

REVISTA CIENTÍFICA

# PAKAMUROS

VOL. 13 - Nº 2



UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE JAÉN

Una publicación de la Universidad Nacional de Jaén  
Junio 2025 | Vol. 13. Número 2 | E-ISSN: 2522-3240 | ISSN: 2306-9805  
DOI: <https://doi.org/10.37787/32jtm449>

### *Comité Científico*

#### **Director**

Dra. Mary Flor Césare Coral

#### **Editor**

Dr. Ernesto Hernández Martínez

#### **Miembros**

Dr. Julio Mauricio Vidaurre Ruiz, Universidad Nacional Agraria La Molina

Dr. Eli Morales Rojas, Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua

Dr. Jorge Díaz Dumont, Universidad Nacional de Tayacaja, Perú.

Dr. Ernesto Alonso Paiva Peredo, Universidad Tecnológica Del Perú S.A.C

Dr. García Cedrón David Carmelo, Universidad Privada César Vallejo - Trujillo

Dr. Eneida Vieyra Peña, Universidad Nacional de Tumbes, Perú.

Dr. Edwin Adolfo Díaz Ortiz, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

### *Equipo de edición y diseño*

#### **Responsable del Proceso Editorial**

Ing. Sandra Eloisa Pasapera Campos, Universidad Nacional de Jaén

#### **Diseño de portada**

Lic. Lina Lesli Ruiz Navarrete, Universidad Nacional de Jaén

### **Tópicos aceptados por la revista**

Ingeniería

Salud

Descargo de responsabilidad: El Director, los Editores y la Universidad Nacional de Jaén no se hacen responsables de los errores, omisiones, inconsistencias involuntarias por parte de los autores o de las consecuencias derivadas del uso de la información contenida en esta revista; los puntos de vista y las opiniones expresadas no reflejan necesariamente los del El Director, los Editores y la Universidad Nacional de Jaén, y la publicación de anuncios no constituye ninguna aprobación por parte del Director, los Editores y la Universidad Nacional de Jaén de los productos anunciados. Los autores asumen la responsabilidad legal y moral de las ideas expresadas en los artículos. El editor no será legalmente responsable en caso de reclamaciones de indemnización.

Página web de la revista: Para las instrucciones de envío, suscripción y demás información, visite: <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros>

# CONTENIDO

## ARTÍCULOS ORIGINALES

Planes de mejora y su influencia en los indicadores de aprendizaje en la enseñanza de la ingeniería.....	4
Impacto de un modelo integrado de economía circular en la sostenibilidad e indicadores de desarrollo sostenible de una empresa agropecuaria.....	17
Influencia del uso de un sistema de información en la gestión académica en centros educativos de la región San Martín.....	30
Análisis del valor de pasteurización del puré de camote mediante simulación numérica y pruebas experimentales.....	41

## ARTÍCULOS DE REVISIÓN

El potencial del pijuayo ( <i>Bactris gasipaes</i> ) como nuevo ingrediente de productos cárnicos y pesqueros.....	56
Tecnologías de Información y Comunicación y la productividad en las empresas agroexportadoras peruanas en tiempos de pandemia.....	66
La sombra ambiental de la carne: desafíos y soluciones para un futuro sostenible.....	80
Mantenimiento Preventivo en América Latina: Un análisis comparado de principios, metodologías y aplicaciones.....	96
Integración de la automatización en la construcción 4.0.....	107
Resistencia y beneficios ambientales de cenizas agrícolas y fibras naturales en el concreto.....	122

**ARTÍCULO ORIGINAL****Planes de mejora y su influencia en los indicadores de aprendizaje en la enseñanza de la ingeniería****Improvement plans and their influence on learning indicators in engineering education**

Frans Fuentes<sup>1</sup> , Ricardo Shimabuku<sup>1</sup> , Mario Felix Olivera<sup>1</sup> , Jaime Honorio<sup>1</sup> , Jannier Montenegro<sup>1</sup> , Lenin Núñez<sup>1</sup>  y Manuel Milla<sup>1</sup> 

**RESUMEN**

El propósito de esta investigación fue analizar la influencia de los planes de mejora en los indicadores de aprendizaje medidos en las asignaturas Automatización Electroneumática y Transformadores y Líneas de Transmisión que se imparten en la carrera profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca, Perú. Los planes de mejora están orientados a fortalecer la calidad del proceso de enseñanza aprendizaje y se implementaron a partir del año 2020. La medición y evaluación del aprendizaje se realizó de acuerdo a las siguientes etapas: definición de los objetivos educativos del programa, construcción de la matriz de contribución de las asignaturas en los indicadores de aprendizaje, selección de las asignaturas y elaboración e implementación de los planes de mejora. Los indicadores de aprendizaje obtenidos a partir de la implementación de los planes de mejora fueron procesados siguiendo los lineamientos establecidos para un análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples de Tukey, obteniéndose evidencias que indican la existencia de diferencias altamente significativas al comparar semestres e indicadores de aprendizaje respecto al porcentaje de nivel de logro alcanzado, lo que refleja la influencia de los planes de mejora que adquieren un carácter continuo al aplicarse semestre tras semestre.

**Palabras clave:** indicadores de aprendizaje; plan de mejora; evaluación.

**ABSTRACT**

The purpose of this research was to analyse the influence of the improvement plans on the learning indicators measured in the subjects Electropneumatic Automation and Transformers and Transmission Lines taught in the professional career of Mechanical and Electrical Engineering at the National University of Jaén, Cajamarca, Peru. The improvement plans are aimed at strengthening the quality of the teaching-learning process and were implemented starting in 2020. The measurement and evaluation of learning was carried out according to the following stages: definition of the educational objectives of the programme, construction of the matrix of the contribution of the subjects in the learning indicators, selection of the subjects and elaboration and implementation of the improvement plans. The learning indicators obtained from the implementation of the improvement plans were processed following the established guidelines for an analysis of variance and Tukey's multiple comparisons test, obtaining evidence that indicates the existence of highly significant differences when comparing semesters and learning indicators with respect to the percentage of the level of achievement reached, which reflects the influence of the improvement plans that acquire a continuous character when applied semester after semester.

**Keywords:** learning indicators; improvement plan; evaluation.

\* Autor para correspondencia

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: [ingfrans@unj.edu.pe](mailto:ingfrans@unj.edu.pe), [shimabuku.ysa@unj.edu.pe](mailto:shimabuku.ysa@unj.edu.pe), [olivera\\_aldana@unj.edu.pe](mailto:olivera_aldana@unj.edu.pe), [jaime\\_honorio@unj.edu.pe](mailto:jaime_honorio@unj.edu.pe), [jannier\\_montenegro@unj.edu.pe](mailto:jannier_montenegro@unj.edu.pe), [lenin\\_nunez@unj.edu.pe](mailto:lenin_nunez@unj.edu.pe), [manuel.milla@unj.edu.pe](mailto:manuel.milla@unj.edu.pe)

## INTRODUCCIÓN

Según Chávez et al. (2018), el proceso de evaluación de indicadores del aprendizaje tiene dos factores claves: el adecuado diseño de reportes para la presentación de resultados y la ejecución del plan para la comunicación de los mismos. Por eso es importante que este proceso sea aplicado sistemáticamente para lograr su sostenibilidad en el tiempo. En otro orden de ideas Cruz et al. (2020) afirman que se debe estimular a los docentes a que utilicen múltiples métodos cuando evalúen la eficacia de los cursos o programas para estimular las competencias de los estudiantes y al caracterizar de los estudiantes.

La creación de medidas fiables y válidas del dominio de las competencias en comunicación, aprendizaje permanente, innovación /creatividad y trabajo en equipo de la ingeniería exige evaluar el estado del arte de los métodos de medición de competencias (Cruz et al., 2020). De allí que sea necesario construir indicadores desde la perspectiva de su uso previsto y vinculado con condiciones específicas y acciones potenciales, requiere incluir datos de proceso más útiles en el desarrollo de esos indicadores, así como, seguimiento y análisis de la eficacia de las acciones tomadas con base en esos indicadores, contrastado con acciones alternativas (Mustaffa et al., 2019).

En ese contexto el proceso de mejora continua requiere de la medición y evaluación de los indicadores de aprendizaje a partir de los cuales se deben formular planes cuya implementación esté orientada a satisfacer los indicadores de logro de aprendizaje, por lo que se eligieron dos asignaturas en las que convergen al menos cuatro áreas técnicas de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Automatización Electroneumática y Transformadores y Líneas de Transmisión, en las que interactúan las disciplinas de automatización, diseño mecánico, diseño eléctrico y modelado.

La dinámica del proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas seleccionadas permite establecer la distribución de los indicadores del aprendizaje en cada asignatura, (RA1) diseño y desarrollo de soluciones, (RA2) investigación, (RA3) uso de herramientas modernas, (RA4) trabajo individual y en equipo, (RA5) aprendizaje permanente y (RA6) comunicación los cuales se midieron en la asignatura de Automatización Electroneumática.

Asimismo, los indicadores de aprendizaje, (RA7) conocimientos de ingeniería, (RA8) análisis de problemas, (RA9) ingeniería y sociedad, (RA10) medio ambiente y sostenibilidad, (RA11) ética y (RA12) gestión de proyectos los cuales fueron medidos en la asignatura Transformadores y Líneas de Transmisión. Estos indicadores de aprendizaje forman parte de la política estratégica de la oficina de indicadores de calidad y aprendizaje, la selección de las materias se realizó en función de la especialidad y de su contribución a la formación profesional.

Esta investigación analizó los indicadores de aprendizaje medidos en las asignaturas seleccionadas, este análisis permitió la elaboración de planes de mejora orientados a fortalecer la calidad del proceso de

enseñanza aprendizaje y fueron implementados durante los semestres académicos 2020-II, 2021-I, 2021-II, 2022-I y 2022-II, de allí que sea importante estimar el efecto de los referidos planes de mejora en los logros de aprendizaje y en consecuencia en las competencias establecidas en el perfil del egresado, una necesidad crítica en las Instituciones de Educación Superior (IES).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Según Gabalán-Coello y Huggins (2018) el proceso de medición y evaluación del aprendizaje supone contar con lineamientos claramente definidos sobre los objetivos de aprendizaje que se persiguen con el desarrollo de las propuestas curriculares, de allí que a partir del método propuesto se toma como referencia la misión institucional para irradiarla por diferentes niveles hasta llegar a la construcción concreta del modelo de evaluación centrado en la coherencia institucional, proceso implica pasar por diferentes niveles de concreción al interior de la institución y particularmente del programa objeto de valoración.

### Proceso de elaboración de Plan de Mejora

**Tabla 1**

*Estructura del plan de mejora*

<b>Asignatura</b>	<b>Nombre de la asignatura</b>
Indicadores de aprendizaje	Nombre de los indicadores de aprendizaje que se medirán
Indicador RA	Descripción del indicador RA
Resultado obtenido	Porcentaje de nivel de logro
Variación	Diferencia con respecto al objetivo establecido
Acción de mejora	Acción que debe aplicarse
Objetivo	Resultado esperado
Indicador	Pruebas de ejecución
Estado	Estado de aplicación

*Nota.* RA, indicador de aprendizaje

**Tabla 2**

*Prioridad e impacto de la mejora*

<b>Asignatura</b>	<b>Automatización Electroneumática</b>
<b>Indicadores de aprendizaje</b>	RA1 (Diseño y desarrollo de soluciones)
<b>Indicador RA</b>	RA1.2(El estudiante es capaz de diseñar soluciones a problemas complejos utilizando la automatización electro neumática, mecánica y de ingeniería eléctrica para satisfacer las necesidades deseadas dentro de restricciones realistas de salud pública, seguridad, económicas y ambientales).
Acción de mejora	Realizar un seminario sobre diseño técnico.
Criterios de prioridad	Importante y urgente
Nivel de prioridad	Muy alto
Impacto	Alto
<b>Asignatura</b>	<b>Transformadores y líneas de transmisión</b>
Indicadores de aprendizaje	RA7 (Conocimientos de ingeniería)
Indicador RA	RA7.1 y RA7.2(El estudiante es capaz de aplicar conocimientos de matemáticas en el diseño de Transformadores y Líneas de Transmisión para resolver problemas complejos de Ingeniería Mecánica y Eléctrica).

Acción de mejora	Realizar un taller sobre el manejo del software DLTCAD.
Criterios de prioridad	Importante y urgente
Nivel de prioridad	Muy alto
Impacto	Alto

*Nota.* La muestra, la acción de mejora de mayor impacto en cada una de las asignaturas.

## Selección de muestras

**Tabla 3**

*Distribución de los estudiantes matriculados*

Semestre	Automatización electroneumática	Transformadores y líneas de transmisión	Total
2020-I	12	16	28
2020-II	26	17	43
2021-I	26	20	46
2021-II	24	29	53
2022-I	39	22	61
2022-II	31	38	69
Total	158	142	300

*Nota.* La Tabla muestra la distribución de los estudiantes inscritos en las asignaturas Automatización Electroneumática y Transformadores y Líneas de Transmisión, que se imparten en los semestres IX y X, respectivamente.

## Técnicas y/o instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se diseñaron 12 rúbricas, de las cuales se aplicaron 06 en cada una de las asignaturas, dependiendo de los indicadores de aprendizaje a medir.

Según Coello y Huggins (2019) y Mustaffa et al. (2019) el proceso de medición y evaluación de los aprendizajes requiere contar con objetivos de aprendizaje claramente definidos y acordes con las metas que se persiguen con el desarrollo de las propuestas curriculares, de ahí que la implementación de esta propuesta debe tomar como referencia la misión institucional para irradiarla a través de diferentes niveles hasta llegar a la construcción concreta del modelo de evaluación centrado en la coherencia institucional, proceso que implica pasar por diferentes niveles de concreción al interior de la institución y particularmente del programa objeto de evaluación.

El semestre académico de mejora continua constituye una parte fundamental de la medición y evaluación de los indicadores de aprendizaje, un proceso que incluye la planificación de la evaluación, la aplicación de planes de mejora y la estimación de su impacto. En esta investigación nos centramos en el análisis de los procesos de planificación de la evaluación, evaluación de indicadores de aprendizaje e implementación de planes de mejora del programa de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

A continuación, se describen las etapas del proceso de medición de los indicadores de aprendizaje basado en los planes de mejora.

