2018). It is estimated that 1,74 million tons of copper will be used to manufacture electric vehicles, according to a research conducted by the International Copper Association in 2017. However, despite being the second largest producer worldwide, this will represent a product attrition in the country compared to 2030, as there will be a 20 % shortage in copper supply to meet the increased demand for the red metal, says Cardozo in the interview.

On the social aspect, mining in Peru has always been a focus of conflicts between the population and mining companies. According to the last report issued by the Ombudsman’s Office of Peru in December 2021 (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2021), more than 200 social conflicts were registered per month, a figure not reached since 2018. Dunlap (2019) mentions that one of the projects with the greatest social impact in the country is the so-called “Tía María” (Valle del Tambo, Arequipa), which planned to extract 120 000 tons of refined copper per year through an investment of USD 1,4 billion and would last approximately 18 years. Dunlap (2019) states that the main reasons for the protests and conflicts that have occurred between Southern Copper Corporation and the people of Valle del Tambo have been the result of Southern’s mismanagement. For example, groundwater pollution from tailings, even though they are used by the entire population for everyday purposes, and air pollution from PM2.5 and PM10, which can penetrate deep into the lungs and pose significant health risks, are attributed to the company’s inappropriate waste management in the area.

1.2 Copper Industry in Peru

Based on a detailed review of several documents of the copper sector in Peru, the article *Minería del cobre en Perú: análisis de las variables exógenas y endógenas para gestionar su desarrollo* [Copper Mining in Peru: Analysis of Exogenous and Endogenous Variables to Manage its Development] (Andújar-Palao et al., 2021) will be one of the basic academic sources for this research. This document and others will help us simulate and analyze future scenarios for the Peruvian copper industry in relation to its internal and external variables. The internal or endogenous variables were the following: production efficiency, transport logistics efficiency, job creation, and energy supply. On the other hand, the external or exogenous variables were as follows: investment attractiveness, socio-environmental conflicts, China's demand, demand for sustainable economy, water availability, political leadership, geological potential, and price volatility.

For some internal variables, according to Vidal et. al (2019), production efficiency is determined through the management of different factors. These include labor costs, unit costs, new technologies, among others. In Latin America, labor costs tend to be relatively low. On the other hand, based on a report by the Mexican Center of International Relations in 2019, electricity cost in Peru ranks second in Latin America, with the most expensive electricity price ranging from USD 0,16 to 0,20 per kWh, only behind Uruguay, whose prices exceed USD 0,20 per kWh. Furthermore, this variable has a direct relationship with job creation in the country pursuant to the journal of the National Society of Mining, Oil and Energy of 2022, for this year, the mining sector would generate approximately 2,3 million new jobs due to the post-pandemic economic recovery of companies.

On the other hand, two of the aforementioned external variables are related to a significant impact on current and future copper mining. The first one is "political leadership." In the opinion of Andújar-Palao et al. (2021), Peruvian mining used to face two contexts: first, a government that rarely intervenes in dialogues or renegotiations with mining unions; and second, an endemic corruption in the sector. However, with the arrival of the new Peruvian president in 2021, who belongs to a left-wing party, it was assumed that the new government would get deeply involved in this sector. The objectives would be to control the mining fee and to reassess this economic activity's percentage received by both mining companies and the government. Naturally, this development is of concern to mining companies. Moreover, as is evident, a new government has an impact on the second variable, "investment attractiveness" since when a president with such characteristics begins his/her term of office, there is uncertainty among investors. This is due not only to the president's personal profile but also to the history of how left-wing leaders have traditionally influenced, with their measures, the economies of the countries of this region, especially in fundamental extractive activities such as mining.

Schipper et al. (2018) state that copper demand grew rapidly throughout the 20th century, and that there is no indication that this growth will slow down in the short term. For their study, the authors made an estimate of copper demand for year 2100, finding a range between 3 and 21 times the current copper demand. The difference between scenarios lies in fluctuations between population, gross domestic product (GDP), and renewable energy adoption. Lagos et al. (2020) reaffirm this idea, as they conclude that Chile would produce 143,7 million tons of copper between 2019 and 2035, below the 210 million tons of remaining reserves estimated by the United States Geological Service (USGS) in 2017. However, it should be clarified that it does not deny a decrease due to the current lack of knowledge about the projects that could be developed in the future.

On the other hand, all metals exist in finite reserves and resources on Earth (Sverdrup et al., 2019). As a result, a pertinent question would be whether this could become a long-term availability problem, especially given the demand for electrical products that use copper as main raw material. In their simulation, it was found that in the future, copper supply will be significantly higher than its primary production. Copper production is expected to peak by 2050 and decrease thereafter as a primary source. However, copper will be present in human societies long after copper mines are depleted, as it will be supplied through recycling and urban mining.

Within the technological context, Haas et al. (2020) conducted a research on seven of the world's largest copper mines. The objective was to design the energy supply based on solar and mineral storage technologies until 2050. The results suggested that all regions studied should already have solar generation of 25 to 50 % of the annual electricity demand in 2020. By 2030, sunny regions should enjoy an almost fully renewable supply, while regions with fewer solar resources will become predominantly solar by 2040. Additionally, Behar et al. (2021) indicated that incorporating solar energy into mining processes opens an opportunity to reduce the carbon footprint associated with mining activity. Upon completion of the research, the authors found that optimized changes in current operations to adapt the availability of solar resources could be an attractive solution for the massive incorporation of solar energy into mining.

As for the national level, Andújar-Palao et al. (2021) carried out an analysis and identification of those internal and external variables that manage the development of the copper industry in Peru, among which they included as endogenous: production efficiency, transport logistics efficiency, job creation, and energy supply; and as exogenous: investment attractiveness, socio-environmental conflicts, China's demand, demand for sustainable economy, water availability, political leadership, geological potential, and price volatility. Likewise, Gonzalez et al. (2019) classify Peru's climate conditions as an important external variable to consider since there are extreme rainfalls in the mining regions of the country, which could affect both the time and ease of overland transport of the mineral. In addition, they detail that weather would also influence the availability of

water because part of the water resource from rainfalls is used for this industry. Thus, due to the fact that a possible reduction in the frequency of rainfalls is expected for the next few decades, it is assumed that this will imply a possible water scarcity in the country; as a result, mining would be affected and forced to increase its costs.

In terms of theoretical background, Elshkaki et al. (2018) projected a model with multiple scenarios of potential metal demand between 2010 and 2050. Under alternative global development patterns and using CMLCA software, they calculated the “cradle-to-door” environmental impacts (i.e., from the actual extraction of raw material to the output of the manufactured product) of producing 1 kg of each metal. On the other hand, Sverdrup et al. (2019), in their study of the long-term sustainability of copper, zinc, and lead, used the STELLA software, which differs from the STELLA software typically used to simulate life-cycle stages, as it was employed to simulate the dynamics of supply, demand, and market prices for these metals. Additionally, Gonzalez et al. (2019) used ETCCDI’s software to project the impact of extreme rainfalls in Peru. This program is traditionally employed for weather forecasting.

2. METHODOLOGY

This was a non-experimental, exploratory, and descriptive research. The key variables that condition the development of the copper industry in Peru were projected prospectively—through critical expert judgment and collective reflection—for the creation of future scenarios in the sector. This qualitative research methodology was based on four phases, which are detailed in Table 1 along with their scope, techniques, and tools.

Table 1

Research Phases

Phase	Scope	Techniques	Tools
1. Identification and validation of key variables for the system	Literature review for the identification, selection, and prioritization of key variables through expert interviews	Prioritization matrix Expert interviews	Comparison table of variables Interview guide
2. Creation of future scenarios	Creation of future scenarios and outlining according to the probability of occurrence	Scenario simulation	Smic-Prob-Expert software
3. Selection of the trend core and the most suitable scenarios	Interpretation of the most likely simulation scenarios and search for the most suitable ones	Scenario simulation	Pareto chart, focus group with experts

(continúa)

(continuación)

Phase	Scope	Techniques	Tools
4. Prioritization of strategies to achieve the chosen scenarios	Strategy prioritization according to their probability of occurrence and validation with expert interviews	Strategy prioritization Expert interviews	Importance and governance (IGO) matrix Interview guide

The first phase involved a literature review to identify the key variables of the country's copper sector and subsequently classify them. For this purpose, an extensive research was carried out in different databases such as Scopus and Web of Science. This review made it possible to confirm the variables with the greatest impact on the development of the mining industry since they were also found in the documents consulted. To determine the hierarchy of the aforementioned variables, a prioritization matrix (Casas Rivera & Giraldo Gómez, 2014)—i.e., a tool that allows organizing parameters according to their dependence and influence relationships—was used.

Once this matrix was prepared, the five most important and influential key variables were selected. This selection was validated with the input of five experts in the field through interview guides where they expressed their various points of view due to the decisions made in the previous matrix. The selected experts were representatives of the national and international mining industry (Table 2).

Table 2
Expert Chart

Expert	Code	Years of Experience	Profile
1	E01	22	Legal representative of one of the largest mining companies in the country.
2	E02	25	Leader of one of the most long-standing mining companies.
3	E03	16	Metallurgical engineer with experience in the copper sector.
4	E04	30	Leader of a long-standing mining company.
5	E05	10	Strategic partner of one of the mining companies in southern Peru.

After defining, evaluating, and subsequently verifying the variables, a prospective study was conducted. The tools made it possible to organize and structure, in a clear and efficient manner, the joint reflection on current and future challenges. Furthermore, the

prospect could also be used to evaluate strategic options (Godet, 2007). To this end, it was necessary to simulate the interaction between the determining variables with the specific tools for these case studies.

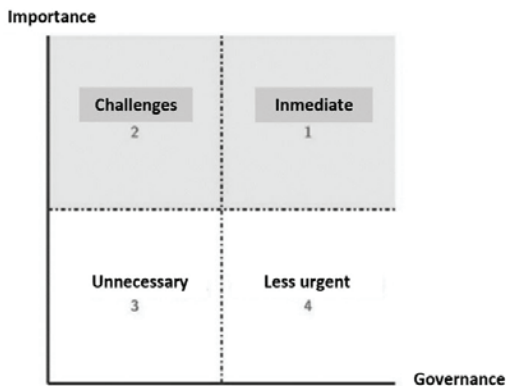
In the second phase, a probabilistic cross-impact method was used: the Smic-Prob-Expert software. This cross-impact method, according to Godet (2007), seeks to identify the most likely scenarios after performing morphological analyses and mixtures of hypotheses that would be preemptively excluded. Therefore, it aims to recognize the simple and conditional probabilities of hypotheses or events from the interrelation between them. The strategy may be the focus of attention once the scenarios composed of the interactions between the variables have been generated.

The third phase covered the interpretation of the scenarios with the highest probability of occurrence as a result of the simulation performed and the search for the most suitable ones. Ruiz Ruiz (2017) reinforced the concept of using the Smic-Prob-Expert software for the creation of future scenarios. Thanks to this reinforcement, it was decided to carry out the simulation using such software. Then a list of the potentially most beneficial scenarios for the Peruvian copper industry in the coming years was made. Finally, they were analyzed and ranked in order of priority and probability of occurrence.