### **1. Modelo de medición y evaluación**

En este proceso se siguió el modelo que promueve la mejora continua de la calidad de los programas, garantizando que éstos cumplan con los más altos estándares internacionales para asegurar que los egresados estén preparados para ejercer su profesión.

### **2. Objetivos educativos del programa**

Los objetivos educativos fueron formulados por los docentes y validados por grupos de docentes, estudiantes, egresados, comité consultivo y empleadores, son los siguientes, OE1 se desempeña profesionalmente de manera competente para administrar, mediante la planeación, diseño, construcción, mantenimiento y/o mejoramiento, sistemas energéticos y electromecánicos, OE2 se desempeña con profesionalismo, para desarrollar investigación científica y tecnológica con carácter innovador, para el desarrollo y solución de problemas con énfasis en las diferentes áreas de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica y OE3 se desempeña profesionalmente de manera competente para formular proyectos sostenibles en el campo de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con responsabilidad social y principios éticos y humanísticos.

### **3. Matriz de contribución**

La matriz conformada por las 64 asignaturas ubicadas en las filas y los 12 indicadores de aprendizaje ubicados en las columnas, fue elaborada por los docentes, quienes identificaron el nivel de contribución de cada una de las asignaturas que conforman el plan de estudios en relación con los indicadores de aprendizaje, lo que permitió seleccionar las asignaturas con mayor nivel de contribución donde se midieron y evaluaron los indicadores de aprendizaje.

### **4. Materias para medir los indicadores de aprendizaje**

Los temas definidos para medir y evaluar los indicadores del aprendizaje se definieron a partir de la matriz de contribución y fueron los siguientes: Automatización Electroneumática y Transformadores y Líneas de Transmisión, las cuales son del IX y X semestre del plan de estudios, respectivamente.

### **5. Indicadores de aprendizaje**

Los indicadores de aprendizaje (RA1) Diseño y desarrollo de soluciones, (RA2) Investigación, (RA3) Uso de herramientas modernas, (RA4) Trabajo individual y en equipo, (RA5) Comunicación, (RA6) Aprendizaje permanente, (RA7) Conocimientos de ingeniería, (RA5) Análisis de problemas, (RA9) Ingeniería y sociedad, (RA10) Medio ambiente y sostenibilidad, (RA11) Ética, (RA12) Gestión de proyectos, forman parte de la política estratégica de la oficina de calidad.

## 6. Proceso de medición y evaluación

### 6.1. Programación.

El proceso de medición y evaluación se realizó antes del inicio de cada semestre académico y se diseñó un formato que incluye las siguientes variables: criterios de desempeño, ponderación, estrategias didácticas, método de evaluación, asignatura, profesor, frecuencia de medición, año y semestre, fecha de la próxima evaluación, responsable de la medición y meta de desempeño.

### 6.2. Rúbricas.

Según Ahmed (2017), la rúbrica constituye el instrumento de medición de los indicadores del aprendizaje y está estructurado de forma que para cada indicador de rendimiento se pueda estimar el nivel de logro de la forma más objetiva posible, garantizando así la recogida de información que permita responder a los objetivos planteados en la investigación. Para la elaboración de la rúbrica se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: identificación de la asignatura, indicadores de aprendizaje a medir, contenido del temario y método a utilizar en el proceso de enseñanza aprendizaje, a continuación, se presenta la estructura y contenido de una rúbrica.

**Tabla 4**

*(RA1) Diseño y desarrollo de soluciones.*

Indicadores de aprendizaje	Niveles de logro			
	Inicial (1)	En desarrollo (2)	Logrado (3)	Avanzado (4)
RA1.1 Diseñar soluciones a problemas complejos utilizando la automatización de la ingeniería electroneumática, mecánica y eléctrica para satisfacer las necesidades deseadas dentro de unos límites realistas de salud pública, seguridad, economía y medio ambiente.	No diseña soluciones integradas avanzadas Orientado a la mejora de la automatización electroneumática en ingeniería mecánica y eléctrica, respetando las normas de seguridad y los estándares pertinentes mediante un informe de mejora de la automatización electroneumática	En ocasiones diseña soluciones integradas avanzadas orientadas a la mejora de la automatización electroneumática en ingeniería mecánica y eléctrica, respetando las normas de seguridad y los estándares pertinentes mediante un informe de mejora de la automatización electroneumática	Casi siempre diseña soluciones integradas avanzadas orientadas a la mejora de la automatización electroneumática en ingeniería mecánica y eléctrica, respetando las normas de seguridad y los estándares pertinentes mediante un informe de mejora de la automatización electroneumática.	Siempre diseña soluciones integrales avanzadas orientadas a la mejora de la automatización electroneumática en ingeniería mecánica y eléctrica, respetando las normas de seguridad y los estándares pertinentes mediante un informe de mejora de la automatización electroneumática.
RA1.2 Diseñar y evaluar sistemas, componentes utilizando la automatización	No diseña y evalúa sistemas, componentes o procesos en ingeniería	En ocasiones, diseña y evalúa sistemas, componentes o procesos en	Casi siempre diseña y evalúa sistemas, componentes o procesos en ingeniería mecánica	Diseña y evalúa siempre sistemas, componentes o procesos en ingeniería

electro-neumática, mecánica y de ingeniería eléctrica para satisfacer las necesidades deseadas dentro de limitaciones culturales y sociales realistas.	mecánica y eléctrica, aplicando los criterios, reglamentos de seguridad y normas pertinentes mediante un informe de mejora de la automatización electroneumática	y ingeniería mecánica y eléctrica, aplicando criterios, reglamentos de seguridad y normas pertinentes mediante un informe de mejora de la automatización electroneumática	y eléctrica, aplicando los criterios, reglamentos de seguridad y normas pertinentes mediante un informe de mejora de la automatización electroneumática.	mecánica y eléctrica, aplicando los criterios, reglamentos de seguridad y normas pertinentes mediante un informe de mejora de la automatización electroneumática.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Nota. La tabla muestra la estructura de la rúbrica para los indicadores de aprendizaje (RA1) Diseño y Desarrollo de Soluciones de la asignatura Automatización Electroneumática.

### 6.3. Implementación

La medición y evaluación se implementó durante los semestres académicos I y II de los años 2020 a 2022, donde los docentes desarrollaron las actividades programadas y midieron los indicadores de aprendizaje, entregando dos archivos donde registraron los datos de medición y el informe de análisis e interpretación. En la asignatura de automatización electroneumática, el estudiante debe demostrar que posee competencias para realizar un diseño de ingeniería y que es capaz de aportar una solución de ingeniería de acuerdo con su formación profesional, para ello conoció problemas reales de la industria y actividades productivas de la ciudad de Jaén y propusieron soluciones desde la automatización electroneumática y la ingeniería mecánica y eléctrica.

Teniendo en cuenta que las provincias de Jaén y San Ignacio son zonas cuyas economías se basan en la producción y exportación de café, y el crecimiento inmobiliario de la ciudad y la alta demanda de ladrillos, se tomaron la producción de café y las ladrilleras como sectores para la solución de problemas complejos, además de tener en cuenta que son actividades donde se utilizan herramientas tecnológicas enfocadas a la automatización.

El proceso de medición y evaluación comenzó en la primera semana de clases, se asignó el proyecto semestral y se presentó un plan para la entrega de informes de avances. Se impartieron seminarios sobre diseño de ingeniería y se visitaron ladrilleras y microempresas de café, los estudiantes recibieron una visión global del problema para poder recopilar tanto información técnica para definir los requisitos del diseño (índices de producción, dimensiones de los insumos o componentes, zonas de montaje, suministros de energía, etc.), como información para definir las limitaciones realistas del diseño (aspectos culturales, económicos y de salud y seguridad en el trabajo, entre otros). De esta forma, se vieron expuestos a una situación real del ejercicio de su profesión, donde consideraron aspectos técnicos de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

En la segunda unidad del semestre, el estudiante presentó los avances de su diseño, involucrando a los propietarios o usuarios de la máquina que estaban diseñando. Esto les permitió recibir retroalimentación no sólo del docente, sino también del usuario y/o dueño de la empresa a la que iba dirigido el diseño, lo que contextualizaba al estudiante en una situación real de su práctica profesional, en la tercera unidad el estudiante presentó el diseño definitivo del proyecto final.

#### **6.4. Análisis**

A partir de la recopilación de datos de la medición y evaluación de los indicadores de aprendizaje y la entrega de los informes, la comisión permanente de licenciamiento, evaluación y acreditación de la calidad, junto con los docentes, analizaron los resultados obtenidos y definieron nuevas acciones de mejora.

### **7. Planes de mejora**

#### **7.1. Elaboración**

La comisión permanente de licenciamiento, evaluación y acreditación de la calidad, junto con los docentes del programa, analizaron los resultados obtenidos y definieron nuevas acciones de mejora. Para la formulación de estas acciones, se establecieron criterios para definir el orden de ejecución, considerando una matriz de mapa de control que combina los parámetros: Prioridad, impacto y probabilidad, estableciendo que  $\text{Prioridad} = \text{Impacto} \times \text{Probabilidad}$ .

#### **7.2. Ejecución**

Los planes de mejoramiento se ejecutaron después de realizar la medición y evaluación, para la investigación se aplicaron en los semestres académicos del 2020-II al 2022-II.

#### **7.3. Análisis**

El análisis consistió en determinar el estado de ejecución y verificación de las acciones de mejora programadas y ejecutadas con base en los indicadores establecidos, lo que permitió la formulación de acciones correctivas.

### **8. Impacto**

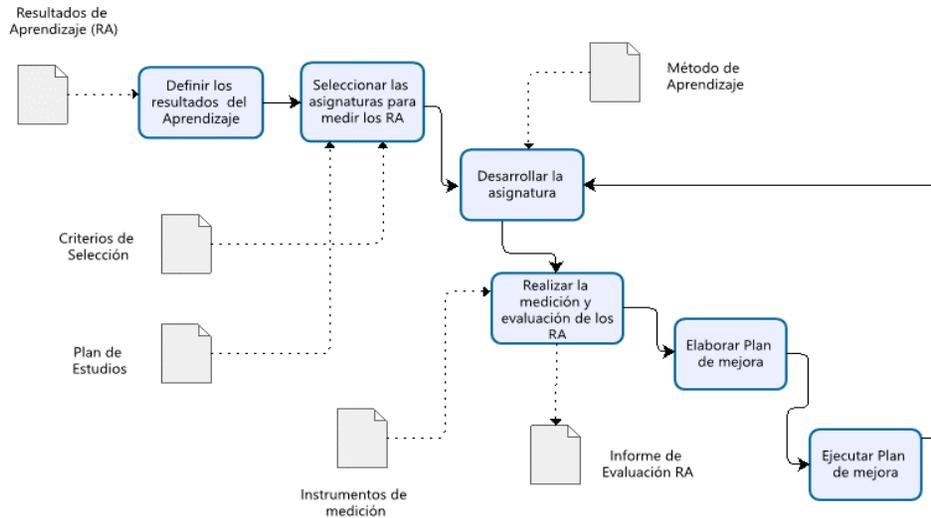
El análisis de impacto se llevó a cabo aplicando una matriz de evaluación de la aplicación de las acciones de mejora, de acuerdo con la siguiente escala: 5-Muy alto, 4-Alto, 3-Medio, 2-Bajo y 1-Muy bajo.

### **9. Análisis estadístico**

Los datos se procesaron con el programa Statistix v.8 y se aplicó un análisis de varianza de dos vías (prueba F) y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para discriminar el comportamiento de los niveles de los factores. Además, se elaboraron gráficos de caja y bigotes para mostrar las medidas

de tendencia central, dispersión y posición de los factores evaluados con respecto a los porcentajes obtenidos.

**Figura 1**  
*Proceso de elaboración de plan de mejora*



Según la figura 1 el proceso de la ejecución del plan de mejora, inicia con la definición de los indicadores de aprendizaje en estricta correspondencia con el perfil del egresado, luego se seleccionan las asignaturas donde se medirán los indicadores de aprendizaje, esta selección responde en primer lugar al plan de estudios y en segundo lugar a los criterios de selección tales como la posibilidad de medir la mayoría de los indicadores de aprendizaje y que los contenidos conduzcan al diseño de soluciones creativas a problemas complejos de ingeniería de la vida real, se implementó un método de aprendizaje lo cual se basó en proyectos. Para evaluación se incorpora un instrumento de medición y se evalúan los indicadores de aprendizaje, generando el informe correspondiente que permite desarrollar el plan de mejora y posterior ejecución en el siguiente semestre académico, demostrando que el plan de mejora alimenta el proceso de desarrollo de la asignatura y este se repite en todos los semestres académicos.

## RESULTADOS

En la tabla 5 se muestran los resultados estadísticos muestran variaciones significativas en el desempeño porcentual según el semestre académico y el indicador de aprendizaje (RA), tal como lo indica el análisis de varianza (ANOVA). Según la prueba de Tukey, el menor rendimiento se presentó en el semestre 1 y el más alto en el semestre 4, respecto a los indicadores de aprendizaje, el valor más bajo el RA 12 y el más alto en el RA 9, estas diferencias se visualizan en el gráfico de caja y bigotes para semestre y diagrama de cajas y bigotes para los indicadores de aprendizaje, figura 2 y 3 respectivamente.

**Tabla 5**

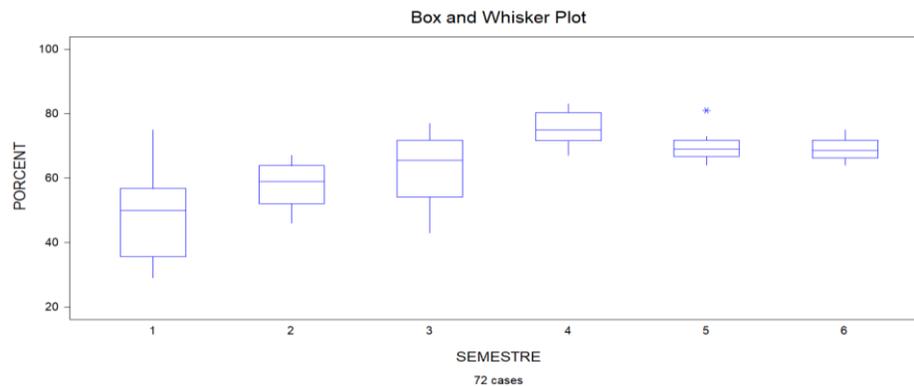
Resultados del análisis de la varianza y de la prueba de Tukey.