For the fourth and final phase, strategy prioritization was made according to the probability of occurrence of the most convenient and beneficial scenarios using an IGO matrix (Figure 1). This matrix was used to identify strategic variables based on two criteria: importance and governance. Importance refers to the level of value of each variable to achieve a defined goal, while governance refers to the ability of decision-makers to act on a particular variable (Velasquez Lugo, 2020). In addition, following this analysis and ordering, the experts were interviewed, through the respective guides, to validate this prioritization and final probabilities assigned.

Figure 1

Structure of an IGO Matrix



Note. Adapted from Chalapud Narváez (2022)

3. RESULTS

The results of the research phases defined in the Methodology section are presented below. Table 3 shows the key variables identified from a systematic review of specialized literature and the validation of a group of experts with extensive experience in the mining sector.

Table 3

Scope of the Evolution or Current Situation

Variable	Scope of the Evolution and/or Current Situation
<p>V1. Production Efficiency</p> <p>It refers to dealing with different factors such as labor, unit costs, and the use of new technologies, among others. In Latin America, overall, labor costs are relatively cheap.</p>	<p>As stated by Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), Peru, in particular, has been one of the countries with the highest productivity growth in the region over the past decade, showing an average total factor productivity (TFP) growth of 2,6 % per year, second only to Panama.</p>
<p>V2. Electricity Cost</p> <p>It is linked to the cost of electricity needed to conduct copper industry operations in the country. The nature of this variable is based on the expenses originated by energy consumption according to the required production.</p>	<p>Since 2019, Peru ranks second in Latin America in terms of electricity cost, with USD 0,16 to 0,20 per kWh. Moreover, an increase from the current price is expected in the next five to seven years.</p>
<p>V3. China's Demand</p> <p>It refers to the annual needs of the world's largest copper consumer. China's demand is key, as they currently account for 70,4% of Peru's copper exports.</p>	<p>Out of the USD 2 274 million produced by Peruvian mining between January and July, USD 295 million came from Chinese capital. These were mainly used for the Toromocho project expansion in Junín.</p>
<p>V4. Political Leadership</p> <p>It refers to the political situation of each country and how the ideological beliefs of those in power influence the context of each economic sector.</p>	<p>Pursuant to a survey conducted by IEP, 62 % of Peruvians disapproved the administration of President Pedro Castillo and only 38 % supported his work. In central and southern regions of the country, Pedro Castillo had his highest approval rate. The indicator used would be the governor's approval survey.</p>
<p>V5. Investment Attractiveness</p> <p>It is defined as opportunities where there are minimal or no risks. It is closely related to the political context of each country.</p>	<p>Peru's country risk index fell seven basis points to 1,77 percentage points. According to investment bank J. P. Morgan, Peru registered the lowest country risk in the region with 1,77 percentage points.</p>

As a result, five events were proposed for a five-year time horizon. These projections are based on the five key variables identified.

1. Event 1: Probability that production efficiency will increase by 30 %.
2. Event 2: Probability that the electricity cost will increase by 30 %.
3. Event 3: Probability that China's domestic copper demand to Peru will increase by 10 %.
4. Event 4: Probability that the political leadership will remain unfavorable.
5. Event 5: Probability that investment attractiveness will continue to increase.

In a first stage, the experts were consulted on the probability of occurrence of such events as a simple probability, i.e., assuming individually the relevance of each event to the whole. Subsequently, work was done on cross-conditional probabilities (positive and negative) since the context in this area involves several factors that are not necessarily mutually exclusive.

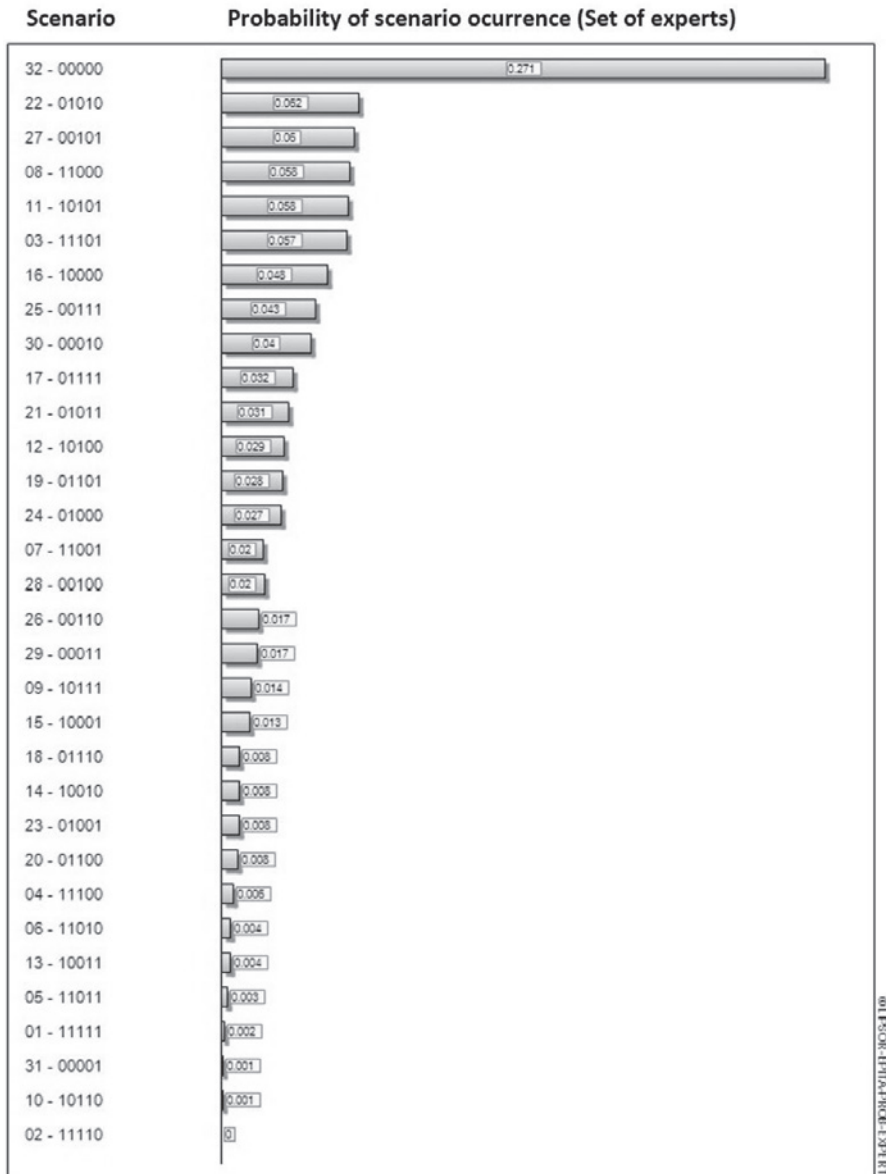
Once the probability of occurrence of the above events had been defined, the probability form was filled in. The objective was to collect in an organized manner the information and conclusions provided by the specialists. Once the responses were recorded on the forms, the marked probabilities were entered into the Smic-Prob-Expert software. From this process, the possible scenarios were projected. Finally, the result was verified by the experts following—in addition to their knowledge—their extensive experience in the mining industry.

According to the combination of probabilities, 32 scenarios with different probabilities of occurrence were created. This would be assigned by the same algorithm used by the software when crossing the aforementioned conditions. The sum of probabilities distributed among the 32 scenarios had to be one or, in percentage terms, 100 %. The higher the number assigned by the software, the greater the probability of that scenario to occur. Also, the lower the number assigned, the lower the probability of occurrence. If the number is zero, the scenario would simply not happen.

In accordance with the Pareto Principle, the scenarios that accumulate approximately 80 % probability of occurrence were considered. Twelve of the 32 scenarios were thus selected. This set of 12 scenarios is known as the trend core. However, for the purposes of the research, the five scenarios with highest probability of occurrence were prioritized, based on the results obtained with the Smic-Prob-Expert software. This prioritization aimed at validating the probability of an event and its impact on the industry through the opinion of the experts interviewed. It should also be noted that each scenario was composed of the probability of occurrence of the proposed events pursuant to the key variables.

Figure 2

Histogram of Potential Future Scenarios for the Copper Industry (1/2)



As can be seen in Table 4, 78,9 % of the probability of occurrence corresponds to 12 of the simulated scenarios, with scenario 32 being the most probable and scenario 12 the least probable.

Table 4*Cumulative Probability of the Trend Group Scenarios*

Scenario	Probability	Cumulative
32 (0000)	27,1 %	27,1 %
22 (01010)	6,2 %	33,3 %
27 (00101)	6,0 %	39,3 %
8 (11000)	5,7 %	45,1 %
11 (10101)	5,8 %	50,9 %
3 (11101)	5,7 %	56,6 %
16 (10000)	4,8 %	61,4 %
25 (00111)	4,3 %	65,7 %
30 (00010)	4,0 %	69,7 %
17 (0111)	3,2 %	72,9 %
21 (01011)	3,1 %	76,0 %
12 (10100)	2,9 %	78,9 %
Total	-	78,9 %

According to the above, scenario 22 and 27 were the most likely to occur after the least desired scenario (scenario 32). Scenario 22 was qualified by experts as a negative impact on the political and energy context and scenario 27 as China's Imperial Glory. Each of them is presented below.

Negative Impact on the Political and Energy Context (Scenario 22)

Scenario 22, also known as "Negative Impact on the Political and Energy Context," is the one in which the probability of a 30 % increase in electricity cost (E2) and the probability that the political leadership remains unfavorable (E4) are met. Experts agree that this scenario will be the most likely due to the country's current situation, political instability, constant confrontation with the country's mining companies, and the instability of the Peruvian currency against the US dollar. Social actors, such as the population that opposes mining projects and political parties that use this feeling of opposition as a means of campaigning, hinder mining growth.

China's Imperial Glory (Scenario 27)

On the other hand, scenario 27, defined as "China's Imperial Glory," is made up of the probability that Chinese copper demand for Peru will increase by 10 % (E3) and the probability that investment attractiveness will continue to increase (E5). This scenario turns out to be the second most likely as indicated by the software. It involves, as social

actors, China's and Peru's economic growth. The introduction of new sustainable technologies, based on copper mining, will undoubtedly make Peru one of the most viable countries to exploit this resource.

Upon completion of the research phase, a scorecard was prepared to assess the importance and governance of the events established according to the abovementioned variables. This tool makes it possible to visualize the events that would have greater relevance in the prospective study proposed and to complement the results obtained by the opinion of experts in the field.

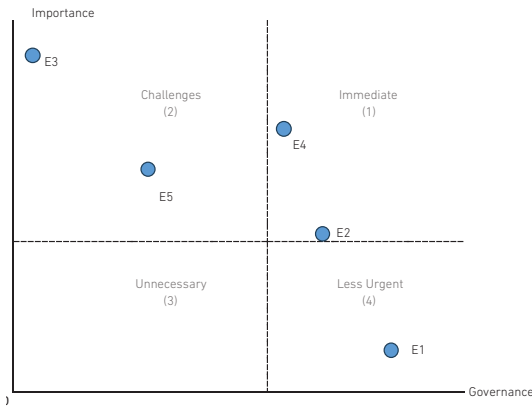
Table 5
Event Scorecard

Events		Assessment								
		Importance				Governance				
		1	2	3	4	0	1	3	5	
E1	Probability that production efficiency will increase by 30 %		X						X	
E2	Probability that the electricity cost will increase by 30 %			X				X		
E3	Probability that China's domestic copper demand to Peru will increase by 10 %				X	X				
E4	Probability that the political leadership will remain unfavorable				X			X		
E5	Probability that investment attractiveness will continue to increase				X		X			

Subsequently, and given that the priority of these events is sought, they were distributed in a matrix consisting of four blocks. The criterion is based on its level of importance and governance found in the scorecard. The five events ranked in the IGO matrix are presented below.

Figure 3

Application of an IGO Matrix



Based on the results in Figure 3, events 2 and 4 were classified as “immediate.” This suggests that they will play an important role in the future of the copper industry. On the other hand, it is also worth noting events 3 and 5, which are classified as “challenges.” This suggests that although they are not dominant at all, they do have a significant degree that could generate relevant discussion in the future.

“Pessimistic” Scenario as the Most Likely: On the Probability that None of the Events Will Occur

As scenario 32 (“pessimistic”) has the highest probability of occurrence, it can be understood that none of the events will likely occur in conjunction with another. The possible achievements of these are recorded as simple probabilities of occurrence; however, when it comes to generating cross-probability scenarios, the absence of any scenario involving two or more of the selected events is considered more likely. Expert opinion was also divided in both simple and cross probabilities. Nevertheless, below this “pessimistic” scenario (27,1 % probability of occurrence) are scenario 22 (6,2 % probability of occurrence) and scenario 27 (6 % probability of occurrence). Still, the nearly 20 % higher probability gap with respect to other scenarios makes the difference quite clear.

Event 2: On the Probability that the Electricity Cost Will Increase

When analyzing the scenarios with higher probability of occurrence, it could be observed that there was less uncertainty regarding the increase in electricity cost for the next five years. According to Haas et al. (2020), in recent years, the electricity sector has experienced an odd bifurcation of interests. On the one hand, electricity wholesale price has continued to fall to levels of inability to invest. On the other hand, the electricity bill to end users has

continued to rise, except perhaps for large loads. Likewise, as previously confirmed, Peru ranks second in electricity cost per country in the region with USD 0,20 per kWh. As a result of this data and its influence, a stronger opinion among experts may be that the electricity cost will continue to rise slightly in the coming years before achieving some stability.

Event 4: On the Probability that the Political Leadership Will Remain Unfavorable

Just as the probability of an increase in the electricity cost was identified, the scenario involving the continuation of an unfavorable political leadership was also discussed by the choice of experts. In the opinion of expert 2 (E02), this would be a recurrent scenario due to the existing social injustice and the marked differences between the country's social classes and regions. As a result of these differences, political leaders, who are elected only because they present a vindictive agenda, delay or hinder the progress of mining activity. E02 also mentioned the persistence of social conflicts between socioeconomically disadvantaged populations and large operating mining companies. This opinion was complemented by that of Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2021). This institution refers to the latest report issued by the Ombudsman's Office of Peru in December 2021, which recorded more than 200 social conflicts per year. On the other hand, expert 5 (E05) contradicted this fact by mentioning that, once the current administration is over, the election of a left-wing ruler is unlikely to be repeated. E05 supports his/her opinion on the results of the current mandate and the dissatisfaction felt toward the president by the vast majority of the national population, including underprivileged groups.

Event 3: On the Probability that China's Domestic Copper Demand to Peru Will Increase by 10 %

When analyzing scenario 27, it was found that, among the experts surveyed, there is a relatively low uncertainty regarding this event since they think that this demand will continue to grow over time. Expert 4 (E04) stated that "China's copper demand will increase exponentially for at least the next 5 to 10 years due to the growing need for technology, as it uses copper components in multiple cases." Likewise, the Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2022) considers that, until about 2026, copper demand will outstrip supply. However, from 2027 onwards, it is believed that there will be a supply surplus versus demand. In this likely context, Peru should make efforts to attract foreign capital to focus on and increase copper reserves. Thus, by the period between 2025 and 2030, profits and development could be exploited and generated as a result of high mineral prices.

Event 5: On the Probability that Investment Attractiveness Will Continue to Increase

Likewise, for scenario 27, the increase in investment attractiveness remained slightly more uncertain than China's Domestic Copper Demand to Peru (expert 3 - E03). According

to expert 1 (E01), Peru is considered attractive for foreign investment. Although there has been some uncertainty among investors at the start of the incoming government, the positive and attractive image is expected to continue to increase, due to the constant growth of the mining activity in the country. As explained by Hunt et al. (2021), mining in 2021 accounted for almost 64 % of total exports and contributed to Peru's GDP by 9,7 %. In addition, in terms of the mining fee, historic figures were reached for the following regions: Ancash (PEN 2 086 millions), Arequipa (PEN 1 118 millions), Tacna (PEN 840 millions), Ica (PEN 828 millions), and Moquegua (PEN 575 millions).

4. CONCLUSION

The results of this research show the future changes that copper mining could undergo in the next five years. Among the main findings, it is foreseen that there will be a slight increase in the electricity price and the continuation of a political leadership that represses the development of this activity. Likewise, it was identified that China's copper demand to Peru will grow as well as the investment attractiveness in the country. These findings are represented by scenarios 22 and 27. Everything indicates that, although political opposition and indirect manufacturing costs, such as electricity, will rise mining production costs, the increase in demand and investment attractiveness will compensate these drawbacks and could even produce more profits than those currently generated. However, these are only predictions subject to common events, which could be changed by the occurrence of outliers.

These results were limited to the Peruvian context and the possible political projection given its current situation. In 2023, Peru is still undergoing political instability and social conflicts. This creates uncertainty for foreign investors and large-scale mining operations, which involve large financial and time investments that generate generous contributions to the Peruvian economy. It should also be noted that the events mentioned in this study could be affected by this uncertainty and the multiple probabilities of the outcome of the Peruvian socio-political conflict and therefore create scenarios different from those mentioned before.

5. REFERENCES

- Andújar-Palao, J. M., Ormachea-Hermoza, R., Ruiz-Ruiz, M. F., & Chirinos Cuadros, C. R. (2021). Minería del cobre en el Perú: análisis de las variables exógenas y endógenas para gestionar su desarrollo. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(94), 784-801. <https://doi.org/10.52080/rvgluzv26n94.18>
- Behar, O., Peña, R., Kouro, S., Kracht, W., Fuentealba, E., Moran, L., & Sbarbaro, D. (2021). The use of solar energy in the copper mining processes: A comprehensive review. *Cleaner Engineering and Technology*, 4. <https://doi:10.1016/j.clet.2021.100259>

- Casas Rivera, G. A., & Giraldo Gómez, H. (2014). A prioritization technique to identify key parameters that generate large changes in construction projects. *Journal of Architecture*, 224-235.
- Chalapud Narváez, E. D. (2022). The tourism cluster as a regional development mechanism in the municipality of Cordoba - Colombia. *FACE: Magazine of the Faculty of Economics and Business Sciences*, 22(1), 17-29. <https://doi.org/10.24054/face.v22i1.1473>
- Cornejo, R. (2018). *Las cadenas logísticas mineras en el Perú: oportunidades para una explotación más sostenible de los recursos naturales*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://hdl.handle.net/11362/43222>
- Dunlap, A. (2019). 'Agro yes, mine NO!' The Tía Maria copper mine, state terrorism and social war by every means in the Tambo Valley, Peru. *Political Geography*, 71, 10-25. <https://doi:10.1016/j.polgeo.2019.02.001>
- Elshkaki, A., Graedel, T. E., Ciacci, L., & Reck, B. K. (2018). Resource demand scenarios for the major metals. *Environmental Science and Technology*, 52(5), 2491-2497. <https://doi:10.1021/acs.est.7b05154>
- García, M., & Pantigoso, P. (2020). *Peru's mining & metals investment guide 2020/2021*. Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú. <https://cutt.ly/VkVJFoM>
- Godet, M. (2007). Strategic foresight: problems and methods. *Laboratory of Prospective and Strategic Investigation*, 20(7), 25-43.
- Gonzalez, F. R., Raval, S., Taplin, R., Timms, W., & Hitch, M. (2019). Evaluation of impact of potential extreme rainfall events on mining in Peru. *Natural Resources Research*, 28(2), 393-408. <https://doi:10.1007/s11053-018-9396-1>
- Guéron, S., Tolu, J., Delaere, C., Sabatier, P., Barre, J., Heredia, C., Brisset, E., Campillo, S., Bindler, R., Fritz, S. C., Baker, P. A., & Amouroux, D. (2021). Reconstructing two millennia of copper and silver metallurgy in the Lake Titicaca region (Bolivia/Peru) using trace metals and lead isotopic composition. *Anthropocene*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2021.100288>
- Haas, J., Moreno-Leiva, S., Junne, T., Chen, P. -J., Pamparana, G., Nowak, W., Kracht, W., & Ortiz, J. M. (2020). Copper mining: 100 % solar electricity by 2030? *Applied Energy*, 262. <https://doi:10.1016/j.apenergy.2020.114506>
- Hanni, M., & Podestá, A. (2019). Trade misinvoicing in copper products: a case study of Chile and Peru. *CEPAL Review*, 2019(127), 91-108. <https://doi.org/10.18356/91479091-en>

- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2021). *Anuario Minero. Reporte Estadístico 2021*. Ministerio de Energía y Minas. <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/ANUARIOS/2021/AM2021.pdf>
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2022). *Anuario Minero. Reporte Estadístico 2022*. Ministerio de Energía y Minas. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4700376/2022.pdf?v=1689975935>
- Hunt, C., Romero, J., Jara, J., & Lagos, G. (2021). Copper demand forecasts and predictions of future scarcity. *Resources Policy*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102123>
- Kuipers, K. J. J., Van Oers, L. F. C. M., Verboon, M., & Van der Voet, E. (2018). Assessing environmental implications associated with global copper demand and supply scenarios from 2010 to 2050. *Global Environmental Change*, 49, 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.02.008>
- Landa Arroyo, Y. (2017). Renta extractiva y la minería del cobre en el Perú. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 48(189). <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2017.189.57292>
- Lagos, G., Peters, D., Lima, M., & Jara, J. J. (2020). Potential copper production through 2035 in Chile. *Mineral Economics*, 33, 43-56. <https://doi.org/10.1007/s13563-020-00227-2>
- Ruiz Ruiz, M. F. (2017). *La perspectiva francesa como estrategia de planeación universitaria: evaluación de la aceptabilidad de su aplicación en una facultad de ingeniería* [Tesis doctoral, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7929>
- Schipper, B. W., Lin, H.-C., Meloni, M. A., Wansleeben, K., Heijungs, R., & Van der Voet, E. (2018). Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.004>
- Sverdrup, H. U., Olafsdottir, A. H., & Ragnarsdottir, K. V. (2019). On the long-term sustainability of copper, zinc and lead supply, using a system dynamics model. *Resources, Conservation and Recycling: X*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100007>
- Velasquez Lugo, M. (2020). Uso del análisis estructural para caracterizar variables de calidad educativa en institución de primaria y secundaria venezolana. *Educación*, 29(56), 170-190. <https://doi.org/10.18800/educacion.202001.008>
- Vidal, O., Rostom, F. Z., François, C., & Giraud, G. (2019). Prey-predator long-term modeling of copper, production, recycling, price, and cost of production. *Environmental Science and Technology*, 53(19), 11323-11336. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03883>

STUDY OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF *CAPIRONA* (*CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM* [BENTHAM] *HOOKER F. EX SCHUMANN*) WOOD AS A POTENTIAL FOR SOLID WOOD FLOORING PRODUCTION*