Factor	Análisis de varianza		Tukey's Test	
	F	P	< valores	> valores
Semestre	25.08 **	0.0000	1	4
RA	05.20 **	0.0000	12	9

Nota. La figura muestra los resultados del análisis de la varianza y de la prueba de Tukey CV:10.32; ns: No Significativo ( $P>0,05$ ); \*: Significativo ( $P<0,05$ ); \*\*: altamente Significativo ( $P<0,01$ )

**Figura 2**

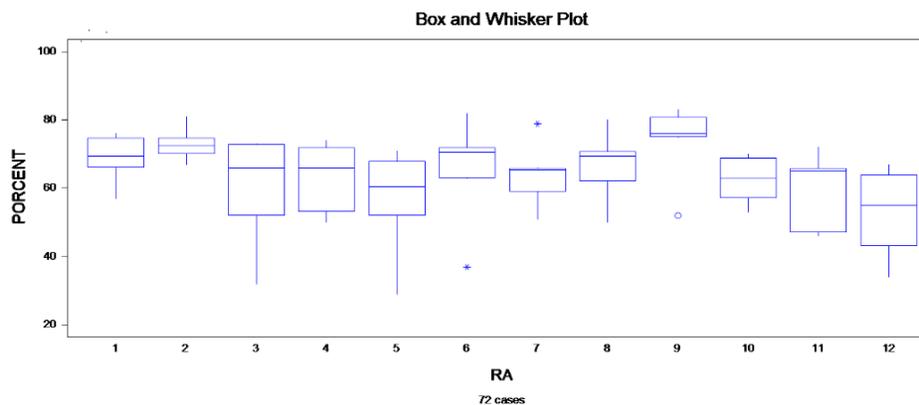
Gráfico de caja y bigotes para semestre



Nota. La Figura representa el porcentaje de cumplimiento por semestre.

**Figura 3**

Diagrama de cajas y bigotes para los indicadores de aprendizaje.



## DISCUSIÓN

La Tabla 5 presenta evidencia que permite afirmar la existencia de diferencias altamente significativas entre los 06 semestres evaluados con respecto a los indicadores de aprendizaje, aspecto que se refleja en el valor de  $F=25.08^{**}$  ( $P=0.0000$ ), siendo el semestre 2020-I el que arrojó valores más bajos de indicadores de aprendizaje y el semestre 2021-II el que generó valores más altos, aspectos que se corroboran en la Figura 2, ya que se observa que los semestres 2021-II y 2020-I son los que generaron valores más altos y más bajos de logros de aprendizaje, respectivamente, en la misma tabla  $F=05.20^{**}$

( $P=0.0000$ ) que indica la existencia de diferencias altamente significativas entre los 12 indicadores de aprendizaje evaluados con respecto a los semestres, obteniendo que RA6 presentó el menor valor y RA4 el mayor valor porcentual del nivel de logro alcanzado.

Los valores más bajos obtenidos en el semestre 2020-I se explican por tratarse del inicio del proceso de acreditación, como lo indican Ibidunni et al. (2023), lo que permitió establecer una línea de base a partir de la cual se elaboró el plan de mejora que se aplicó en el semestre siguiente, los mayores valores obtenidos en 2021-II se deben a que hasta ese semestre se implementaron 03 planes de mejora, que contribuyeron a alcanzar el nivel de logro de los indicadores de aprendizaje (Quiroga et al., 2019).

Una de las metas establecidas en el proceso de acreditación es que en cada una de las asignaturas en las que se midieron los indicadores de aprendizaje, el logro del aprendizaje debe ser mayor o igual al 70%. En el caso de los seis semestres evaluados, se encontró que a partir del semestre 2021-I se alcanzó la meta esperada (Figura 3), ya que se observa que los resultados obtenidos a partir del semestre 2020-II son significativamente superiores al resultado obtenido al inicio del proceso de medición y evaluación de los indicadores de aprendizaje, es decir, semestre 2020-I.

Por otra parte, la meta del 70% no se logró en todas las RA, como se muestra en la Figura 3, en la que se observa que de las 12 RA medidas y evaluadas, sólo cinco de ellas alcanzaron el resultado esperado, específicamente, RA7, RA8, RA9, RA11 y RA4, lo que indica que es necesario implementar un plan de mejora continua que garantice la obtención de logros de aprendizaje en todos los RA (Quiroga et al., 2019). Lo anterior lleva a pensar que un plan de mejora continua debe ir acompañado de un proceso de sensibilización y capacitación que estimule a los docentes a buscar nuevas alternativas de enseñanza que involucren las características de los estudiantes, como lo señala Cruz et al. (2020). Asimismo, los logros de aprendizaje deben estar vinculados a los enfoques didácticos de acuerdo a los temas que se abordan en las diferentes sesiones correspondientes a la impartición de las asignaturas; estos enfoques son debidamente discutidos por Titova et al. (2023).

Es necesaria una evaluación crítica del proceso de enseñanza-aprendizaje para poner en marcha estrategias de mejora, desde los planes de estudio hasta los métodos de enseñanza, tal y como lo expresan (Parejo y Araujo, 2022). Los RA deben ser analizadas y evaluadas según el nivel de logro de aprendizaje esperado en correspondencia con el perfil del egresado, lo cual coincide con lo señalado por Mahajan y Bansal (2023).

Además, es conveniente considerar la incorporación de estrategias pedagógicas que reconozcan las potencialidades de los estudiantes y los involucren en la dinámica del proceso de enseñanza-aprendizaje, para que a través del cumplimiento proyectos de diseño den respuestas a los diversos problemas que presenta la sociedad en su conjunto, idea que es avalada por Sadler (1989), así como por Hawe y Dixon

(2014). Este proceso requiere acciones autocríticas y autorreflexivas que orienten los planes de mejora, aspectos señalados por Tai et al. (2018), así como también es de vital importancia el dominio del plan de estudios para fortalecer la formación profesional de acuerdo a lo establecido en el perfil del egresado para garantizar el éxito en la inserción laboral, afirmación que señalada por Wyatt-Smith y Adie (2021).

## CONCLUSIONES

En la institución no existía una cultura de medición de indicadores de aprendizaje, ya que sólo se evaluaban los logros de aprendizaje a través de los instrumentos tradicionales.

Los indicadores de aprendizaje obtenidos en un semestre constituyen el insumo fundamental para el análisis y elaboración de planes de mejora, los cuales adquieren un carácter continuo al ser aplicados semestre tras semestre.

En las asignaturas objeto de esta investigación, se observó un incremento progresivo en los indicadores de aprendizaje, lo que evidencia la influencia de los planes de mejora.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, S. (2017). Teaching and assessing lifelong learning in laboratory courses. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*. <https://doi.org/10.24908/pceea.v0i0.10140>
- Chávez Quiroga, L. G., Madrid Alamo, A. Y., Quinde Li Say Tan, J. I., y Zapata Ojeda, M. D. (2018). Proceso de Assessment para la Facultad de Ingeniería basado en el Modelo de Acreditación ICACIT. *Proceedings of the 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and Inclusion"*. The 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and Inclusion". <https://doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.270>
- Coello, J. G., y Huggins, K. (2019). The Students Outcomes ABET (1-7) and SOLO's Taxonomy: An Approach. *Proceedings of the 5th International Conference on Frontiers of Educational Technologies*, 110-117. <https://doi.org/10.1145/3338188.3338212>
- Cruz, M. L., Saunders-Smiths, Gillian N., y and Groen, P. (2020). Evaluation of competency methods in engineering education: A systematic review. *European Journal of Engineering Education*, 45(5), 729-757. <https://doi.org/10.1080/03043797.2019.1671810>
- Gabalán-Coello, J., y Huggins, K. (2018). Desarrollo de una metodología para la medición de los Student Outcomes (1-7) de ABET empleando taxonomía SOLO. *Proceedings of the 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and Inclusion"*. The 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and Inclusion". <https://doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.63>
- Hawe, E. M., y Dixon, H. R. (2014). Building students' evaluative and productive expertise in the writing classroom. *Assessing Writing*, 19, 66-79. <https://doi.org/10.1016/j.asw.2013.11.004>
- Ibidunni, A. S., Nwaodu, B. Y., y Mdaka, L. E. (2023). Bringing quality management to perspective in higher education institutions' research output: A focus on selected private universities in Nigeria. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15443>

- Mahajan, R., y Bansal, D. (2023). Designing Performance Metrics and Rubrics to Assess Student Outcome Attainment in Engineering Project Design Course. *Journal of Education*, 203(2), 459-467. <https://doi.org/10.1177/00220574211032587>
- Mustaffa, N. A., Zulkifliand, M., y Murat, I. Z. (2019). *Measuring Course Learning Outcome for Large Class of Introductory Statistics Course*. 8(7).
- Parejo, N. F. H., y Araujo, C. C. de. (2022). Evaluación de los aprendizajes por competencias: Una mirada teórica desde el contexto colombiano. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVIII(1), 106-122.
- Quiroga, G. C., Alamo, A. M., Tan, J. Q. L. S., López, C. W., y Ojeda, M. Z. (2019). Assessment and Evaluation of the Student Outcomes and Formulation of Improvement Plans for an Engineering Academic Program. *2019 International Symposium on Engineering Accreditation and Education (ICACIT)*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/ICACIT46824.2019.9130356>
- Sadler, D. R. (1989). Formative assessment and the design of instructional systems. *Instructional Science*, 18(2), 119-144. <https://doi.org/10.1007/BF00117714>
- Tai, J., Ajjawi, R., Boud, D., Dawson, P., y Panadero, E. (2018). Developing evaluative judgement: Enabling students to make decisions about the quality of work. *Higher Education*, 76(3), 467-481. <https://doi.org/10.1007/s10734-017-0220-3>
- Titova, O., Luzan, P., Davlatzoda, Q. Q., Mosia, I., y Kabysh, M. (2023). The Taxonomy Approach for Engineering Students' Outcomes Assessment. En V. Tonkonogyi, V. Ivanov, J. Trojanowska, G. Oborskyi, y I. Pavlenko (Eds.), *Advanced Manufacturing Processes IV* (pp. 380-390). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_36)
- Wyatt-Smith, C., y Adie, L. (2021). The development of students' evaluative expertise: Enabling conditions for integrating criteria into pedagogic practice. *Journal of Curriculum Studies*, 53(4), 399-419. <https://doi.org/10.1080/00220272.2019.1624831>

**ARTÍCULO ORIGINAL****Impacto de un modelo integrado de economía circular en la sostenibilidad e indicadores de desarrollo sostenible de una empresa agropecuaria****Impact of an integrated circular economy model on the sustainability and sustainable development indicators of an agricultural company**Abel Rodríguez<sup>1</sup> , Carlos Rodríguez<sup>2</sup> , Wendy Castañeda<sup>3</sup> , Wilson Maco<sup>4</sup>  y Iván Olivares<sup>4</sup> **RESUMEN**

En el contexto de los desafíos actuales hacia un desarrollo sostenible, la economía circular surge como una alternativa viable para transformar procesos productivos tradicionales. Este estudio evaluó su impacto en una empresa agropecuaria de la región Ancash, mediante un enfoque mixto con análisis cualitativo y cuantitativo de indicadores de sostenibilidad. La muestra fue una empresa agropecuaria dedicada a la siembra de palta y pitahaya durante el periodo 2023-2025, utilizando técnicas como análisis documental, observación directa y simulación. Los resultados indicaron una tasa de supervivencia del 95% en las plantas y una producción anual promedio de 5 kg de fruta, limitada por problemas de suelo y riego. Sin embargo, tras implementar el modelo circular, la tierra productiva mejoró del 35% al 50%, el acceso a agua dulce del 25% al 40%, y el uso de recursos materiales y energéticos del 45% al 60%. Además, se registraron aumentos en el conocimiento del personal (65% a 75%), salud del equipo (60% a 70%), capacidad manufacturera (50% a 65%) y salud financiera (55% a 70%). En conclusión, el modelo contribuyó significativamente al fortalecimiento ambiental, económico y social de la empresa, demostrando su relevancia para avanzar hacia un desarrollo sostenible.

**Palabras clave:** Gestión; economía circular; sostenibilidad; recursos naturales; sustentable.

**ABSTRACT**

In the context of the current challenges towards sustainable development, the circular economy emerges as a viable alternative to transform traditional production processes. This study evaluated its impact on an agricultural company in the Ancash region, using a mixed approach with qualitative and quantitative analysis of sustainability indicators. The sample was an agricultural enterprise dedicated to avocado and pitahaya planting during the period 2023-2025, using techniques such as documentary analysis, direct observation and simulation. The results indicated a 95% plant survival rate and an average annual production of 5 kg of fruit, limited by soil and irrigation problems. However, after implementing the circular model, productive land improved from 35% to 50%, access to fresh water from 25% to 40%, and use of material and energy resources from 45% to 60%. In addition, there were increases in staff knowledge (65% to 75%), equipment health (60% to 70%), manufacturing capacity (50% to 65%), and financial health (55% to 70%). In conclusion, the model contributed significantly to the environmental, economic and social strengthening of the company, demonstrating its relevance in moving towards sustainable development.

**Keywords:** Management; circular economy; sustainability; natural resources; sustainable.

\* Autor para correspondencia

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Santa, Perú. Email: [arodriguez@uns.edu.pe](mailto:arodriguez@uns.edu.pe)

<sup>2</sup> Universidad Cesar Vallejo, Perú. Email: [crodriguez23@ucvvirtual.edu.pe](mailto:crodriguez23@ucvvirtual.edu.pe)

<sup>3</sup> Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados, Perú. Email: [2025818022@uns.edu.pe](mailto:2025818022@uns.edu.pe)

<sup>4</sup> Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Email: [wmaco@unitru.edu.pe](mailto:wmaco@unitru.edu.pe), [iolivares@unitru.edu.pe](mailto:iolivares@unitru.edu.pe)

## INTRODUCCIÓN

Respecto a la problemática a nivel mundial, se centra en el crecimiento acelerado y su impacto en la sobrepoblación y la continua degradación de recursos esenciales para la sostenibilidad de la vida, alcanzando niveles críticos sobre la seguridad alimentaria (Cheng et al., 2025; Hussain et al., 2025). Durante los últimos dos siglos, la población global ha experimentado un crecimiento exponencial que persiste, con una población mundial actual de 7 800 millones y una proyección de las Naciones Unidas (ONU) de 9 000 millones al 2 050, con un 70% de esta población concentrada en zonas urbanas y con ello el aumento del hambre mundial en todos los niveles (Abbas et al., 2025). Esta realidad implica alimentar a una población en aumento, desencadenando un incremento insostenible en el consumo de recursos y bienes esenciales para la satisfacción de necesidades básicas en las áreas rurales y en las diferentes partes de la sociedad exigen opciones alimentarias saludables y sostenibles (Anyiam et al., 2025; Faggini et al., 2023; Shebanin et al., 2024).