GRACIELA ISABEL EGOAVIL CUEVA GÁLVEZ**

<https://orcid.org/0000-0002-0895-7515>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

MÁRCIO PEREIRA DA ROCHA

<https://orcid.org/0000-0002-5420-8478>

Universidade Federal do Paraná, Facultada do Engenharia e Tecnologia Florestal,
Paraná, Brasil

RICARDO JORGE KLITZKER

<https://orcid.org/0000-0001-6839-9415>

Universidade Federal do Paraná, Facultada do Engenharia e Tecnologia Florestal,
Paraná, Brasil

PAMELA CAROLINA CASTRO TAMAYO

<https://orcid.org/0009-0009-2031-1133>

Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 10 de julio del 2023 / Aceptado: 26 de julio del 2023

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6505>

ABSTRACT. The present study aimed to determine the physical and mechanical properties of a 20-year-old plantation of the species *Calycophyllum spruceanum*, known in Peru as "capirona," for its potential for wood flooring production. For this purpose, samples were collected from six trees in a plantation located in the district of Curimaná, department of Ucayali, Peru. Physical and mechanical property tests were conducted following the

* Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

** Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: 19802188@aloe.ulima.edu.pe; rocha01@gmail.com; klitzke@ufpr.br; pcastro2412@gmail.com

American Society for Testing and Materials (ASTM) D143-94(2000) standard. The results showed that *capirona* has a basic density of 0,68 g/cm³, which is considered a heavy wood, and exhibits moderate dimensional stability. The mechanical properties demonstrated that the wood has a high resistance to bending and compression parallel to the grain, and a very high resistance to compression perpendicular to the grain, hardness, shear, and toughness. Based on the Peruvian Technical Standard (NTP) 251.135:2013, the characteristics of *capirona* wood for flooring were evaluated, yielding positive results and indicating its potential for solid wood flooring production.

KEYWORDS: plantations / physical and mechanical properties / solid wood flooring / plantation *capirona* / Ucayali

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA MADERA DE CAPIRONA (*CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM* [BENTHAM] HOOKER F. EX SCHUMANN) COMO POTENCIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE PISOS DE MADERA MACIZA

RESUMEN. El presente estudio tuvo como objetivo determinar las propiedades físico mecánicas de una plantación de veinte años, de la especie *Calycophyllum spruceanum*, conocida en el Perú como capirona, por su potencial para la producción de pisos de madera. Para ello, se tomaron muestras de seis árboles de una plantación ubicada en el distrito de Curimaná-Ucayali, Perú. Las pruebas de propiedades físicas y mecánicas se realizaron según los estándares de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM D143-94 [2000]). Los resultados obtenidos mostraron que la capirona tiene una densidad básica de 0,68 g/cm³, por lo que se considera una madera pesada; además, presenta una estabilidad dimensional moderada. Las propiedades mecánicas mostraron que la madera presenta una alta resistencia a la flexión y compresión paralela y muy alta resistencia a la compresión perpendicular, dureza, cizallamiento y tenacidad. Con base en la NTP 251.135.2013, se evaluaron las características de la madera de capirona para pisos y arrojó resultados positivos que indican su potencial para la producción de pisos de madera maciza.

PALABRAS CLAVE: plantaciones / propiedades físico mecánicas / pisos de madera maciza / capirona plantada / Ucayali

1. INTRODUCTION

The timber industry in Peru is characterized by an extraction process mainly from natural forests, both legal and illegal. This situation has led to the degradation of natural forests, a progressive increase in operational costs due to the scarcity of wood, and a decrease in domestic production. On the other hand, it should be noted that in the Peruvian Amazon timber production is one of the most important economic activities, with natural forests being its main source of supply and subsistence (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [Serfor], 2021).

To address this problem, forest plantations are proposed as a viable alternative. By establishing these types of plantations, the negative impact on natural forests is reduced, national production is encouraged to increase, and illegal timber trade is combated. Additionally, this approach allows for continuous data recording and evaluation. However, the creation of these plantations can be expensive, so it is important to foresee potential risks that may result in economic losses and take measures to mitigate them. This process requires a comprehensive understanding of the species in terms of ecology, silviculture, and industrial aspects, which is currently scarce and not representative for most species (Guariguata et al., 2017).

Furthermore, there is a growing global trend in the utilization of wood from forest plantations, with greater relevance in the forestry industry sector (Cuellar & Reyes, 2016) as well as in the furniture industry, which is increasingly promising due to its increasing use, considering that the utilization of native woods is becoming more inefficient (De Carvalho et al., 2010). However, the limited information regarding their physical and mechanical properties restricts their application and may lead to losses for forest producers (Cuellar & Reyes, 2016).

Capirona is a species found throughout the Peruvian Amazon basin, southern Brazil, Colombia, and Bolivia. It tends to form dense stands known as "*capironales*," and in some areas it can be extremely aggressive, making it an excellent alternative for plantations at altitudes ranging from 0 to 1,200 meters above sea level (Cuellar & Reyes, 2016). It is considered a fast-growing species with great economic potential, especially in the construction sector, where hardwood floors are highly demanded (Guariguata et al., 2017).

Due to its high density and hardness, *capirona* wood is highly valued for its quality. It is moderately easy to saw, moderately resistant to biological attack, and has good drying properties (Cámara Nacional Forestal [CNF], 1996). Because of its wide range of applications, it can be used in cabinetry, door and window manufacturing, moldings, turning, sports articles, crafts, food-contact utensils, among others (Sibille, 2006).

Currently, there are only plantations available for research and promotional purposes as a promising species. However, their demand is steadily increasing in the international market, particularly for flooring production, leading to unsustainable extraction without adhering to any management plan, and the wood from natural regeneration is insufficient to meet the growing needs of the forestry industry (Ushiñahua, 2016).

At the national level, the demand for *capirona* for parquet production is constantly increasing, ranking third in terms of parquet and floorboards production (Serfor, 2021). Additionally, *capirona* has been included in the business plan “Utilization and export of value-added timber products with FSC certification,” funded by Fondebosque in Madre de Dios (Urban, 2011). Regarding solid wood flooring, it is a non-structural, horizontal element made of solid or laminated wood, squared, with uniform thickness and cross-sectional area, which can have machined or smooth edges and ends, and a grooved or smooth top surface. It is used to cover a false floor, slab, screed, or base of a building (García, 2016).

Several research studies have been conducted on tropical woods for solid wood flooring. In Brazil, the focus has been on species such as *sucupira* (*Bowdichia* sp.), *coumarou* (*Dipteryx odorata*), *ipé* (*Handroanthus* sp.), *tauari* (*Couratari* spp.), among others. These studies aimed to characterize the physical and mechanical properties of these species to determine their potential as wood flooring materials (Teixeira et al., 2019). Teak (*Tectona grandis*) has been studied as a species with great potential for use in flooring, along with cedar (*Cedrela odorata*) and mahogany (*Swietenia macrophylla*). These species stand out for their combination of low specific weight and high strength, natural durability, ease of drying, and aesthetic beauty (Blanco-Flórez et al., 2015). On the other hand, Martins et al. (2013) conducted a physical, mechanical, and chemical characterization of *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus microcorys*, and *Corymbia maculata* woods to obtain valuable information to improve their utilization and consider them as a viable option in the flooring market. Research on tropical woods for solid wood flooring has provided valuable information about the properties of different species, offering interesting opportunities for their application in the construction of high-quality wood floors.

On the other hand, the country has vast expanses of deforested land that have yet to be utilized. According to data from Ministerio del Ambiente (Minam, 2022), the accumulated deforestation between 2001 and 2021 reached 2,774,562 hectares. A portion of these lands could be used to establish commercial plantations for industrial purposes. However, the production of primary transformation products—such as hardwood floors—from the Amazon region has been declining. This means that, if current consumption levels are maintained, the market will be forced to rely on increased product imports or utilize substitutes like plastic, ceramic, or metal, which would result in a loss of market position (Chávez, 2021).

Understanding the type and quality of wood through the evaluation of its physical, mechanical, anatomical, and chemical properties is critical for its proper use. Only scientific knowledge of wood will allow its utilization to move beyond artisanal practices and achieve the desired industrial processing (Feuchard, 2012).

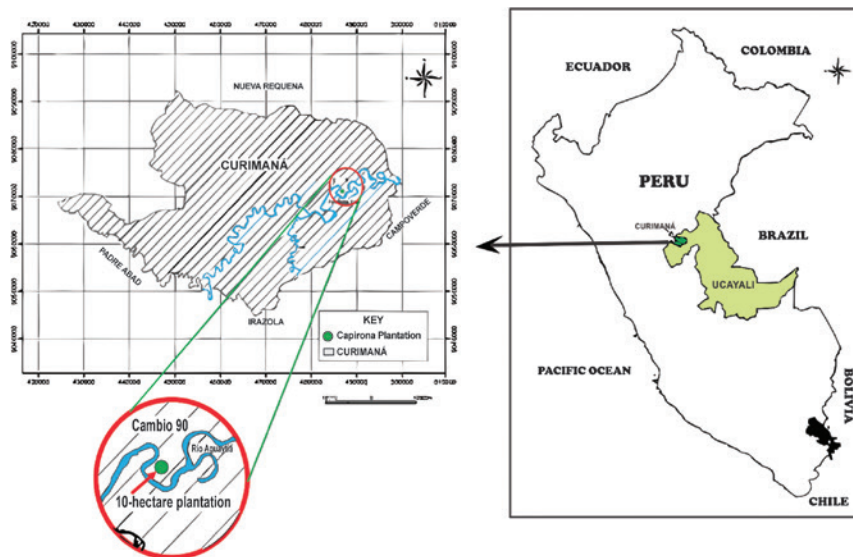
Therefore, the objective of the present research on *capirona* from a 20-year-old forest plantation is to gather information about its physical and mechanical properties, with a focus on its basic density and hardness as key features for its use in the industrial production of solid wood floors.

2. MATERIALS AND METHODS

The trees were collected from a 20-year-old *capirona* (*Calycophyllum spruceanum*) plantation located in Cambio 90 village, district of Curimaná, province of Padre Abad, department of Ucayali, at UTM coordinates 486708, 486822, 486821, and 486748 meters East and 9071015, 9071075, 9071057, and 9070965 meters North. It is situated at an altitude of 169 meters and located 96 km from the city of Pucallpa. The climate in this area is warm and humid, with an annual precipitation ranging from 2,000 to 2,700 mm. The rainiest months are from October to March, with maximum temperatures ranging from 33 to 36° C between September and October, and minimum temperatures ranging from 17 to 20° C between June and July. The relative humidity ranges from 60 to 80 % (Figure 1).

Figure 1

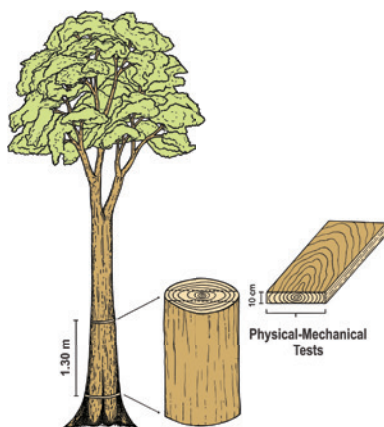
Geographical Location of the Capirona Plantation, District of Curimaná, Department of Ucayali



In order to determine the physical and mechanical properties, six trees were chosen based on their diameter and good phytosanitary condition. Once felled, a log was selected from each tree, ranging from the basal area to the diameter at breast height (DBH) with a length of 1,30 m. From each log, central blocks measuring 10 cm x 1.30 m in width and length, respectively, were obtained, with a variable thickness depending on the tree diameter (Figure 2). The preparation of the specimens was carried out at the Wood Preservation Laboratory, and the physical and mechanical tests were conducted at the Wood Technology Laboratory of the Faculty of Forestry Sciences at Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) in Lima.

Figure 2

Obtaining Log Samples for Physical and Mechanical Tests



For the preparation of specimens, wood with knots (including the pith), splits, cracks, and without straight grain were avoided. They were then brought to a conditioned environment until they reached an equilibrium moisture content of 12 %. The tests for physical and mechanical properties were conducted following ASTM D143-94(2000): Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. Basic density, air-dry density, oven-dry density, moisture content, wood shrinkage, static bending, toughness, tension perpendicular to the grain, compression parallel to the grain, compression perpendicular to the grain, cleavage, shear, and hardness were tested.

A statistical description of the data was performed—including the point estimation of mean values, standard deviation, and coefficient of variation with their 95 % confidence intervals—for determining the overall means of the properties under study. All mechanical properties were compared with basic density using correlation analysis and simple regression analysis. The correlation analysis aimed to understand the association between the involved variables, with the basic density considered as the independent variable and the mechanical properties as the dependent variables.

The resulting data were compared with the Peruvian Technical Standard (NTP) 251.135:2013 for wood floors in order to evaluate the quality of *capirona* as a raw material for use in solid wood floors.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Physical Properties

Table 1

Average Values of the Basic Density and Apparent Density at 12 % Moisture Content of Capirona Wood

Property	Mean (g/cm ³)	CV (%)	Confidence Interval (95%)		Classification*
			UL	LL	
Basic density	0.68	8.5	0.67	0.70	High
Apparent density 12% MC	0.84	8.0	0.82	0.85	-

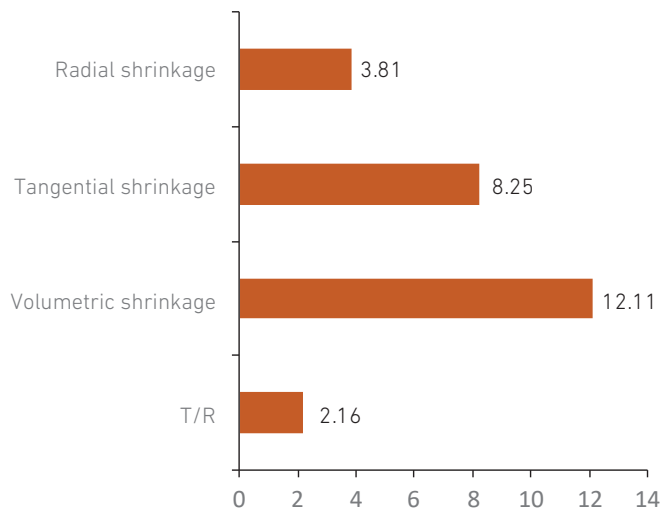
Note. MC: moisture content; CV: coefficient of variation; UL: upper limit; LL: lower limit. *Source: Aróstegui et al. (1986).

The average basic density obtained was 0,68 g/cm³, ranging from a minimum value of 0,67 g/cm³ to a maximum value of 0,7 g/cm³, with a coefficient of variation of 8,5 % (Table 1). This low dispersion of the data indicates that the basic density in the 20-year-old plantation varies slightly from tree to tree. Aróstegui et al. (1986) states that basic density has a significant influence on mechanical properties, classifying wood according to its basic density into five groups. *Capirona* belongs to group IV (0,61 g/cm³–0,80 g/cm³), defining it as a wood with high basic density, which gives 20-year-old plantation *capirona* great potential for use in flooring production.

From the green state to reaching the equilibrium moisture content (12 %), the volumetric shrinkage was 12,11 %, with an anisotropy coefficient (T/R ratio) of 2.16. The tangential and radial linear shrinkage were 8,25 % and 3,81 %, respectively (Figure 3). According to the classification criteria by Sotomayor-Castellanos and Ramírez-Pérez (2013), the tangential shrinkage is classified as moderate and the radial shrinkage as low, while the volumetric shrinkage (12,11 %) is classified as moderate. Regarding the anisotropy coefficient (T/R ratio), Aróstegui et al. (1986) as well as Sotomayor-Castellanos and Ramírez-Pérez (2013) classify it as wood with moderate stability, while Klitzke (2003) classifies it as wood with moderate to high stability.

Figure 3

Average Shrinkage Values of Capirona Wood (percentage value)



Understanding the shrinkage and anisotropy coefficient allows for determining the percentage dimensional change that occurs in the wood due to the drying process (Fuentes-Talavera et al., 2014). Based on the abovementioned researchers, we can infer that the obtained results for shrinkage and anisotropy coefficient indicate that *capirona* wood has fairly acceptable dimensional stability, which is one of the requirements for wood suitable for flooring (Klitzke, 2003).

The tangential, radial, and volumetric shrinkage values of the wood are due to the normal dimensional changes in the wood's three cutting planes. Aróstegui et al. (1986) attributes this to variations in moisture content below the fiber saturation point, resulting in the loss of hygroscopic water within the cellulose structure of the cell wall. This inflection point in moisture content represents the beginning of shrinkage during the drying process or swelling during adsorption, leading to dimensional changes in the wood (Kollmann & Côté, 1968).

The anisotropy coefficient (T/R ratio) is an index that reveals the dimensional stability of the wood, including distortions and warping. A higher coefficient indicates a greater likelihood of distortion or deformation in the piece of wood due to moisture changes during the drying process or when the wood is in service (Muñoz-Acosta & Moreno, 2013). Furthermore, Ananías (1992) states that higher values of this coefficient indicate more "nervous" woods, which can lead to dimensional changes and internal stresses, and lead to defects such as cracks and deformations during drying (Kollmann & Côté, 1968). If the dimensional changes are proportional to the changes in moisture content within the cell

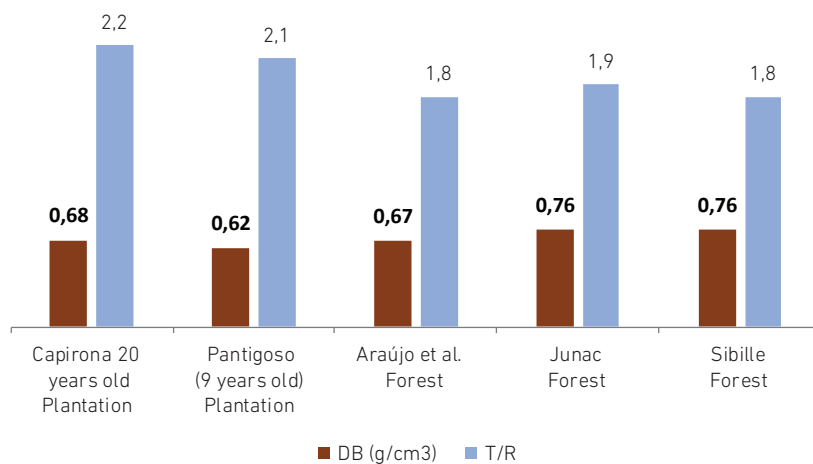
wall, it can be deduced that woods with higher density contain more hygroscopic water than lower-density woods at the same moisture content percentage, resulting in greater shrinkage (Aróstegui, 1982). Klitzke (2003) evaluates the quality of the wood based on its anisotropy, establishing that a piece of wood is considered very stable if its anisotropy coefficient is less than 1.5. If the coefficient falls within the range of 1.6 to 2, it is classified as moderate-low; whereas a coefficient between 2 and 2.5 is considered moderate-high. On the other hand, if the coefficient is greater than 2.6, the wood is classified as highly unstable.

This wood characteristic has a significant influence during the drying process. If the volume reduction exceeds the cohesion between cells, cracks, splits, and deformations may occur, particularly when drying is rapid. Therefore, the moderate stability value of *capirona* wood suggests that a mild and slow drying program should be used.

Comparing the basic density from this research with that from similar studies of the same species from plantations and natural forests (Figure 4), according to Pantigoso (2009), *capirona* shows an 8,82 % increase compared to wood from a nine-year-old plantation, with densities of 0,68 g/cm³ and 0,62 g/cm³, respectively. The trend is similar for natural forest *capirona* but with higher density values. This may be influenced by the differences in the specific gravity between earlywood and latewood (Moya & Muñoz, 2010). Additionally, this moderate increase, especially in the early stages, indicates that silvicultural factors have a significant influence on the increase in basic density (Pantigoso, 2009). On the other hand, the wood density found in this study is similar to that found by De Araújo et al. (2016) and lower compared to natural forest wood studied by Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1981) and Sibille (2006), which are of unknown ages.

Figure 4

Average Basic Density and Anisotropy Coefficient (T/R Ratio) of Plantation and Natural Forest Capirona Wood



It can be observed that the values of the shrinkage ratio (T/R ratio), which indicate the dimensional stability of the wood, are higher in woods from plantations than in those from natural forests. This is because plantation woods are younger and therefore have a higher proportion of juvenile wood compared to mature wood from natural forests. On the other hand, Aróstegui (1982) states that moisture and wood anisotropy are the most important factors involved and are also affected by climatic conditions such as relative humidity and temperature. Panshin and De Zeeuw (1981) argue that wood variability is also due to internal changes in the cambium related to age, genetic inheritance, among other factors. Tuset and Duran (1979) mention that external factors such as climate, soil conditions, and silvicultural conditions also play a role.

3.2 Mechanical Properties

According to the wood classification proposed by Dávalos and Bárcenas (1999), *capirona* wood exhibits high values of modulus of elasticity (MOE) in bending, compression parallel to the grain (MORc), and tension perpendicular to the grain. It also shows very high values of modulus of rupture (MOR) in bending, compression perpendicular to the grain, side hardness, and shear (Table 2). These values are similar to those reported by Kretschmann (2010) for certain mechanical properties of woods. According to the classification by Aróstegui et al. (1986), the studied *capirona* wood displays very high toughness.