El sistema alimentario enfrenta una insostenibilidad multidimensional, centrado en el cambio climático, la tierra, el agua y el crecimiento demográfico afectando aspectos sinérgicos relacionados a la sociedad, empresa y estado, es por ello por lo que aumenta de manera exponencial la urbanización, la industrialización y la demanda de combustibles y energía han llevado a la sobreexplotación de los recursos naturales (Shittu, 2025). Estos son los principales factores que contribuyen el agotamiento global de los principales recursos naturales, contribuyendo a los conflictos y modifican la sostenibilidad del planeta al tener una disrupción entre la seguridad alimentaria y la contaminación (Azizi y Leandro, 2025; Manh et al., 2023; Syrbek et al., 2025).

A nivel de Sudamérica, la emergencia climática está surgiendo como un problema apremiante debido a cuestiones cruciales del mundo real, obligando a la población a reevaluar prácticas en todos los aspectos de sus vidas, donde uno de los factores más relevantes es el impacto de varias industrias en todo el mundo (Bresnahan et al., 2025). En general, las industrias empeoran significativamente la emergencia actual debido al crecimiento poblacional y consumos de sus procesos productivos, aumentando el material particulado y los afluentes gaseosos y líquidos, y la explotación del agua, tierras y otros recursos naturales que interactúan dinámicamente en el sistema (Raza et al., 2025). No obstante, es importante destacar que este sector opera predominantemente bajo un modelo que han adoptado de producción lineal en lugar de circular (Gallego-Schmid et al., 2025). Este enfoque lineal conlleva a la generación de una considerable cantidad de residuos, cuya gestión inadecuada contamina de manera gradual el agua, el suelo y, de manera especialmente relevante, la atmósfera, pues es necesario promover la transición hacia sistemas agropecuarios que adopten un enfoque circular, favoreciendo la optimización de los recursos minimicen el daño ambiental, al tiempo que se logra un aumento en la eficiencia del sistema en su conjunto (Panza

y Peron, 2025). En ese sentido se plantea el problema de investigación ¿Cuál es el impacto de un modelo integrado de economía circular en la sostenibilidad de las empresas agropecuarias?

En cuanto a la literatura científica actual como soporte de las variables se tiene a Mukherjee et al. (2025), quienes afirmaron que la economía circular es un tema emergente que hace sinergia con otros conceptos que contribuyen al desempeño de las organizaciones, en ese mismo sentido McCauley (2025), afirmó que la economía circular es un nuevo modelo que no ha sido explorado completamente, en donde la manufactura de bienes y servicios se enfocan en el consumo tangible e intangibles, haciendo el seguimiento desde su transformación de los residuos que se generan y la sostenibilidad del medio ambiente. Asimismo, la economía circular es un sistema que es consiente que los recursos se agotan debido a su uso excesivo, que son limitados y que se enfocan de una manera sistémica, en donde todos los elementos interactuantes son importantes (Leone et al., 2025).

Por otro lado, Ashby (2023) afirmó que el desarrollo sostenible es un desarrollo que contribuye de forma positiva y significativa a la prosperidad, a las personas y al planeta (3P), estas 3P son capitales esenciales, los cuales son el capital manufacturero y financiero, el capital humano y social, y el capital natural, estos capitales son existencias, es así como estos recursos pueden conservarse, acumularse o reducirse con enfoque al desarrollo sostenible (Li et al., 2025). Estas políticas a menudo se describen como verdes porque se enfocan en limitar el impacto del desarrollo en el medio ambiente en base a la matriz energética de diversos sectores (Kousar et al., 2025).

La importancia del estudio, tuvo una relevancia científica, abordando los desafíos ambientales y económicos de los sectores productivos estratégicos, como la agroindustria y la manufactura, teniendo en cuenta, los aportes teóricos científicos, que se entrelazan con mayor urgencia en la adopción de enfoques sistémicos de la naturaleza imperativa, además, tuvo una relevancia social, considerando la actividad agropecuaria y analizando de manera integral el potencial de dicho enfoque, evaluando cómo su implementación puede no solo optimizar las operaciones agropecuarias, sino también generar beneficios ambientales y socioeconómicos perdurables en las empresas MiPymes.

En ese sentido, se tuvo como objetivo del estudio determinar el impacto de un modelo integrado de economía circular en el desarrollo sostenible de una empresa agropecuaria, Ancash, 2023., para lo cual se estableció objetivos específicos secuenciales, donde se procedió a realizar el diagnóstico de los procesos operativos, seguido por la determinación de los indicadores sostenibles de las empresas agropecuarias y después de ello, se procedió a implementar el modelo integrado de economía circular en una empresa agropecuaria, con la finalidad de evaluar su impacto en los indicadores de sostenibilidad.

En cuanto a la hipótesis del estudio fue, el modelo integrado de economía circular impacta de manera significativa en la sostenibilidad de las empresas agropecuarias.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La población estuvo conformada por las empresas agropecuarias de la región Áncash, las cuales fueron utilizadas para el modelado del estudio, para ello, se utilizó como muestra una empresa agropecuaria con su diseño técnico estructural del proceso productivo de los cultivos de palta y pitahaya. Se tomaron en cuenta los procesos propios de esta empresa agropecuaria en la región Ancash, con el propósito de mejorar los indicadores de desarrollo sostenible. Asimismo, para la presente investigación, la unidad de análisis fue el eje técnico administrativo de una empresa agropecuaria, asimismo de acuerdo con los objetivos de la investigación se tuvo en cuenta un análisis del sistema productivo de la siembra de los cultivos.

El modelo se desarrolló en tres etapas, la primera etapa estableció una granja de cría de cuyes, donde se proporcionó una alimentación mixta compuesta por forraje verde hidropónico y alimento balanceado, pues; para ello se cultivó utilizando técnicas hidropónicas, proporcionando un suministro fresco y nutritivo, complementando sus necesidades nutricionales, para obtener carne de calidad y subproductos esenciales; la siguiente etapa se utilizó la biodigestión del estiércol y producción de biogás, biol y biosol, teniendo en cuenta la ecuación 1 de bioquímica simplificada:



En esta reacción, la materia orgánica presente en el estiércol ( $\text{CH}_4\text{O}$ ) es descompuesta por microorganismos anaeróbicos en biogás ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El biogás generado, principalmente metano, se captura y almacena para su uso como fuente de energía. Luego se llevó a cabo el cálculo de la carga orgánica (kg/día), tasa de producción de biogás y el volumen de biogás genera. Para la producción de biol y biosol, cuyos componentes son ricos en nutrientes y son adecuados para su uso como fertilizantes. Puede describirse utilizando la ecuación 2 simplificada.



En esta reacción, la materia orgánica ( $\text{CH}_4\text{O}$ ) reacciona con el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) para producir metano, dióxido de carbono, agua y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En la tercera etapa se procedió con la fertilización de los cultivos y el cierre del ciclo, utilizando el biol y el biosol producido en el biodigestor anaeróbico para aplicar de manera adecuada en los cultivos de paltos, pitahayas y en el forraje verde hidropónico.

En el diseño del proceso, se realizó la optimización del biodigestor, para lo cual se consideró la optimización del diseño y las condiciones de operación del biodigestor para maximizar la producción de

biogás y la descomposición de la materia orgánica, donde se incluyó aspectos como la relación carga/agua, la temperatura y el tiempo de retención hidráulica.

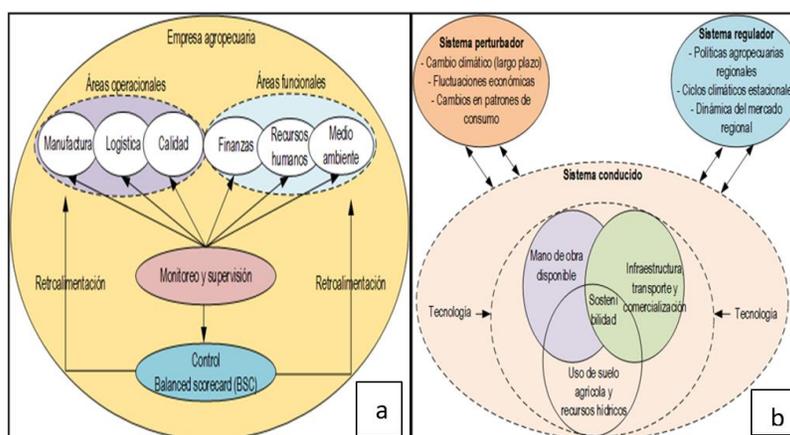
Las técnicas utilizadas fueron la revisión y el análisis documentales, considerando registros físicos relacionados a los recursos recuperados y el manejo operativo de los procesos, entre otros formatos que son utilizados en la organización y que sirvieron para recolectar la información expresados en datos, pues la información se obtuvo de la información de la empresa, la cual fue proporcionado por los encargados de la organización. Asimismo, para los indicadores de desarrollo sostenible se consideró la observación directa, los cuales utilizaron instrumentos como las fichas de control del capital financiero, capital humano, capital natural y capital tecnológico. Respecto al manejo de resultados, se procedió a describir e inferir resultados, teniendo en cuenta la manera secuencial en cada proceso operativo, recolectados de acuerdo a los objetivos planteados, seguido de un análisis inferencial para contrastar la hipótesis planteada, utilizando una prueba T – Student (t), con la finalidad de determinar si existe significancia entre las variables (independiente – dependiente). Para lo cual se utilizó el software R 4.4.3 con su IDE R Studio, tal como se muestra en la tabla 3.  $H_0: \beta = 0$ ;  $H_1: \beta > 0$ ;  $\alpha = 0,05$  (3)

## RESULTADOS

La empresa agropecuaria al ser parte de un sistema productivo y abierto, tiene una interrelación dinámica entre los diferentes grupos de interés (figura 1), considerando el sistema perturbador, regulador y conducido, donde se tuvo en cuenta el ámbito de la aplicación, siendo el punto integral la sostenibilidad de la empresa, pues para ello, se tuvo en cuenta las variables de cambio climático como precipitaciones, aumento de rayos UV, escasez hídrica, agotamiento del suelo, los cuales afectan a las distintas industrias (minería, textil, curtiembre, cementera, agregados, acero, etc.).

**Figura 1**

*Análisis operativo de la empresa agropecuaria. a) Sistema conducido. b) Sistema conducido para la sostenibilidad.*



*Nota.* El gráfico representa el sistema conducido y sistema conducido para la sostenibilidad.

Pues la fuente principal en los valles de Chimbote, Nepeña, Casma y Huarney, proviene del afluente del Río Santa, el cual se encarga de abastecer una extensión total de 136 768 hectáreas, así como el abastecimiento de agua a la población de impacto, siendo el canal IRCHIM el encargado de extraer el caudal del afluente y trasvasar todos los valles de Chimbote – Nepeña y Casma, cuenta con una extensión de 146.5 km. Pues si bien es cierto, los valles de Chincas tienen el recurso hídrico para el cultivo, existen fluctuaciones económicas, patrones de consumo y la dinámica del mercado que afectan a la sostenibilidad de los valles.

Se determinaron los procedimientos de acuerdo a los lineamientos que establecen los ODS en las prácticas que fomenten la resiliencia del ecosistema, la inclusión social y el bienestar económico, iniciando con el análisis del uso de recursos de la microempresa agropecuaria de la región de Ancash, la proximidad al océano Pacífico y la altitud de los Andes, pues las estaciones en Ancash incluyen una crisis en la sostenibilidad de la empresa (tabla 1), lo que resalta la necesidad de mejorar los diferentes indicadores de sostenibilidad como el capital natural, el capital humano y social, capital manufacturero y financiero y la sinergia con el capital tecnológico.

**Tabla 1**

*Indicadores de sostenibilidad de la empresa alineados a los objetivos de desarrollo sostenible*

<b>Indicadores sostenibles</b>	<b>Valores cuantificables (%)</b>
<b>Capital natura</b>	
Tierra productiva	35
Agua dulce	25
Recursos materiales y energéticos	45
<b>Capital humano y social</b>	
Nivel de conocimiento	65
Nivel de salud	60
Nivel de cultura	55
<b>Capital manufacturero y financiero</b>	
Capacidad manufacturera	50
Economía dinámica	45
Salud financiera	55
<b>Capital tecnológico</b>	
Software de monitoreo	40
Capacidad de respuesta	50

*Nota.* Información de los indicadores de sostenibilidad en la empresa.

El modelo implementado buscó optimizar y minimizar el desperdicio, creando un sistema agrícola que no solo produzca bienes, sino que también preservar el bienestar de la comunidad, pues este enfoque permitió que la empresa agropecuaria no solo cumpla con sus objetivos económicos, sino que también juegue un papel activo en la consecución de los ODS, el cual estuvo centrado en un marco estratégico, desde la perspectiva medioambiental y de sostenibilidad, ubicada en la base, que destaca la importancia de reducir el impacto ambiental a través de prácticas circulares como la reutilización de recursos, el

reciclaje y la minimización de residuos, luego, incorpora la perspectiva de aprendizaje y crecimiento, así mismo, se tiene a la perspectiva del cliente realizando productos más sostenibles y responsables, donde la rentabilidad es el resultado de implementar estos principios circulares.

Para llevar a cabo el modelo holístico se incluyó el cuadro integral de gestión estratégica sostenible (CIGES), donde se describe el uso de tecnologías limpias y prácticas (tabla 2), como la rotación de cultivos, la conservación de suelos y el manejo eficiente del agua, pues estos enfoques no solo protegen el medio ambiente, sino que también fortalecen la resiliencia de la empresa ante fluctuaciones en el mercado y cambios climáticos, resaltando la importancia de repensar y rediseñar los sistemas de producción desde la bioeconomía, combinando avances tecnológicos con la sostenibilidad.

**Tabla 2**

*Estrategias para llevar a cabo el modelo de economía circular*

<b>Estrategia</b>	<b>Descripción</b>	<b>Indicador</b>	<b>Meta</b>	<b>Plazo</b>
Rediseño de productos	Adaptar productos agropecuarios para usar subproductos biológicos.	% de productos rediseñados	80% de los productos en 2 años	2024-2025
Optimización de procesos	Mejorar procesos para reducir el uso de recursos y residuos.	% de reducción de recursos	Reducción del 20% en 2 años	2024-2025
Implementación de tecnologías	Integrar nuevas tecnologías sostenibles en la producción.	Número de tecnologías implementadas	5 nuevas tecnologías en 2 años	2024-2025
Instalación de sistemas de compostaje	Establecer sistemas para compostar residuos orgánicos.	Número de sistemas instalados	2 sistemas en 1 año	2024
Desarrollo de planta de biogás	Construir una planta para la producción de biogás.	Capacidad de producción de biogás	Producción de 50 m <sup>3</sup> /día	2024
Monitoreo y mejora	Monitorear y optimizar los procesos de compostaje y biogás.	% de mejora en eficiencia	Aumentar la eficiencia en un 30%	2025
Desarrollo de biofertilizantes	Crear y aplicar biofertilizantes a partir de compost y biogás.	Cantidad de biofertilizante producido	Producción de 10 toneladas/año	2024-2025
Aplicación en campos	Aplicar biofertilizantes en los cultivos para evaluar efectividad.	% de cultivos tratados	Tratar el 100% de los cultivos	2025
Evaluación del impacto	Evaluar el impacto de la biofertilización en la productividad de los cultivos.	Incremento en la productividad	Aumento del 20% en productividad	2025

*Nota.* Basado en los registros de los indicadores

Las actividades estratégicas orientadas a los residuos orgánicos, mediante la instalación de compostaje para la recuperación de los residuos orgánicos y convertirlos en compost, donde se lleva a cabo la recirculación de los residuos, mejorando así la fertilidad del suelo y reduciendo la cantidad de desechos, garantizando que los sistemas de compostaje y biogás operen de manera óptima.

Luego de llevar a cabo el diseño del modelo integrado circular, se logró obtener un crecimiento de la población de cuyes de manera lineal, pues de una producción inicial de 390 cuyes, los cuales se dividieron en 39 machos y 351 hembras, se obtuvo un total de 1200 cuyes en un año, generando 0,9 lt/cuy día de agua residual y un caudal 1,08 m<sup>3</sup>, la biodigestión del estiércol estuvo en relación de 20:80 gas líquido.

**Tabla 3**

*Parámetros utilizados en el desarrollo del modelo integrado*

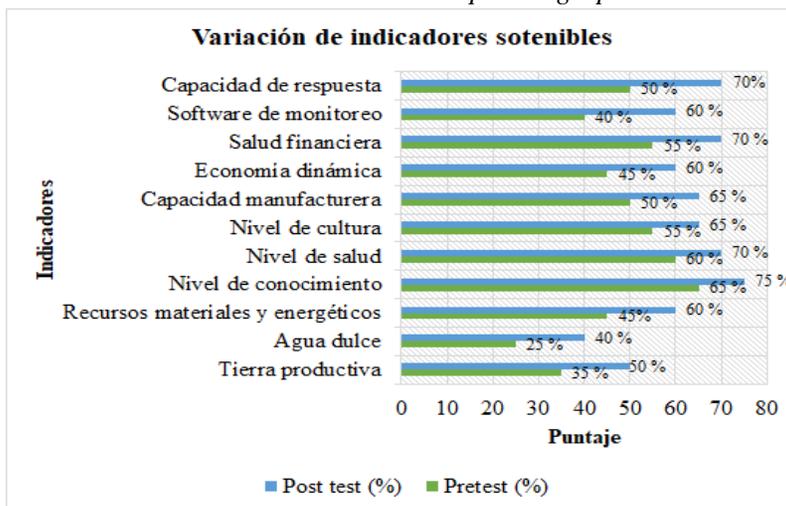
Estiércol (kg/día)	Agua (L/día)	Materia Prima (kg)	Compost (kg)	Biogás Producido (m <sup>3</sup> )	Biol (L)	Biosol (%)	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Cumplimiento Normativo (Sí/No)
216	864	1 200	800	60	100	30	1,08	Sí
216	864	1 300	850	65	110	32	1,08	Sí
216	864	1 500	900	70	120	35	1,08	Sí
216	864	1 400	850	68	115	34	1,08	Sí
216	864	1 600	950	75	130	36	1,08	Sí
216	864	1 700	1 000	80	140	38	1,08	Sí
216	864	1 800	1 050	85	150	40	1,08	Sí
216	864	1 500	900	70	120	35	1,08	Sí
216	864	1 600	950	78	135	37	1,08	Sí
216	864	1 700	1 000	80	145	39	1,08	Sí
216	864	1 800	1 050	85	150	41	1,08	Sí
216	864	1 900	1 100	90	160	43	1,08	Sí

*Nota.* Basado en los registros de los indicadores

Los parámetros obtenidos en el proceso (tabla 3) se llevaron a cabo de acuerdo a la cantidad de los cuyes (1200 cuyes) y el sub producto como el estiércol (compost) 800 kg y el biogás 65 m<sup>3</sup>, lo cual se procedió a fertilizar los cultivos de la empresa, permitiendo la recuperación del recurso hídrico y la producción de biol y biosol para la biofertilización del suelo, obteniendo mejores rendimientos, aumentando de 8 kg/planta a 15 kg/planta en palto y de 5 kg/planta a 9 kg/planta en pitahaya, asimismo, la rentabilidad (ROI) creció del 22,94% al 30,50%.

**Figura 2**

*Variación de indicadores sostenibles de la empresa agropecuaria*



*Nota.* El gráfico representa la forma de cómo llevar a cabo el desarrollo sostenible de manera estratégica de una empresa.

De acuerdo al análisis realizado sobre los indicadores sostenibles (figura 2), se obtuvo una mejora de 22,94% al 30,50%, lo que indica una mejor utilización de los recursos invertidos, asimismo, el margen de ganancias pasó de 23,80% a 28,00%, reflejando una gestión de costos más eficiente, en cuanto a la rotación también se incrementó de 96,20% a 105,00%, sugiriendo un uso más efectivo de los activos,

esto evidenció una mejora de la rentabilidad financiera (ROE), donde se observó un crecimiento del 45,83% al 55,00%, generando más valor para los accionistas, asimismo, el efecto fiscal mejoró, lo que indica una optimización en las obligaciones tributarias, y el apalancamiento se redujo de 3,20 a 2,50, reflejando una estructura de capital más sólida.

**Tabla 3**

*Prueba de T – Student de muestras emparejadas*

Datos	T	Df	p-valor	H <sub>1</sub>	95% de intervalo de confianza de la diferencia		Media
					Inferior	Superior	
Diferencias	13,77	10	3,965*10 <sup>-8</sup>	$\beta > 0$	12,631	$\infty$	14,545

*Nota.* Prueba basada en los datos utilizando el software R con su IDE R Studio 4.4.3.

Las diferencias emparejadas (tabla 3) entre los resultados de los indicadores sostenibles actuales y finales de la empresa, donde se obtuvo un p-valor muy bajo ( $< 0,01$ ), rechazando la hipótesis nula, indicando que la media de las diferencias es significativamente mayor que 0. Lo cual respalda la fiabilidad de los resultados, es decir que estos resultados evidencian el impacto positivo del modelo de economía circular en el desempeño de la empresa agropecuaria.

## DISCUSIÓN

La implementación del modelo de economía circular mejoró significativamente el desarrollo sostenible de una empresa agropecuaria, pues de acuerdo a las herramientas utilizadas, se obtuvo un valor de significancia de 0,000, es decir estos resultados evidencian un impacto positivo del modelo de economía circular en el desempeño de la empresa agropecuaria, la tierra productiva aumentó del 35% al 50%, lo que demuestra una gestión más sostenible de los recursos agrícolas, el acceso a agua dulce también mejoró, pasando del 25% al 40%, lo que indica un uso más eficiente, los recursos materiales y energéticos, logró un incremento del 45% al 60%, reflejando una mejor capacidad para recuperar y utilizar insumos, en cuanto al capital humano y social, el nivel de conocimiento creció del 65% al 75%, y el nivel de salud del 60% al 70%, en ese sentido se coincide con Davidenko et al. (2025), pues los investigadores enmarcaron que el crecimiento económico y el desarrollo sostenible de las empresas de Kazajistán se relacionan con la eficacia de los proyectos sostenibles, lo cual se refuerza con la teoría de Mukherjee et al. (2025), que indican que la economía circular contribuye al desarrollo de las organizaciones.

En cuanto al diagnóstico situacional de los procesos operativos de la empresa agropecuaria, se obtuvo deficiencia para llevar a cabo el monitoreo de los registros de sanidad animal, recursos biológicos recuperados, características de la materia prima y las operaciones para registrar el compostaje/biogás que se utiliza en la biofertilización, pues de acuerdo a las variaciones organizacionales, tales como los

conflictos sociales, políticos y económicos que se evidencian en la región, se tiene otras variables que influyen de manera directa con el desarrollo operativo de los sistemas dinámicos, es así que de acuerdo a las fluctuaciones en los factores ambientales, se genera una situación compleja para tener un posicionamiento estratégico en el cumplimiento de los objetivos sostenibles que se enmarca en la empresa, por ello a través de las variaciones de temperatura diarias con un nivel bajo de 18°C y un nivel máximo de 28°C, con oscilaciones de 3°C, los cuales ocurren 3 veces por semana, afectan el bienestar de los cuyes, el desarrollo de los productos agrícolas como el palto y pitahaya, generando mayor consumo de recursos naturales como los fertilizantes y el agua dulce, en ese sentido, se coincide con Marrucci et al. (2024), pues realizan análisis y controles a diferentes etapas de los procesos del negocio de cerveza, en donde los puntos críticos destaca con un 60% la fase de cultivo y se enmarca en la teoría con Bresnahan et al. (2025), que sostiene que los países y las empresas deben innovar en la agricultura.

En cuanto a la determinación de los datos iniciales, se tuvo en cuenta los registros de producción de campo, producción de cuyes y los registros económicos, los cuales reflejan el capital natural, económico, social y tecnológico, donde se evidencia una mezcla de fortalezas y debilidades que enfrenta la organización, destacándose el capital natural, con un 35% de tierra productiva y un 25% de agua dulce, asimismo, se observa que existe un uso moderado de estos recursos, además, se obtuvo un 45% en recursos materiales y energéticos este indicador refleja que existe margen para optimizar su utilización y minimizar desperdicios, se obtuvo una variación del uso de agua de 25 m<sup>3</sup>/Ha en enero y diciembre a un máximo de 60 m<sup>3</sup>/Ha en junio, con un promedio anual de 41 m<sup>3</sup>/Ha, el consumo de combustible promedio es de 5,5 galones al mes, con picos en los meses de mayor actividad agrícola; los residuos generados tienen un promedio de 1 325 kg al año en ese sentido, se coincide con Islam y Zheng (2025), pues identificaron que el 16% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Europa es causado por el sistema alimentario lo cual se contrasta con Panza y Peron (2025), indicando que la gestión inadecuada contamina todo el ecosistema y amenaza la sostenibilidad.

Respecto a la implementación del modelo de economía circular utilizó herramientas de recirculación, para establecer los registros de sanidad animal, recuperación de recursos biológicos, información de características de la materia prima, elaboración de compostaje/biogás y un sistema integrado de operaciones para el manejo integrado de la producción de palto, pitahaya, forraje verde hidropónico y la cría de animales menores, siendo responsable con el medio ambiente, llevando a cabo la preparación de las materias primas, los cuales fueron recogidos y almacenados del estiércol fresco de cuy, mezclándolo con materiales carbonosos como paja o aserrín en una proporción, para lo cual se diseñó un biorreactor anaeróbico, así como un sistema de agitación para mantener la homogeneidad de la mezcla, logrando

recuperar el recurso hídrico y la biofertilización de biol y biosol para la mejora de la tierra productiva, logrando obtener un rendimiento de los cultivos de 8 kg/planta a 15 kg/planta en el palto y 5 kg/planta a 9 kg/planta de pitahaya, alineándose así con Vásquez et al. (2025) quienes explicaron los desafíos que se presentan en las cadenas alimentarias en ausencia de una correcta implantación de la economía circular en las empresas. La evaluación de los indicadores de economía circular revela mejoras significativas en el desempeño financiero de la empresa, pues la rentabilidad económica (ROI) aumentó del 22,94% al 30,50%, asimismo, el valor de significancia es  $3,965 \times 10^{-8}$ , es decir que estos resultados evidencian el impacto positivo del modelo de economía circular en el desempeño de la empresa agropecuaria, se coincide con Davidenko et al. (2025) que resalta la eficiencia verde con el desarrollo económico.