Table 2

Average Values of the Mechanical Properties of Capirona Wood

Mechanical Properties (12% MC)	Mean	CV (%)	CI		Classification*
			LL	UL	
Static bending (kg/cm ²)					
MOE * 1000	13.1	19.9	124.7	141,581	High
MOR	1,376.0	13.1	1,318.2	1,433.8	Very high
Compression parallel to the grain (kg/cm ²)					
MOEc * 1000	124.9	24.5	115.2	13.7	
MORc	552.9	13.4	529.2	576.6	High
Compression perpendicular to the grain (kg/cm ²)					
PLS	192.2	14.7	183.2	201.2	Very high
Side hardness (kg/cm ²)	1,241.9	8.3	1,223.5	128.0	Very high
Shear (kg/cm ²)	231.6	14.3	216.3	247.0	Very high
Tension perpendicular to the grain (kg/cm ²)	76.5	21.9	67.3	85.6	High
Cleavage (kg/cm ²)	119.6	15.7	109.8	129.5	
Toughness (kg-m)	5.2	26.4	4.9	5.6	

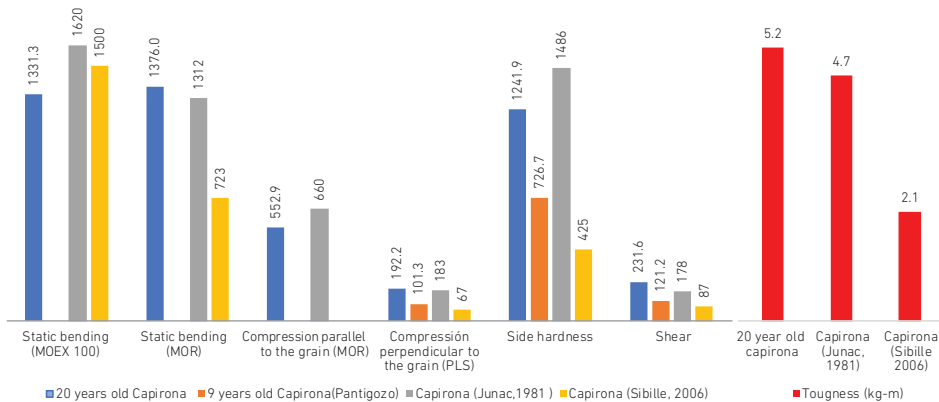
Note. MC = moisture content; MOE = modulus of elasticity; MOR = modulus of rupture; PLS = proportional limit of stress; CV = coefficient of variation; CI = confidence interval; UL = upper limit; LL = lower limit.*Source: Dávalos & Bárcenas (1999).

Figure 5 compares the values of the mechanical properties from the present study with those of works conducted by other researchers on *capirona* wood from a 9-year-old plantation (Pantigoso, 2009) and from natural forests (JUNAC, 1981; Sibille, 2006).

As for static bending, the mean value for MOE was 133 130 kg/cm², lower than those obtained by JUNAC (1981) and Sibille (2006), with 162 000 kg/cm² and 150 000 kg/cm², respectively. However, regarding MOR, the value of 1376 kg/cm² was similar to that of JUNAC (1981), with 1312 kg/cm², but higher than that of Sibille (2006), with 723 kg/cm². These results for dried plantation *capirona* indicate high and very high values for MOE and MOR, according to the classification by Dávalos and Bárcenas (1999). On the other hand, Echenique-Manrique and Plumptre (1994) suggest MOR values ranging from 400 kg/cm² to 1350,5 kg/cm² and MOE values from 710,2 kg/cm² to 150 051,2 kg/cm² as limits for structural uses, roofs, walls, and floors. The researched *capirona* wood falls within these limits, making it a good alternative for the production of the abovementioned products due to its high flexural strength.

Figure 5

Comparison of the Mechanical Properties of 20-Year-Old and 9-Year-Old Plantation and Natural Forest Capirona



Note. MOE = modulus of elasticity; MOR = modulus of rupture; PLS = proportional limit of stress.

MOR in compression parallel to the grain of 552,9 kg/cm² is lower than the value reported by JUNAC (1981) for natural forest *capirona* wood, which is 660 kg/cm². However, according to the classification by Dávalos and Bárcenas (1999), the researched *capirona* wood exhibits high resistance to compression parallel to the grain. It is worth noting that MOR in compression parallel to the grain is particularly important when the wood is intended for the production of columns or supports subjected to loads applied in a direction parallel to the grain (Fuentes, 1998). Therefore, its use as a structural material to make wooden beams for the construction industry is recommended.

Regarding the compression perpendicular to the grain, which is the resistance of the wood to forces applied in a direction perpendicular to the grain, the value obtained was 192,2 kg/cm². This value is higher than those reported by Pantigoso (2009), JUNAC (1981), and Sibille (2006), with 101,3 kg/cm², 183 kg/cm², and 67 kg/cm², respectively. According to the classification of mechanical properties by Dávalos and Bárcenas (1999), the researched *capirona* wood exhibits very high resistance to perpendicular compression forces. This property is particularly relevant when the wood is subjected to external loads that tend to compress it, such as in the case of sleepers exposed to high compression loads, making it suitable for such applications.

The average side hardness for *capirona* wood was 1241,9 kg/cm², a value higher than those obtained by Pantigoso (2009) and Sibille (2006), with 726,7 kg/cm² and 425 kg/cm², respectively, and only slightly lower than that obtained by JUNAC (1981), with 1486 kg/cm². Some studies claim that hardness increases with age, but different ages and sources of wood exhibit different behaviors. For example, the researched *capirona* wood showed higher hardness than Sibille's (2006) natural forest *capirona* wood, while this was not the case for JUNAC's (1981) wood, also from natural forests, where hardness increased with the age of the wood. It is worth noting that this property is particularly important when the wood is used for the production of floors, table surfaces, and any surface exposed to mechanical wear (Fuentes, 1998). *Capirona* wood is classified as a species with very high resistance, according to Dávalos and Bárcenas (1999), due to its hardness characteristics.

The value obtained for shear was 231,6 kg/cm², higher than those reported by Pantigoso (2009), JUNAC (1881), and Sibille (2006), with 121,2 kg/cm², 178 kg/cm², and 87 kg/cm², respectively. It should be noted that this property indicates the wood's ability to resist forces that cut it parallel to its axis. The studied *capirona* exhibited a very high value, according to the classification of Dávalos and Bárcenas (1999), which suggests that it will perform well in assembly applications.

Regarding toughness, which is a very important property as a resilient material and refers to the wood's ability to absorb energy when subjected to impact or shock, *capirona* wood obtained an average value of 5,2 kg-m. This value is higher than those obtained by JUNAC (1981) and Sibille (2006), with 4,7 kg-m and 2,1 kg-m, respectively. This higher value, compared to natural forest wood, provides greater advantages for its use in articles exposed to impacts, such as tool handles, sporting goods, floors, among others.

3.3 Predictions of *Capirona* Wood's Mechanical Properties Based on Basic Density

Density is one of the most important properties of wood, as it determines most of its physical and technological properties. It also serves as a reference for wood classification, which is closely related to the anatomical characteristics and, in some cases, natural durability. Density is the most widely used characteristic in research related to

wood quality, and it is the most important and best related to other properties (Moreschi, 2014). It is often considered a good estimator of the mechanical properties.

Table 3 shows the influence of basic density as a predictor of some mechanical properties using a simple linear regression model and the coefficient of determination R^2 . It can be observed that there is a high correlation between most of the mechanical properties.

Table 3

Prediction of the Mechanical Properties of 20-year-old Capirona Wood Based on Basic Density (Db) Using a Linear Regression Equation

Property	Linear Regression Equation	R^2
Static bending (kg/cm ²)		
MOR	- 543.9 + 2,818 Db	0.595**
MOE	-172,620 + 448,758 Db	0.711**
Compression paralleto the grain (kg/cm ²)		
MORc	260 + 443.2 Db	0.045 ^{ns}
MOEc	-52,870 + 256,286 Db	0.128*
Compressionperpendicularto the grain (kg/cm ²)		
PLS	-172.2 + 502 Db	0.344**
Side hardness (kg/cm ²)	-387 + 2,244 Db	0.442**
Shear (kg/cm ²)	139 + 121 Db	0.000 ^{ns}
Tensionperpendicularto the grain (kg/cm ²)	224.5 – 191 Db	0.217*
Cleavage (kg/m ²)	140 – 27 Db	0.000 ^{ns}
Toughness (kg-m)	-118 + 9.4 Db	0.114

Note. Db = basic density in kg/m³; MOR = modulus of rupture; MOE = modulus of elasticity; PLS = proportional limit of stress; R^2 = coefficient of determination.

It can be observed that, in most of the mechanical properties of *capirona* wood, the coefficient of determination R^2 was higher than 44,2 %, with the highest value for static bending MOE, where basic density accounted for 71,1 % of the MOE variation. In general, the basic density of *capirona* showed a positive and highly significant correlation with static bending, compression perpendicular to the grain, proportional limit of stress (PLS), hardness, and toughness. Additionally, there was a significant positive correlation with MOEc in compression parallel to the grain and a negative correlation in tension perpendicular to the grain. However, MORc in compression parallel to the grain and shear did not show a significant relationship.

According to the results in Table 3, the basic density of *capirona* wood positively influences most mechanical properties. Specifically, 50 % of the properties show a highly significant positive influence, 10 % exhibit a significant positive influence, 10 % display a significant negative influence, and only the remaining 30 % show no influence from the basic density. These results confirm the influence and, therefore, the importance of basic density in hardness and most of the mechanical properties of the *capirona* wood under study.

3.4 Behavior of the Physical and Mechanical Properties of *Capirona* Wood in the Wood Flooring Production Process

In the production of solid wood flooring, the physical and mechanical properties of the wood must be taken into account as they determine the quality and durability of the flooring. To achieve this, a brief overview of the production process will be provided.

The process begins by selecting the appropriate wood for flooring production; at this stage, it is crucial to consider its density and hardness. In general terms, denser wood will be more resistant and durable. Likewise, harder wood will be more resistant to impacts and wear, and less prone to scratching or denting with daily use (González-Trejos, 2012). The moisture content of the wood must be reduced before processing, which is achieved through wood drying. This process is essential to prevent deformations or damage to the finished floors; therefore, it is important for the wood to have adequate dimensional stability to avoid issues such as excessive shrinkage or expansion due to changes in humidity or temperature (Klitzke, 2003).

Then, the wood undergoes a planing and sanding process to achieve a uniform and smooth surface, free from imperfections, splinters, or roughness that the wood may have. If it has good workability characteristics, it will be easy to work with and process during flooring manufacturing, facilitating cutting, gluing, planing, among other operations. This allows for shorter production times, leading to more efficient and faster production, which is beneficial in terms of productivity and delivery schedules. It also results in greater precision and high-quality finishes, while minimizing material waste, reducing the amount of generated waste, and optimizing the use of raw materials (Hoadley, 2019; Porter, 2013).

Next, the wood is cut into thin planks or sheets of different widths, thicknesses, and lengths, according to the desired flooring. Adhesive and special glues are applied, and the planks are joined together to form the floor pieces. Once the planks are joined, a finish is applied to the surface of the floor to protect it and enhance its appearance. This may include varnishes, dyes, oils, or lacquers. Moreover, additional treatments are applied to improve the wear resistance, durability, and moisture resistance of the flooring (Hoadley, 2019; Porter, 2013).

Based on the described process of wood flooring production, *capirona* wood has favorable characteristics for flooring manufacturing. Its high density and hardness during the selection stage, good dimensional stability during the drying stage, and ease of machinability indicate that a high-quality product could be obtained from a productivity standpoint.

3.5 Analysis of *Capirona* Wood Quality for Hardwood Flooring

Table 4

Comparison Between the Physical and Mechanical Properties of Capirona Wood and the NTP 251.135:2013 for Wood Floors

Item	<i>Capirona</i> Characteristics	Specifications NTP 251.135:2013
Basic density (g/cm ³)	0.68	≥ 0.61
Stability index (T/R ratio)	2.16	≤ 2.1
Volumetric shrinkage (%)	12.11	5 – 16
Hardness (kg/cm ²)	1,254.8	≥ 600
Workability*	good	good

*Source: Bustamante (2010).