## CONCLUSIONES

La implementación de un modelo de economía circular resultó en un aumento promedio del 14,54% en los indicadores de desarrollo sostenible de la empresa agropecuaria, evidenciando mejoras en la eficiencia operativa y en el bienestar socioeconómico, logrando que la tierra productiva incremente de 35% al 50%, reflejando una gestión más sostenible de los recursos agrícolas; el acceso a agua dulce pasó del 25% al 40%, indicando un uso más eficiente; y el aprovechamiento de recursos materiales y energéticos aumentó del 45% al 60%, demostrando una mayor capacidad de recuperación y reutilización de insumos, incorporando herramientas de recirculación mediante la alimentación de un biodigestor con restos de producción de palto y pitahaya, mezclados con estiércol fresco de cuy y materiales carbonosos como paja o aserrín, siendo tratado en un biorreactor anaeróbico diseñado con un sistema de agitación para mantener su homogeneidad, permitiendo la recuperación del recurso hídrico y la producción de biol y biosol para la biofertilización del suelo, obteniendo mejores rendimientos, aumentando de 8 kg/planta a 15 kg/planta en palto y de 5 kg/planta a 9 kg/planta en pitahaya, asimismo, la rentabilidad (ROI) creció del 22,94% al 30,50%, con un valor de significancia de  $3,965 \times 10^{-8}$ , evidenciado un impacto positivo del modelo de economía circular en el desempeño ambiental, productivo y financiero de la empresa, resaltando su valor estratégico para el desarrollo sostenible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, S., Haider, A., Kousar, S., Lu, H., Lu, S., Liu, F., Li, H., Miao, C., Feng, W., Aha-mad, M. I., Mehmood, M. S., & Zulqarnain, R. M. (2025). Climate variability, population growth, and globalization impacting food security in Pakistan. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88916-2>
- Anyiam, P. N., Phongthai, S., Grossmann, L., Jung, Y. H., Sai-Ut, S., Onsaard, E., & Rawdkuen, S. (2025). Potential plant proteins for functional food ingredients: Composition, utilization and its challenges. *NFS Journal*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2025.100216>
- Ashby Michael F. (2023). Materials and Sustainable Development (Second Edition). In M. F. Ashby (Ed.), *Materials and Sustainable Development (Second Edition)* (pp. 1–565). *Butterworth Heinemann*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98361-7.15003-1>
- Azizi, M. A., & Leandro, J. (2025). Factors Affecting Transboundary Water Disputes: Nile, Indus, and Euphrates Tigris River Basins. *Water (Switzerland)*, 17(4). <https://doi.org/10.3390/w17040525>
- Bresnahan, K. A., Ferber, J. M., Carrato, J. T., Stoddard, T. J., Palad, P. V., & Richani, M. (2025). Closed-loop systems for plants expressing animal proteins: a modernized framework to safeguard the future of agricultural innovation. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1426290>
- Cheng, P., Zhang, Y., Liu, K., Kong, X., Wu, S., Yan, H., & Jiang, P. (2025). Continuing the continuous harvests of food production: from the perspective of the interrelationships among cultivated land quantity, quality, and grain yield. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04342-1>
- Davidenko, L., Titkov, A., Sherimova, N., & Beisembina, A. (2025). Economic Aspects of Sustainable Development: Eco-Branding in Manufacturing Enterprises from Kazakhstan. *Sustainability (Switzerland)*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/su17010036>
- Faggini, M., Cosimato, S., & Parziale, A. (2023). The way towards food sustainability: some insights for pasta supply chain. *Economia Politica*, 40(2), 679–702. <https://doi.org/10.1007/s40888-021-00247-3>
- Gallego-Schmid, A., Vásquez-Ibarra, L., Guerrero, A. B., Henninger, C. E., & Rebolledo-Leiva, R. (2025). Circular economy in a recently transitioned high income country in Latin America and the Caribbean: Barriers, drivers, strengths, opportunities, key stakeholders and priorities in Chile. *Journal of Cleaner Production*, 486. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144429>
- Hussain, M. A., Li, L., Kalu, A., Wu, X., & Naumovski, N. (2025). Sustainable Food Security and Nutritional Challenges. *Sustainability (Switzerland)*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/su17030874>
- Islam, M. Z., & Zheng, L. (2025). Why is it necessary to integrate circular economy practices for agri-food sustainability from a global perspective? *Sustainable Development*, 33(1), 600–620. <https://doi.org/10.1002/sd.3135>
- Kousar, S., Alvi, A., Kausar, N., Garg, H., Kadry, S., & Kim, J. (2025). Fuzzy multi-objective optimization model to design a sustainable closed-loop manufacturing system. *PeerJ Computer Science*, 11. <https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.2591>
- Leone, F., Sugni, M., Marzorati, S., Rizzato, S., Ferrari, L., Tremolada, P., & Ferrante, V. (2025). Sea urchin waste as valuable alternative source of calcium in laying hens' diet. *PLoS ONE*, 20(3 March). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314981>

- Li, J., Zhang, S., Ji, L., & Wang, F. (2025). Facilitating or Inhibiting: Digital Transformation and Carbon Emissions of Manufacturing Enterprises. *Sustainability (Switzerland)*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/su17010360>
- Manh, D. V., Minh, N. T., Thao, L. X. T., Long, H. D., Thanh, L. H., Ngo, V. D., & Thom, D. T. (2023). A case study of circular economy from waste. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 61(3), 415–428. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/16766>
- McCauley, D. (2025). Just circularities: Intersecting livelihoods, technology, and justice in just transition and circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 500. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145176>
- Mukherjee, S., Panigrahi, R. R., Sharma, R., & Shrivastava, A. K. (2025). Advancing circular economy performance through blockchain adoption: A study using institutional and resource-based frameworks. *Sustainable Futures*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100521>
- Panza, L., & Peron, M. (2025). The role of carbon tax in the transition from a linear economy to a circular economy business model in manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 492. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144873>
- Raza, D., Shu, H., Ehsan, M., Fan, H., Abdelrahman, K., Aslam, H., Quddoos, A., Aslam, R. W., Nazeer, M., Fnais, M. S., & Sardar, A. (2025). Evaluation of agriculture land transformations with socioeconomic influences on wheat demand and supply for food sustainability. *Cogent Food and Agriculture*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2448597>
- Shebanin, V., Drobitko, A., Panfilova, A., & Markova, N. (2024). Development and implementation of energy-saving technologies for growing sunflower hybrids in the south of Ukraine. *Scientific Horizons*, 27(8), 90–99. <https://doi:10.48077/scihor8.2024.90>
- Shittu, E. A. (2025). Performance of Bambara Nuts (*Vigna subterranean* L. Verdc) as Influenced by Genotypes and Weed Control Treatments in the Sudan Savanna Ecology, Nigeria. *Journal of Tropical Crop Science*, 12(1), 195–205. <https://doi.org/10.29244/jtcs.12.01.195-205>
- Syrbek, P., Bimendiyeva, L., Kondybayeva, S., Tlesova, A., & Tolepov, A. (2025). Nexus between Energy Intensity, CO2 Emissions and Food Security: Asymmetric and Symmetric View from Kazakhstan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(2), 616–623. <https://doi.org/10.32479/ijeep.18486>
- Vásquez, J. M., Cequea, M. M., & Schmitt, V. G. H. (2025). Current practices and key challenges associated with the adoption of resilient, circular, and sustainable food supply chain for smallholder farmers to mitigate food loss. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1484933>

**ARTÍCULO ORIGINAL****Influencia del uso de un sistema de información en la gestión académica en centros educativos de la región San Martín****Influence of the use of an information system on academic management in educational centers in the San Martín Region**Gisela Vásquez<sup>1</sup> \* y Kehm Arévalo<sup>1</sup> **RESUMEN**

El objetivo de la presente investigación fue analizar la influencia de la gestión académica ante la implementación de sistemas de información web que contempla las acciones administrativas correspondiente al ámbito académico. En la última década la gestión académica ha sido afectado por las herramientas tecnológicas, en especial por los sistemas de automatización con alcance responsivo para los administrativos y administrados. Se busca con esta investigación mejorar la calidad de la gestión académica de la institución educativa “Lorenzo Morales”, mediante el uso de un sistema web que automatiza los procesos. El proceso metodológico implicó la participación de 128 personas, a quienes se les aplicó una encuesta dividida en tres dimensiones: Expectativas del servicio (Enfoque al cliente), aspectos tangibles e intangibles (Acciones relacionadas con el cliente) y calidad (Comunicación con el cliente). Los resultados se valoraron con un margen de error del 5% y un nivel de confianza del 95%. El marco metodológico utilizado para el desarrollo del sistema de información fue RUP. Los resultados obtenidos indican mejoras significativas en la calidad de la gestión académico, con una media en el post-test de 58.09% y un 12.54 % del pre-test, siendo que la significancia de la prueba wilcoxon es menor a 0.005.

**Palabras clave:** Gestión Académica, Automatización, Sistema de Información, Centro Educativo.

**ABSTRACT**

The objective of this research was to analyze the influence of academic management in the implementation of web information systems that contemplate the administrative actions corresponding to the academic field. In the last decade, academic management has been affected by technological tools, especially by automation systems with responsive scope for administrators and administrators. This research seeks to improve the quality of academic management at the educational institution "Lorenzo Morales", through the use of a web system that automates processes. The methodological process involved the participation of 128 people, who were given a survey divided into three dimensions: Service expectations (Customer focus), tangible and intangible aspects (Actions related to the client) and quality (Communication with the client). The results were evaluated with a margin of error of 5% and a confidence level of 95%. The methodological framework used for the development of the information system was RUP. The results obtained indicate significant improvements in the quality of academic management, with an average of 58.09% in the post-test and 12.54% in the pre-test, with the significance of the Wilcoxon test being less than 0.005.

**Keywords:** Academic Management, Automation, Information System, Educational Center.

\* Autor para correspondencia

<sup>1</sup> Universidad Peruana Unión, Perú. Email: [gisela.vasquez@upeu.edu.pe](mailto:gisela.vasquez@upeu.edu.pe), [kehm.arevalo@upeu.edu.pe](mailto:kehm.arevalo@upeu.edu.pe)

## **INTRODUCCIÓN**

La administración y el seguimiento de los elementos de control estudiantil se considera fundamental en el desarrollo y preparación del alumnado, aplicando diversos procesos de enseñanza, metodologías de aprendizaje, modelos de gestión, evaluación del conocimiento de los estudiantes, programas extracurriculares que ofertan, incluyendo las capacitaciones de los docentes y personal administrativo. (Lovato et al., 2020).

En la actualidad, las acciones del gestor en el sector educación, a nivel inicial, primario y secundario, busca optimizar la productividad, buscando la eficiencia y eficacia, que al mismo tiempo son indicadores del mejoramiento continuo de sus procesos, que desencadenan en la calidad educacional (Surco, 2018).

Asimismo, se concibe, que una buena estrategia de gestión académica involucra la participación activa de los receptores de información o interesados, siendo estos los actores principales del proceso (Bandera et al., 2023).

Los eventos vividos en la última década, ha configurado un ambiente de gestión con miras al uso de las tecnologías de la información y el despliegue de estas para el afinamiento de las comunicaciones con los involucrados en el proceso de enseñanza, teniendo como pilar la educación virtual y demás herramientas que esto involucra (Bedoya et al., 2023)

En Sudamérica, siendo más precisos en Ecuador, las instituciones educativas no están ajenas al uso de las tecnológicas de información como apoyo a la gestión académica, presentándose como principal desafío, el dinamismo y fácil uso, que estos sistemas de información deben ofrecer, con el fin de avivar su uso y así mantener la información actualizada para toma de decisión oportuna (Gallegos et al, 2022).

Por otro parte, en Colombia, las instituciones académicas de educación básica plantean todo un sistema de calidad basado en la representación de los procesos bajo normas internacionales, soportados por un sistema de información con el fin de minimizar las limitaciones de comunicación con los actores involucrados; esto con el objetivo de generar valor en todos sus niveles educativos. (Fontalvo et al., 2021).

A lo anterior, es necesario considerar que las estrategias de las prácticas administrativas plantean un crecimiento en uso de la tecnología, siendo menester la actualización de las políticas educacionales hacia el uso de las herramientas del tipo tecnológicas, dentro de sus reglamentación y ordenamiento (Vargas et al., 2019).

En el Perú, el uso de los sistemas de información de apoyo a la gestión educacional, en la mayoría de las instituciones públicas y en algunas instituciones privadas, propone un reto, que se sostiene por la

cultura y la resistencia al cambio, más aún con el aprendizaje de nuevas herramientas que puedan simplificar sus acciones laborales cotidianas, en adición a los suscritos, el impacto del uso de las tecnologías de información, se suele visualizar como gasto, más no como beneficio tangible de las operaciones y como parte de una educación inclusiva entre los diferentes niveles administrativos (Vértiz-Osores et al., 2019)

La institución educativa de nivel inicial y primario “Lorenzo Morales”, ubicada en el distrito de Morales, departamento y provincia de San Martín, mediante una vista in situ, uno de las preocupaciones identificadas es el aumento de los reclamos de los padres de familia por la carencia de un seguimiento académico oportuno de los alumnos en acciones de notas, control de asistencias, notificación de acciones generales y rastreo de pagos; que según Huerta-Riveros et al (2020) un seguimiento oportuno de ciertos indicadores, permite tomar acciones para mejorar la navegación en el sentido de satisfacer a los clientes entendiendo las acciones de mejora continua contenidos en un sistemas de calidad; siendo lo suscrito tomado como requerimiento. Por otra parte, según los estudios realizados por Rivera e Higuera (2021) los sistemas de información, es el punto de partida dentro de ordenamiento de la información buscando la estandarización de los procesos con miras a su mejora y simplificación.

Dentro de las sensaciones del problema identificado, en primera instancia, se visualiza la insatisfacción de los padres de familia frente al seguimiento académico oportuno de los alumnos en acciones de notas, control de asistencias, notificación de acciones generales y rastreo de pagos, desencadenando en opiniones adversas para la institución educativa.

Otro de los efectos que provoca el problema identificado, es la pérdida de alumnado, esto, por no satisfacer las expectativas en el sentido de calidad administrativa de los tutores y/o padres de los alumnos, convirtiéndose en pérdida de ingreso en miras a los objetivos tanto de infraestructura o educacionales planteados como parte de los planes instituciones; pudiéndose suprimir este efecto con una comunicación efectiva por medio del uso de la tecnología.

El reflejo de las opiniones negativas, generadas por el problema identificado, recae como efecto en pérdida de una buena imagen institucional, siendo cada vez más difícil atraer a nuevos estudiantes.

En adición a los efectos mencionados, las respuestas reactivas a las peticiones de los padres de familia, acarrea el uso de materiales adicionales, agregando gastos en materiales fungibles, lográndose minimizar este efecto con la aplicación de los sistemas de información capaces de brindar reportes oportunos con la capacidad de envío de información a los interesados.

Por otro lado, los causantes del problema resaltan por la práctica de actividades no reguladas, es decir procesos ad-hoc, para dar cumplimientos a los requerimientos de la administración en petición de la plana docentes y padres de los estudiantes, observándose una mutación de actividades que conlleva al traslapo, por acciones repetitivas.

La mantenibilidad de las operaciones en medios volátiles y perecederos es también un causante de la insatisfacción de los padres de familia como clientes. Esto se debe porque los boletines informativos no mantienen una durabilidad suficiente en el tiempo y, al estar impresos y transportados por niños, no siempre mantiene su integridad para el fin emitido.

Se tiene entonces una deficiente gestión académica, que involucra las acciones de seguimientos oportuno de nota, control de asistencia, rastreo de pago y notificaciones de acciones generales, que según Silva-Treviño et al.(2021), parte de la calidad recae en los servicios asociados que una entidad pueda emitir a sus clientes, reforzando de esta manera la fidelidad, confianza y por ende una buena percepción; se tiene a los sistemas de información como instrumento de apoyo a la gestión educativa en miras al cumplimiento de los objetivos, siempre y cuando estos sistemas, abarquen de manera condensa la información que apoye a los actores al cumplimiento de sus metas (Acosta, et al., 2017).

Esta investigación, encuentra como limitante, la carencia de procedimientos definidos y concretizados, siendo indispensables para determinar los requerimientos necesarios para su automatización, podemos agregar también, como limitante, al tiempo de disposición, de los actores de los procesos, por su actividad laboral misma. Por ello, se pretende mejorar la calidad de la gestión académica de la institución educativa “Lorenzo Morales”, mediante el uso de un sistema web que automatiza los procesos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

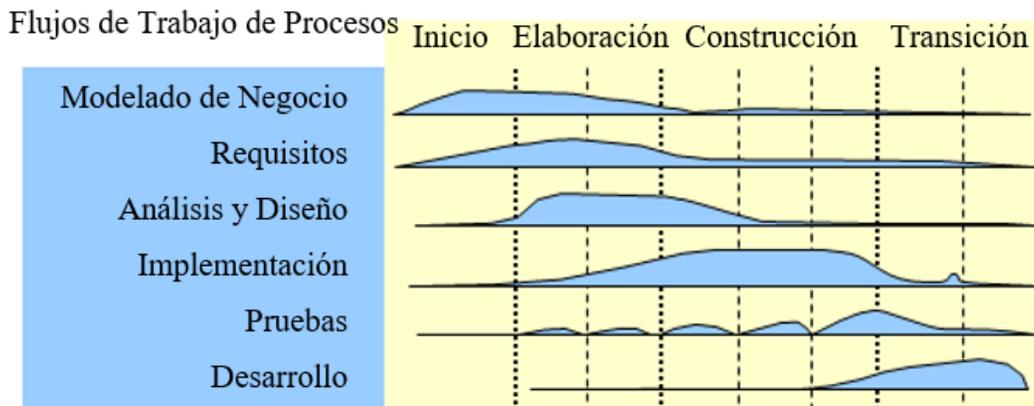
Para el desarrollo del sistema web, se fundamentó en el Proceso Unificado de desarrollo, o RUP por sus siglas en inglés, prevaleciendo un elevado empeño en las acciones de Análisis y Diseño, con el fin de por de automatizar las acciones de gestión académica de la Institución Educativa “Lorenzo Morales”.

Respetando las recomendaciones establecidas por el Proceso Unificado de Desarrollo, se recurre a las siguiente flujo de trabajo: Modelamiento del Negocio: En esta parte, se comprendió el proceso de actividades del negocio, identificando sus actividades claves, roles y reglas de negocio; seguido de esto, procedemos a la Identificación de los Requerimientos: Matrícula (Registro de alumno y apoderados), generación de contratos y pagos, control de asistencia del docentes y alumnado por código de barra, registro de notas por evaluación, notificación de eventos y estado de cuenta, y reporte de las acciones; posterior a la identificación de los requerimientos, continuando con el Análisis y Diseño: en este paso

los requerimientos identificación en adición a las reglas de negocio se suscriben en artefactos en el Lenguaje de Modelado Unificado o UML por sus siglas en inglés, siendo estos, el diagrama de casos de uso, Diagrama de secuencia, Diagrama de Clases, diagrama de actividades, entre otros; terminando con la implementación, Pruebas y Despliegue; del producto software.

**Figura 1**

*Acciones del desarrollo del software*

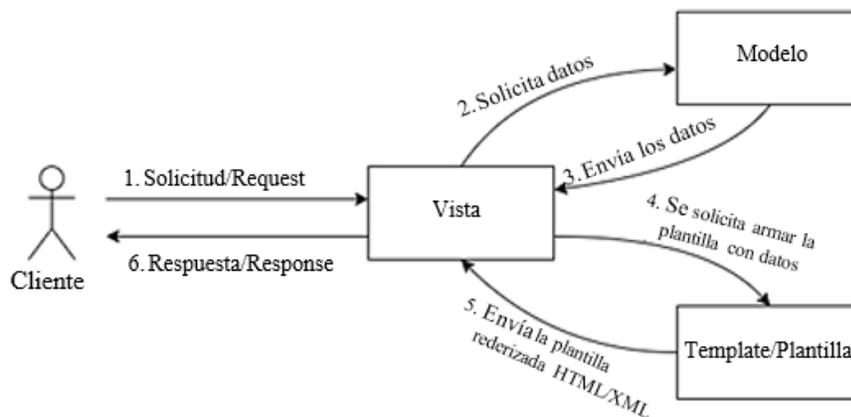


*Nota:* El gráfico representa los hitos y acciones ejecutadas durante el desarrollo del producto software.

Para la implementación del software en la parte del back-End, se hizo uso de Python con el framework Django, teniendo como arquitectura al Modelo Vista Template - MVT, esto, por ser de dominio conjunto por parte del equipo de desarrollo, siendo consumido en el Font-End con Bootstrap en su versión 5, comprendiendo las tecnologías CSS, HTML y JAVASCRIPT.

**Figura 2.**

*Arquitectura de desarrollo MVT – DJANGO*



*Nota:* Arquitectura MVT de Desarrollo de software bajo el marco DJANGO

Para la persistencia de la información, se recurrió a la base de datos Mysql en su versión 8 .0 community, con su gestor Workbench V6.2, el cual permite realizar acciones en el contexto de registrar, actualizar, editar y eliminar, datos del flujo de información del proyecto software.

En consecuencia, al ser un proyecto con un equipo de desarrollo, y dar cumplimientos a los requerimientos, esto se llevó a cabo, mediante el uso de Trello online, ya que facilita en seguimientos de los requerimientos por medio de la asignación de fechas, y vistas interactivas del seguimiento de la mismas, teniendo una perspectiva legible por medio de sus alertas.

## RESULTADOS

### Análisis descriptivo

En la tabla 1, se destacan las diferencias en las medias de la variable de estudio y sus dimensiones antes y después de la implementación de la solución propuesta. Es evidente que se registran valores significativos tanto en la media como en la desviación estándar. Antes de la implementación, la media era de 32.75 con una desviación estándar de 7.625, mientras que después de la intervención, la media aumentó a 58.09 con una desviación estándar de 3.023, según se muestra en la tabla. Este cambio refleja una mejora sustancial en los resultados, tanto en la variable principal como en sus dimensiones asociadas, indicando el impacto positivo de la solución implementada

**Tabla 1**

*Estadístico descriptivo*

	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>DS</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
calidad del seguimiento académico Pre-test	128	32.75	7.625	13	51
Enfoque al cliente Pre-test	128	12.54	3.155	5	20
Acciones relacionadas al cliente Pre-test	128	12.73	3.103	5	22
Comunicación con el cliente Pre-test	128	7.48	1.984	3	13
calidad del seguimiento académico Post-test	128	58.09	3.023	52	65
Enfoque al cliente Post-test	128	22.35	1.395	20	25
Acciones relacionadas al cliente Post-test	128	22.25	1.420	20	25
Comunicación con el cliente Post-test	128	13.49	1.042	12	15

*Nota:* N = total de la muestra, M = Media, DS = Desviación Estándar, Mín = Mínimo, Max = Máximo

### Prueba de Normalidad

Para validar nuestra hipótesis, realizamos una prueba para verificar si los datos de nuestra variable de estudio y sus dimensiones se distribuyen de manera normal antes y después de nuestra intervención. Utilizamos la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, que es ideal para poblaciones grandes como la nuestra. Este proceso nos permitió asegurarnos de que nuestros datos se verifiquen si tienen una distribución normal.

**Tabla 2**  
*Prueba de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnova		
	Estadístico	gl	Sig.
<i>Calidad del seguimiento académico Pre-test</i>	.128	128	.000
Enfoque al cliente Pre-test	.137	128	.000
Acciones relacionadas al cliente Pre-test	.185	128	.000
Comunicación con el cliente Pre-test	.154	128	.000
<i>Calidad del seguimiento académico Post-test</i>	.179	128	.000
Enfoque al cliente Post-test	.170	128	.000
Acciones relacionadas al cliente Post-test	.187	128	.000
Comunicación con el cliente Post-test	.244	128	.000

*Nota* :a. Corrección de significación de Lilliefors

La Tabla 2 presenta los hallazgos de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. En ella, se revela que la variable de estudio "calidad del seguimiento académico" y sus dimensiones no siguen una distribución normal, ya que el valor de p es menor o igual a 0.05. Este resultado nos indica que los datos no se distribuyen de manera uniforme, lo cual es esencial para ciertos análisis estadísticos. Por ende, optaremos por utilizar métodos estadísticos no paramétricos, que son más apropiados cuando los datos no siguen una distribución normal.

### Contraste de la hipótesis

Después de realizar la prueba de normalidad nos muestra que los datos no tienen una distribución normal, se procedió a aplicar el estadístico Wilcoxon para muestras relacionadas.

#### a) Formulación de la hipótesis

H0: El uso de un sistema de información NO influye significativamente en la calidad del seguimiento académico en el centro Educativo Lorenzo de Morales. (Pre-test > Post-test)

Ha: El uso de un sistema de información influye significativamente en la calidad del seguimiento académico en el centro Educativo Lorenzo de Morales. (Pre-test < Post-test)

#### b) Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

#### c) Análisis de los rangos

**Tabla 3**  
*Rangos*

		N	Rango promedio	Suma de rangos
calidad del seguimiento académico Post-test- calidad del seguimiento académico Pre-test	Rangos negativos	0a	0.00	0.00
	Rangos positivos	128b	64.50	8256.00
	Empates	0c		
	Total	128		
Enfoque al cliente Post-test	Rangos negativos	0d	0.00	0.00
	Rangos positivos	127e	64.00	8128.00
	Empates	1f		
	Total	128		
Acciones relacionadas al cliente Post-test	Rangos negativos	0g	0.00	0.00
	Rangos positivos	127h	64.00	8128.00
	Empates	1i		
	Total	128		
Comunicación con el cliente Post-test	Rangos negativos	0j	0.00	0.00
	Rangos positivos	127k	64.00	8128.00
	Empates			
	Total			

Empates	11
Total	128

*Nota:*

- a. calidad del seguimiento académico Post-test < calidad del seguimiento académico Pre-test
- b. calidad del seguimiento académico Post-test > calidad del seguimiento académico Pre-test
- c. calidad del seguimiento académico Post-test = calidad del seguimiento académico Pre-test
- d. Enfoque al cliente Post-test < Enfoque al cliente Pre-test
- e. Enfoque al cliente Post-test > Enfoque al cliente Pre-test
- f. Enfoque al cliente Post-test = Enfoque al cliente Pre-test
- g. Acciones relacionadas al cliente Post-test < Acciones relacionadas al cliente Pre-test
- h. Acciones relacionadas al cliente Post-test > Acciones relacionadas al cliente Pre-test
- i. Acciones relacionadas al cliente Post-test = Acciones relacionadas al cliente Pre-test
- j. Comunicación con el cliente Post-test < Comunicación con el cliente Pre-test
- k. Comunicación con el cliente Post-test > Comunicación con el cliente Pre-test
- l. Comunicación con el cliente Post-test = Comunicación con el cliente Pre-test

La Tabla 3 presenta los rangos de la variable de estudio y sus dimensiones. A nivel general, se observa que no hay rangos negativos, lo que indica que la satisfacción con la calidad del seguimiento académico es mayor en el post-test en comparación con el pre-test (Rangos positivos = 128). Además, no se registraron empates entre los participantes. Sin embargo, al analizar las dimensiones por separado, se encontraron rangos positivos en todas, lo que sugiere una mejora en la satisfacción en cada aspecto tras la implementación de la solución. Aunque no hubo rangos negativos, se identificó un empate en todas las dimensiones, lo que implica que un encuestado percibió el mismo nivel de satisfacción antes y después de la intervención.

**Tabla 4**

*Estadístico de prueba Wilcoxon.*

	Calidad del seguimiento académico Post-test-calidad del seguimiento académico Pre-test	Enfoque al cliente Post-test-Enfoque al cliente Pre-test	Acciones relacionadas al cliente Post-test-Acciones relacionadas al cliente Pre-test	Comunicación con el cliente Post-test-Comunicación con el cliente Pre-test
Z	-9,820b	-9,792b	-9,794b	-9,803b
Sig. asintótica (bilateral)	.000	.000	.000	.000

*Nota:* a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon, b. Se basa en rangos negativos.

#### d) Toma de decisión

Con un valor de  $p < 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. En este contexto, al observar un valor  $p = 0$  tanto en la variable general como en las dimensiones específicas, se concluye que el uso del sistema de información tiene un impacto significativo en la calidad del seguimiento académico en el Centro Educativo Lorenzo de Morales.

## **DISCUSIÓN**

La gestión académica posee muchas aristas o perspectivas prácticas, que apuntan a afianzar la calidad de la misma, partiendo desde un liderazgo efectivo, motivación implícita, entre otros. Según Lule-Uriarte et al. (2023), en este aspecto se contempla un cambio de arquetipo enfocado a acciones participativas, soportadas por un sistema de información con el alcance activo de los actores directos (trabajadores administrativos) e indirectos (alumnado y apoderados).

Además, Tenorio y Pérez (2023) orienta que la necesidad de reconocer un enfoque estratégico innovador, que aporte a una gestión académica eficiente, según los cambios y transformaciones científico-tecnológicas y socioeconómicas que obligan a modificar la educación; en este contexto, esta investigación, brinda un nuevo punto de vista, aplicada a los medios tecnológicos que el cambio social que amerita.

Por otro lado, Flores-Flores (2021), argumenta que la educación y el ámbito tecnológico, deben mantener un liderazgo con características que correspondan a los contextos cambiantes y demandantes de instituciones educativas enfocadas en el mejoramiento de los servicios educativos, mejora continua y calidad, práctica que los sistemas de información, aterrizan y materializan en la práctica; acciones que se empalma esta investigación.