According to Table 4, plantation *capirona* wood shows higher values in most of its properties compared to the characteristics established by the NTP 251.135:2013 for wood floors: solid tongue-and-groove parquet products from Peruvian wood species used in parquet manufacturing that meet the requirements of the national and international industry and trade.

The value obtained for basic density is 10,3 % higher than the minimum specified by the standard (≥ 0,61). This characteristic is of great importance due to its predictive capacity for the good performance of certain mechanical properties, such as hardness, which is one of the most important properties to be considered in raw materials for flooring production.

Regarding the stability index (T/R ratio), although it has a slightly higher value than that indicated by the standard, it may not be very relevant, as the wood for flooring is previously sawn into 1" (2.54 cm) thick planks. These dimensions in *capirona* help prevent distortions and warping, which is what this index measures, due to moisture changes during the drying process or when the wood is in service (Muñoz-Acosta & Moreno, 2013). Additionally, modern drying technologies such as vacuum drying allow for stabilizing the moisture content of the wood with satisfactory results in terms of drying quality.

The volumetric shrinkage is within the range specified by the standard, with 41,6 % above the lower range and 25 % below the higher range. It is worth noting that this characteristic is very important to understand the behavior of the wood during drying and to avoid cracks, splits, and deformations that may occur during the drying program, which would result in non-compliant products.

The hardness resistance presents a very high value compared to the minimum characteristic that a wood species must meet according to the NTP for wood floors ($\geq 600 \text{ kg/cm}^2$), especially considering that it is one of the most important properties for flooring production since its surface will be exposed to mechanical wear due to high circulation or traffic.

Capirona wood also meets the NTP requirements as it exhibits good workability characteristics in terms of planing, molding, drilling, and turning. According to studies conducted on four species from forest plantations (marupa, tornillo, *pino chuncho*, and *capirona*), *capirona* showed the best workability characteristics (Bustamante, 2010), reducing working or machine hours and increasing productivity.

3.6 Uses of *Capirona* Wood

Based on the results obtained from the physical and mechanical properties of 20-year-old plantation *capirona* wood, it is considered a species with high basic density (Aróstegui et al., 1986) and great mechanical strength (Dávalos & Bárcenas, 1999). These characteristics make it highly versatile for various uses, including construction materials (structures, beams, and columns), exterior coverings such as flooring and parquet with excellent durability, carpentry (furniture, doors, frames, and windows), as well as tongue-and-groove boards, pallets, vehicle bodies, streetlight poles, and fences (Cuellar & Reyes, 2016).

Capirona is one of the promising species with good potential to be introduced into the European and Japanese markets, which demand light brown or easily stainable woods (white or yellow colors), with an average density ranging from $0,5 \text{ g/cm}^3$ to $0,75 \text{ g/cm}^3$ (CNF, 1996). This species shares similarities with Japanese birch, which gives it a significant advantage for the production of structures, furniture, and especially for flooring. This suggests that plantation *capirona* would have not only domestic demand but also international demand, and if large-scale forest plantations were established, it would have a guaranteed market access. Furthermore, pre-feasibility studies to establish industrial plants for the production of solid wood flooring support this hypothesis, as their economic and financial indicators showed positive values (Arévalo, 2016).

4. CONCLUSIONS

- *Capirona* wood has a high basic density of 0,68 g/cm³ as well as dimensional stability and average volumetric shrinkage.
- Its mechanical properties showed high and very high values.
- The physical and mechanical properties of plantation *capirona* wood remain within the classification range compared to natural forest wood.
- The basic density of the species is a good estimator for approximately 70 % of the mechanical properties.
- The values of basic density, stability index, volumetric shrinkage, and hardness found in this research meet the technical specifications of the NTP for wood floors.
- Based on the physical and mechanical properties found, *capirona* (*Calycophyllum spruceanum*) can be used in the production of solid wood flooring.

5. REFERENCES

- American Society of Testing and Materials. (2000). *ASTM D143-94: Standards methods of testing small clear specimens of timber*. ASTM International. <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D143-94.htm>
- Ananías, R. (1992). *Física de la Madera*. Universidad del Bio-Bio, Departamento de Ingeniería en Maderas.
- Arévalo, G. A. (2016). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de pisos de madera estructurada para el mercado limeño* [Undergraduate thesis, Universidad de Lima]. Repositorio Institucional de la Universidad de Lima. <http://doi.org/10.26439/ulima.tesis/5945>
- Aróstegui, A. (1982). *Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas*. Documento de trabajo N.º 2 PNUD/FAO/PER/81/002; Instituto Nacional Forestal y de Fauna; Ministerio de Agricultura.
- Aróstegui, A., González, V., & Sato, A. (1986). Propiedades tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander von Humboldt. *Revista Forestal del Perú*, 10(1-2), 1-86. [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol10_no1-2_80-81_\(14\)/vol10_art1.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol10_no1-2_80-81_(14)/vol10_art1.pdf)
- Blanco-Flórez, J., da Silva, J. R. M., Braga, P. P. C., Lima, J. T., & Trugilho, P. F. (2015). Simulação em serviço de pisos de madeira jovem de *Tectona grandis*. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 20(04), 1048-1060. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620150004.0107>

- Bustamante, N. R. (2010). *Estudio de trabajabilidad de la madera de cuatro especies procedentes de plantaciones en la región Ucayali*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/386>
- Cámara Nacional Forestal. (1996). *Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú*. PROYECTO OIMT PD 37/88.
- Chávez, M. (2021, April 5). Perú y el mercado internacional de maderas que puede aprovechar. *La Cámara*. <https://lacamara.pe/peru-y-el-mercado-internacional-de-maderas-que-puede-aprovechar/>
- Cuellar, J., & Reyes, P. (2016). *¿Es la Capirona Calycophyllum Spruceanum una opción rentable para la promoción de plantaciones forestales en la Amazonía?* Instituto Nacional de Innovación Agraria. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/364>
- Dávalos, R., & Bárcenas, G. M. (1999). Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición "seca". *Madera y Bosques*, 5(1), 61-69. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61750107.pdf>
- De Araújo, B. H. P., De Sousa, M. A. R., Nascimento, H. E. M., Zanuncio, A. J. V., Rodrigues, D. M. S., & Guedes, M. C. (2016). Propriedades físicas da madeira de *Calycophyllum spruceanum* Benth. em função do diâmetro e da posição (base e topo) no fuste. *Scientia Forestalis*, 44(111), 759-768. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.22>
- De Carvalho, A. M., Da Silva, B. T. B., & Latorraca, J. V. F. (2010). Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). *Cerne*, 16, 106-114. <https://www.redalyc.org/pdf/744/74459381014.pdf>
- Echenique-Manrique, R., & Plumptre, R. A. (1994). *Guía para el uso de maderas de Belice y México*. Oxford.
- Feuchard, L. D. (2012). *Propriedades tecnológicas da madeira de Casuarina equisetifolia*. [Undergraduate thesis, Universidade Federal do Espírito Santo]. Biblioteca Forestal Digital. <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/14162>
- Fuentes, M. (1998). Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas de importancia en la construcción. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 4(1), 221-229.
- Fuentes-Talavera, F. J., Silva-Guzmán, J. A., Rodríguez-Anda, R., Sanjuán-Dueñas, R., & Richter, H. (2014). Perfil de estabilidad dimensional de las maderas primavera y Rosa Morada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 56-69. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000400006

- García, F. F. (2016). *Pisos de madera. Apuntes del curso de Industrias de Transformación Mecánica*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales.
- González-Trejos, G. (2012). Pisos de madera. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 3(7), 59-67. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/529>
- Guariguata, M. R., Arce, J., Ammour, T., & Capella, J. L. (2017). *Las plantaciones forestales en Perú: reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro* (vol. 169). CIFOR. <https://doi.org/10.17528/cifor/006461>
- Hoadley, R. B. (2019). *Identifying Wood: Accurate Results with Simple Tools* (3rd ed.). Taunton Press.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1981). *Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 24 especies de Colombia*. Junta del Acuerdo de Cartagena PADT REFORT; Grupo Andino.
- Klitzke, R. J. (2003). *Secagem da madeira*. Universidade Federal do Paraná.
- Kollmann, F. F. P., & Côté, W. A. (1968). *Principles of Wood Science and Technology*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-87928-9>
- Kretschmann, D. E. (2010). Mechanical properties of wood. In Centennial (Ed.), *Wood handbook: wood as an engineering material*. Forest Products Laboratory, 5.1-5.46. https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fplgtr190/chapter_05.pdf
- Martins, M., Da Silva, J. R. M., Lima, J. T., Gonçalves, M. T. T., & Filipe, A. P. (2013). Simulação em uso dos pisos de madeira de *Eucalyptus sp* e *Corymbia maculata*. *Cerne*, 19(1), 151-156. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000100018>
- Ministerio del Ambiente. (2022). *Bosque y pérdida de bosque*. GeoBosques. <https://geobosques.minam.Gob.pe/geobosque/view/perdida.php>
- Moreschi, J. C. (2014). *Propriedades tecnológicas da madeira*. Universidade Federal do Paraná.
- Moya, R., & Muñoz, F. (2010). Physical and mechanical properties of eight fast-growing plantation species in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, 22(3), 317-328. <http://www.jstor.org/stable/23616661>
- Muñoz-Acosta, F., & Moreno, P. A. (2013). Contracciones y propiedades físicas de *Acacia mangium* Willd., *Tectona grandis* L. f. y *Terminalia amazonia* A. Chev, maderas de plantación en Costa Rica. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(2), 287-303. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.040>

- Panshin, A. J., & De Zeeuw, C. (1981). *Textbook of wood technology. Structure, identification, uses, and properties of the commercial woods of the United States and Canada* (vol. 1). Mc Graw Hill Book Co.
- Pantigoso, J. A. (2009). *Propiedades físicas y mecánicas de la capirona (Calycophyllum spruceanum (Benth.) hook ex Schumann) procedente de una plantación experimental en San Alejandro Ucayali – Perú* [Undergraduate thesis, Universidad Nacional Agraria La Molina]. BAN. Biblioteca Agrícola Nacional. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/432>
- Porter, T. (2013). *Wood identification & use*. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. <http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/929>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2021). *SERFOR fortalecerá la gestión de bosques y plantaciones forestales con fines comerciales en 9 regiones del país*. Plataforma Digital Única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/serfor/noticias/566180>
- Sibille, A. M. (2006). *Guía de procesamiento industrial. Fabricación de muebles con maderas poco conocidas - LKS*. WWF Perú. <https://documentoskoha.s3.amazonaws.com/10727.pdf>
- Sotomayor-Castellanos, J. R., & Ramírez-Pérez, M. (2013). Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 9(3), 3-29.
- Teixeira, D. E., Cunha, L. E., Wimmer, P., & De Andrade, A. (2019). Resistência à abrasão, dureza Janka e a correlação com outras propriedades em 14 espécies de madeiras tropicais brasileiras com potencial para utilização em pisos de madeira. *Ciência da Madeira. Brazilian Journal of Wood Science*, 10(2), 135-141. <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/14156>
- Tuset, R., & Duran, F. (1979). *Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilización*. Hemisferio Sur.
- Urban, R. (2011). *Mecanismos de financiamiento para el sector forestal en el Perú. Diseño participativo de un mecanismo de financiamiento para el desarrollo del sector forestal en el Perú*. FONDEBOSQUE; FAO Perú.
- Ushiñahua, D. (2016). *Comportamiento Fenológico Preliminar de Capirona en la Provincia de San Martín, Región San Martín*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://pgc-snia.inia.gob.pe:8443/jspui/handle/inia/213>

DATOS DE LOS AUTORES

PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS EN EL CENTRO INMUNOLÓGICO MOLECULAR APLICANDO EL MODELO DE REFERENCIA DE LOS INVENTARIOS

LEISY ALEMÁN DE LA TORRE

Magíster en Dirección de Empresas por la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cuba) e ingeniera industrial. Es especialista principal de planificación y tecnóloga nivel I en el Centro de Inmunología Molecular. Presenta dos publicaciones sobre temas de gestión de procesos y logística.

YULIEN MORALES HERNÁNDEZ

Técnico de nivel superior en logística, en el año 2023, en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cuba). Es jefe del Departamento de Logística en el Centro de Inmunología Molecular.

DAIMEÉ PADILLA AGUIAR

Doctora en Ciencias Técnicas por la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cuba), magíster en Dirección de Empresas e ingeniera industrial en la especialidad de Organización de Empresas por la misma universidad. Especialista en procesos de alta tecnología nivel I y tecnóloga nivel I en el Centro de Inmunología Molecular. Presenta diversas publicaciones sobre los temas de gestión de procesos, logística, en los servicios, entre otros.

IDENTIFICACIÓN DE DISTRITOS POTENCIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SINERGIAS INDUSTRIALES APLICABLES A MIPYMES MANUFACTURERAS DE LIMA METROPOLITANA

ALDAIR EDISON PRADA ALVAREZ

Bachiller en Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales por la Universidad Nacional del Callao (UNAC). Actualmente, es asistente de proyectos.

EVALUACIÓN ELÉCTRICA DE LÁMPARAS DE ILUMINACIÓN

JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ-CORONA

Doctor en Sistemas Computacionales y Electrónica por la Universidad Autónoma de Tlaxcala, magíster en Ingeniería Aplicada por el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas e ingeniero electromecánico por el Instituto Tecnológico de Apizaco. Es profesor investigador adscrito a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, líder del Cuerpo Académico de Mantenimiento Industrial (clave: UTTLAX-CA-4) y responsable del Laboratorio de Mantenimiento Predictivo, certificado en "Normas de seguridad eléctrica y especialidad en vibraciones mecánicas y calidad de la energía".

PABLO SÁNCHEZ-LÓPEZ

Doctor en Educación por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Es profesor investigador de la maestría en Ingeniería en Gestión de Procesos Industriales de la Universidad Tecnológica de Tlaxcala. Ha participado en investigaciones enfocadas al empleo de métodos estadísticos en teoría de redes, teoría de sistemas complejos y aprendizaje de máquina. Actualmente, pertenece al cuerpo académico en Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

EL DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE LA CALIDAD Y LA TEORÍA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE INVENTIVA: UN ANÁLISIS DE APROXIMACIÓN PARA LA SATISFACCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

LIDILIA CRUZ-RIVERO

Doctora en Administración y Desarrollo Empresarial, magíster en Ciencias de la Administración e ingeniera industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Es profesora de tiempo completo y titular A en posgrado en investigación del Tecnológico Nacional de México y del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca (TECNM-ITSTa). Líder de la línea de investigación de diseño y mejora de productos y procesos en la maestría de Ingeniería Industrial en TECN-ITSTa. Candidata a investigadora nacional en el Sistema Nacional de Investigadores SNI-CONACYT.

JONATHAN MERÁZ-RIVERA

Magíster y bachiller en Ingeniería Industrial, especialista en Manufactura Avanzada por el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Ingeniero de procesos en Kohler Sanimex y colaborador en el Área de Posgrado del TECNM-Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca.

ERNESTO LINCE-OLGUÍN

Magíster en Ciencia Política y Administración Pública. Es profesor de tiempo completo y titular A en División de Ingeniería en Gestión Empresarial del TECNM-Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México. Profesor perfil deseable PRODEP. Líder del cuerpo académico Gestión de la Calidad y Recursos Empresariales.

CARACTERIZACIÓN DE LA NORMA ISO 9001:2015 A TRAVÉS DE LA MEJORA CONTINUA PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN ORGANIZACIONES CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL

CARLOS VÁZQUEZ CID DE LEÓN

Doctor en Ciencias de la Administración por la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, magíster en Ingeniería Administrativa e ingeniero industrial por el Tecnológico Nacional de México. Se desempeña como profesor-investigador en la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Adscrito al Instituto de Ingeniería Industrial y Mecánica Automotriz. Su línea de investigación es la mejora continua de sistemas de producción y administración. Cuenta con perfil PROMEP y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

ASENET NIZANDAYA ALCÁNTARA SÁNCHEZ

Actualmente, es estudiante de la maestría en Administración de Negocios en la Universidad Tecnológica de la Mixteca y es ingeniera industrial por la misma universidad. Su línea de investigación es la mejora continua de sistemas de producción y administración.

SALVADOR MONTESINOS GONZÁLEZ

Doctor en Ciencias de la Administración por la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, magíster e ingeniero industrial por el Instituto Politécnico Nacional. Se desempeña como profesor-investigador en la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Adscrito al Instituto de Ingeniería Industrial y Mecánica Automotriz. Su línea de investigación es la mejora continua de sistemas de producción y administración. Cuenta con perfil PROMEP y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

SYSTEMIC REVIEW OF THE LITERATURE OF GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN THE FOOD PACKAGING INDUSTRY

RENZO ERNESTO CHUMPITASI ORTIGAS

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima, Perú. Actualmente, trabaja como practicante profesional de operaciones en el Área de Delivery de la empresa Kyndril.

VALERIA GONZALES CAMPANA

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima, Perú. Actualmente, trabaja como analista de producto de pagos e Izipay en el Área de Estrategia de Productos de la empresa Interbank.

SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN DE PALTA (*PERSEA AMERICANA*) PERUANA EN EL CONTEXTO DEL COMERCIO INTERNACIONAL

MANUEL ANTONIO FLORES-IZQUIERDO

Doctor en Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, magíster en Ingeniería de Procesos por la Universidad Nacional de Ingeniería e ingeniero agroindustrial por la Universidad Nacional de Trujillo. Especialista en manejo de portafolios de proyectos de inversión CAPEX y especialista en reducción de costos en proyectos. Especializado en "Gerencia de proyectos bajo el enfoque PMI, formulación y evaluación de proyectos y diseño de plantas industriales". Cuenta con experiencia en manejo de CAPEX/OPEX de proyectos de mejora y de mantenimiento.

LUIS ENRIQUE ESPINOZA-VILLANUEVA

Cuenta con estudios concluidos en el doctorado en Educación por la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle La Cantuta, magíster en Economía Agrícola por la Universidad Nacional Agraria La Molina y economista por la misma universidad. Es docente en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Autor de algunos artículos científicos.

EVALUACIÓN DE LA INTEGRACIÓN EN UNA CADENA HOTELERA DE UN HOTEL EN LA CIUDAD DE MACHALA

EDWIN ZAMBRANO

Egresado en Ingeniería Industrial por la Universidad Técnica de Manabí (Ecuador).

NEYFE SABLÓN COSSÍO

Doctora en Ciencias Técnicas en Ingeniería Industrial, magíster en Administración de Empresas e ingeniera Industrial por la Universidad de Matanzas (Cuba). Es docente e investigadora del Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador y coordinadora del grupo de producción y servicios de la carrera de Ingeniería Industrial y la maestría de Ingeniería Industrial en la misma institución. Ha publicado artículos en revistas especializadas y ofrecido conferencias acerca de cadenas de suministro en México, Cuba y Ecuador. Sus intereses en el campo de la investigación son las administraciones, negocios, logística, operaciones, suministro y administraciones de cadenas de valor.

FUTURE SCENARIOS OF THE COPPER INDUSTRY. A PROSPECTIVE STUDY OF THE COPPER SECTOR IN PERU

SANTIAGO ARÉVALO RODRÍGUEZ

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Cuenta con experiencia en la industria estratégica de la consultoría al ser parte de la consultora de gran prestigio a nivel internacional Mckinsey & Company. Actualmente, labora en el Área de Consultoría de Negocios como analista local en el equipo Mckinsey Perú.

JOAQUÍN EDUARDO PISCOYA ÁLVAREZ

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Cuenta con experiencia en la industria dinámica de la aviación al ser parte de la aerolínea sudamericana LATAM Airlines. Actualmente, labora en el Área de Operaciones Aeroportuarias como analista de gestión de aeropuertos para la Gerencia de Perú en LATAM Airlines.

STUDY OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CAPIRONA (*CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM* [BENTHAM] *HOOKER F. EX SCHUMANN*) WOOD AS A POTENTIAL FOR SOLID WOOD FLOORING PRODUCTION

GRACIELA ISABEL EGOAVIL CUEVA GÁLVEZ

Doctora en Ingeniería Forestal por la Universidad Federal de Paraná (Brasil), magíster en Ciencias en Industrias Forestales por la Universidad Nacional Agraria La Molina e ingeniera industrial por la Universidad de Lima. Actualmente, se desempeña como docente en la Universidad Nacional Agraria la Molina. Ha elaborado varios artículos científicos.

MÁRCIO PEREIRA DA ROCHA

Doctor en Ingeniería Forestal por la Universidad Federal de Paraná (UFPR), magíster en Ingeniería Forestal e ingeniero forestal por la UFPR. Actualmente, se desempeña como profesor titular en la UFPR. Posee más de treinta publicaciones en los últimos cinco años.

Datos de los autores

RICARDO JORGE KLITZKER

Doctor del Programa de Posgrado en Ingeniería Forestal de la Universidad Federal de Paraná (UFPR). Magíster del Programa de Posgrado en Ingeniería Forestal de la UFPR e ingeniero forestal por la misma universidad. Actualmente, es profesor asistente nivel IV de la UFPR.

PAMELA CAROLINA CASTRO TAMAYO

Bachiller en Ingeniería Forestal por la Universidad Nacional Agraria de La Molina. Diplomatura de Especialización Avanzada en Gestión de la Tecnología y de la Innovación por la Pontificia Universidad Católica del Perú.

GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Procedimiento de gestión de inventarios en el Centro de Inmunología Molecular aplicando el modelo de referencia de los inventarios

Identificación de distritos potenciales para la implementación de sinergias industriales aplicables a mipymes manufactureras de Lima metropolitana

CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE

Evaluación eléctrica de lámparas de iluminación

El despliegue de la función de la calidad y la teoría para la solución de problemas de inventiva: un análisis de aproximación para la satisfacción de los requerimientos del cliente

Caracterización de la norma ISO 9001:2015 a través de la mejora continua para su implementación en organizaciones con inteligencia artificial

Systemic review of the literature of green supply chain management in the food packaging industry

INGENIERÍA DE NEGOCIOS

Situación actual y perspectivas de la producción de palta (*Persea americana*) peruana en el contexto del comercio internacional

Evaluación de la integración en una cadena hotelera de un hotel en la ciudad de Machala

PROYECTOS EMPRESARIALES INDUSTRIALES

Future scenarios of the copper industry. A prospective study of the copper sector in Peru.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Study of the physical and mechanical properties of *capirona* (*Calycophyllum spruceanum* [Bentham] Hooker f. ex Schumann) wood as a potential for solid wood flooring production