## **CONCLUSIONES**

Al concentrar las actividades mediante un sistema de información que respalden los procesos de gestión académico de la institución educativa, se prevé anticipar y gestionar eficientemente las necesidades visibles del centro de estudios. Esto no solo facilitó la comunicación con los clientes (tutores o padres de familia), sino que también mejoró las prácticas de los administrados.

Con esta investigación se pudo demostrar que los sistemas de información, son de sumo apoyo a las acciones operativas, visto que se encontró una diferencia significaba entre el pre y el post test, permitiendo reconocer que, la aplicación de la tecnología según los requerimientos planteados perfeccionó la gestión académica. En adición es necesario reconocer, que una correcta visión de la gestión del cambio, es menester para una transición que implique el cambio de operaciones efectuados por los administrativos, sin olvidarse de la suscripción de las modificaciones necesarias en los instrumentos de gestión, para su continuidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, L. A., Becerra, F. A., & Jaramillo, D. (2017). Sistema de Información Estratégica para la Gestión Universitaria en la Universidad de Otavalo (Ecuador). *Formación Universitaria*, 10(2), 103-112. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062017000200011>
- Bandera S., L., Vergara V., I., González G., T. R. & Senú G., I. (2023). Estrategia de gestión académica para la integración de los procesos sustantivos en la formación del estudiante de Medicina. *MEDISAN*, 27(2), e4437. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1029-30192023000200013&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192023000200013&lng=es&tlng=es).
- Bedoya D., C., Murillo-Vargas, G. & González-Campo, C. H. (2022). Gestión y organización universitaria para enfrentar la pandemia de COVID-19. Aportes desde la universidad pública en Colombia. *Apuntes*, 49(92), 61-84. <https://dx.doi.org/10.21678/apuntes.92.1680>
- Flores-Flores, H., (2021). La gestión educativa, disciplina con características propias. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores, 9(1), 00008. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v9i1.2832>
- Fontalvo, T. J., Delahoz-Dominguez, E. J., & Morelos, J. (2021). Diseño de un sistema integrado de gestión de la calidad para programas académicos de educación superior en Colombia. *Formación universitaria*, 14(1), 45-52. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062021000100045>
- Gallegos Macías, M. R., López, J. G., & Almuñías R., J. L. (2022). Los sistemas de información como sustento a la gestión de la calidad en las Instituciones de Educación Superior. *Revista San Gregorio*, 1(49), 137-149. <https://doi.org/10.36097/rsan.v0i49.1866>
- Huerta-Riveros, P. C., Gaete-Feres, H. G., & Pedraja-Rejas, L. M., (2020). Dirección estratégica, sistema de información y calidad. El caso de una universidad estatal chilena. *Información tecnológica*, 31(2), 253-266. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000200253>
- Lovato T., S. G., Ordoñez-Guartzaca, M., Coronel P., V. C. & Bermúdez G., C. W. (2020). Relación de la gestión del conocimiento con la gestión académica de las universidades. *Revista Investigación y Negocios*, 13(22), 118-126. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S252127372020000200012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S252127372020000200012&lng=es&tlng=es).
- Lule-Urriarte, M. N., Serrano-Mesía, M. M., & Montenegro-Cruz, N. Y., (2023). La gestión educativa: factor clave en la calidad educacional. *Revista Científica UISRAEL*, 10(3), 57-71. <https://doi.org/10.35290/rcui.v10n3.2023.893>
- Rivera G., E., & Higuera Z., A. (2021). Systematization Information to Ensure Educational Quality. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.2939>
- Silva-Treviño, J. G., Macías-Hernández, B. A., Tello-Leal, E. & Delgado-Rivas, J. G. (2021). La relación entre la calidad en el servicio, satisfacción del cliente y lealtad del cliente: un estudio de caso de una empresa comercial en México. *CienciaUAT*, 15(2), 85-101. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i2.1369>
- Surco S., D. V. (2018). Gestión Académica y Desempeño Docente, según los estudiantes de una universidad privada en Lima, Perú. *Industrial Data*, 21(1), 83-90.
- Tenorio P., Z. C., & Pérez V., V. M., (2023). Una aproximación a la gestión de las instituciones educativas peruanas. *Mendive. Revista de Educación*, 21(4), [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-76962023000400009&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-76962023000400009&lng=es&tlng=es).

- Vargas Encalada, E. E., Rengifo Lozano, R. A., Guizado Oscoco, F., & Sánchez Aguirre, F. D. (2019). Sistemas de información como herramienta para reorganizar procesos de manufactura. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(85).
- Vértiz-Osores, R. I., Pérez-Saavedra, S., Faustino-Sánchez, M. A., Vértiz-Osores, J. J., & Alain, L. (2019). Information and Communication Technology in Primary School Students within the Framework of Inclusive Education at a Special Basic Education Center. *Propósitos y Representaciones*, 7(1), 83-94. <https://dx.doi.org/10.20511/pyr2019.v7n1.266>

## ARTÍCULO ORIGINAL

### **Análisis del valor de pasteurización del puré de camote mediante simulación numérica y pruebas experimentales**

#### **Analysis of the pasteurization value of sweet potato puree by numerical simulation and experimental tests.**

Kevin Agurto<sup>1</sup> , William Miranda<sup>2</sup>  y Luis Vilcherrez<sup>1</sup> 

#### **RESUMEN**

En esta investigación se realizó una simulación numérica del tratamiento térmico y pasteurización de puré de camote, enfocándose en la distribución de calor en diferentes ubicaciones del baño maría (centro, izquierda y derecha). Se identificó que la posición central presentó la mayor velocidad de calentamiento ( $f_h = 47,0521$  min). El puré se elaboró a partir de la pulpa del camote y se determinó que el punto más lento en calentarse fue el centro geométrico del recipiente cilíndrico de vidrio. Al comparar los resultados experimentales con la simulación por elementos finitos, se observaron pequeñas discrepancias en los valores del factor de retraso ( $j_h$ ) con una variación de  $\Delta = 0,0235$  y del  $f_h$  con  $\Delta = 0,7$  min. Sin embargo, el coeficiente de determinación  $R^2$  cercano a 1 y un error cuadrático medio de  $1,063$  °C indicaron una buena precisión en las predicciones. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la posición central, pero no en los laterales. Finalmente, al comparar dos formulaciones T1 (puré puro) y T2 (puré con 0,075% de CMC y 0,075% de almidón de maíz) se identificaron diferencias sensoriales en color, consistencia, aroma y sabor, aunque algunos atributos resultaron similares.

**Palabras clave:** pasteurización; tratamiento térmico; simulación térmica; distribución de calor; transferencia térmica

#### **ABSTRACT**

In this research, a numerical simulation of the heat treatment and pasteurization of sweet potato puree was carried out, focusing on the heat distribution in different locations of the water bath (center, left and right). It was identified that the central position presented the highest heating rate ( $f_h = 47.0521$  min). The puree was made from sweet potato pulp and it was determined that the slowest point to heat up was the geometric center of the cylindrical glass vessel. When comparing the experimental results with the finite element simulation, small discrepancies were observed in the values of the delay factor ( $j_h$ ) with a variation of  $\Delta = 0.0235$  and of the  $f_h$  with  $\Delta = 0.7$  min. However, the coefficient of determination  $R^2$  close to 1 and a mean square error of  $1.063$  °C indicated a good accuracy in the predictions. Significant differences ( $p < 0.05$ ) were found at the central position, but not at the lateral ones. Finally, when comparing two formulations T1 (pure puree) and T2 (puree with 0.075% CMC and 0.075% corn starch), sensory differences in color, consistency, aroma and flavor were identified, although some attributes were similar.

**Keywords:** Pasteurization; Heat treatment; Thermal simulation; Heat distribution; Thermal transfer

\*Autor de correspondencia

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Frontera, Perú. Email: [kevinagurtope17a@gmail.com](mailto:kevinagurtope17a@gmail.com), [vlcherrezarbuloluis@gmail.com](mailto:vlcherrezarbuloluis@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Piura, Perú. Email: [wimiza23@hotmail.com](mailto:wimiza23@hotmail.com)

## INTRODUCCIÓN

El almidón es un recurso ampliamente disponible, renovable, económico y biodegradable que se encuentra en granos, semillas, frutas, tubérculos y raíces de cereales en forma de gránulos insolubles en agua fría (de Oliveira et al., 2018). Entre los productos ricos en almidón se encuentra la batata (*Ipomoea batatas*), un tubérculo ampliamente cultivado que destaca por su valor nutricional, siendo fuente de vitaminas B, C y E, además de contener minerales como hierro y zinc. Por otro lado, los métodos térmicos como la pasteurización tradicional o la esterilización por calor de conservas de frutas y verduras, permiten obtener productos seguros y duraderos, pero provocan cambios significativos en sus propiedades organolépticas (color, sabor, aroma, textura) y en su composición química (Marszałek et al., 2017).

En el procesamiento de alimentos, los métodos térmicos como la pasteurización o la esterilización permiten prolongar la vida útil y garantizar la inocuidad microbiológica. Sin embargo, estos tratamientos pueden generar efectos adversos sobre la calidad sensorial y nutricional de los alimentos, alterando parámetros como el color, sabor, textura y la concentración de compuestos bioactivos. En el caso de la batata, diversos estudios han demostrado que la aplicación de calor puede modificar significativamente la composición de nutrientes, como el contenido de proteínas, almidones y azúcares simples, dependiendo del tipo de cocción empleado (Vidal et al., 2018). Estas transformaciones pueden afectar tanto el valor nutricional como la aceptación del producto final por parte del consumidor.

El tratamiento térmico es un proceso en el que la materia prima se someten a ciclos de alta temperatura que afectan el reordenamiento de la estructura molecular, lo que puede conducir a la transformación de la estructura secundaria de la proteína o la ruptura de los enlaces secundarios utilizados para mantener la estructura espacial de la proteína. (Li et al., 2020).

En este contexto, el modelado computacional mediante dinámica de fluidos (CFD) se presenta como una herramienta eficiente para simular el comportamiento térmico del alimento durante el procesamiento, permitiendo predecir y optimizar condiciones de operación sin necesidad de recurrir exclusivamente a ensayos experimentales costosos. Mediante el uso de CFD, es posible obtener información detallada sobre la mecánica y la química de los fluidos, lo cual resulta valioso para el diseño, la optimización y la modificación de los aspectos del sistema de reacción (Hemamanjushree & Tippavajhala, 2020).

Existen métodos de conservación térmica que permiten obtener conservas seguras y con una vida útil prolongada; sin embargo, estas técnicas generan modificaciones significativas en las características organolépticas y químicas de los alimentos. En el presente estudio, se considera el puré de camote como objeto de análisis mediante el modelamiento del tratamiento térmico. Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo simular numéricamente el tratamiento térmico del puré de batata, a fin de analizar su

comportamiento frente al calor y evaluar posibles alteraciones en sus propiedades, contribuyendo así a un procesamiento más controlado y eficiente.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

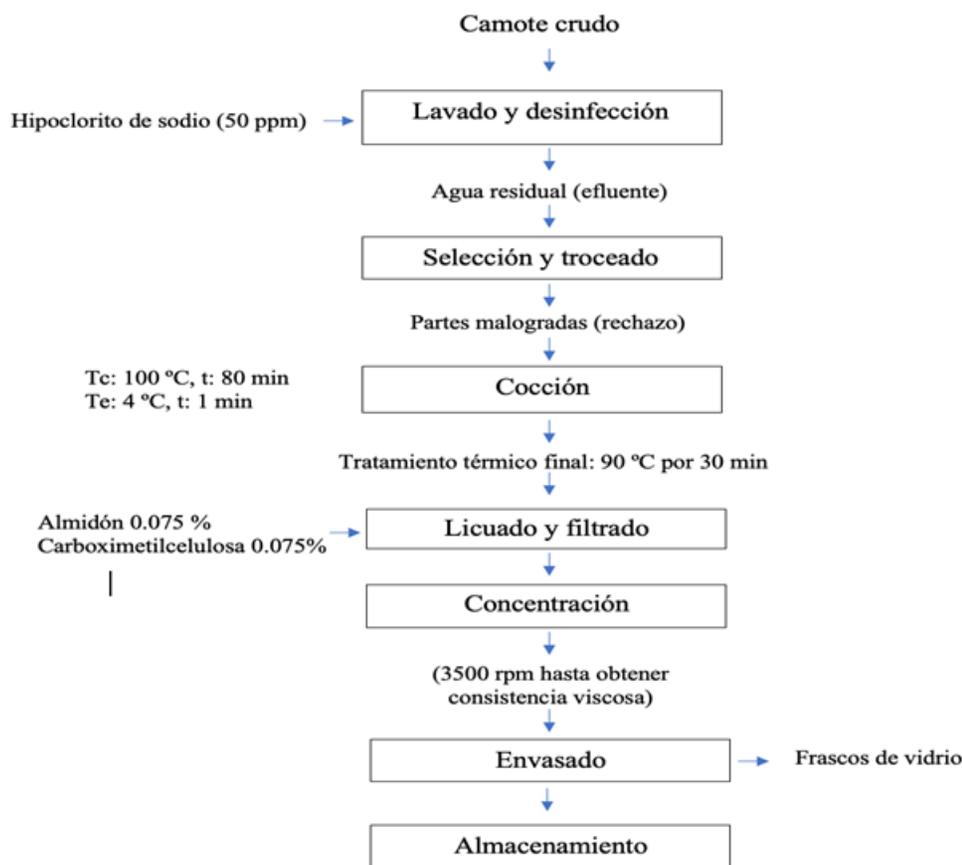
La variedad de camote amarillo utilizada en este estudio fue adquirida en el supermercado Makro de la provincia de Sullana, ubicada en el departamento de Piura. Se verificó cuidadosamente que estuviera en buen estado, sin daños mecánicos ni señales de contaminación o deterioro. Además, se obtuvieron el almidón de maíz y la carboximetilcelulosa en el mismo mercado de la provincia de Sullana, departamento de Piura.

En cuanto a los materiales empleados en la investigación, se adquirieron envases de vidrio de 250 mL en el Supermercado Makro de Sullana. Se utilizaron sensores de termopar tipo PCsensor Interfax USB con cable, fabricados por la marca LIMITED en China, capaces de medir temperaturas en un rango de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$ .

Dado que se utilizó una MacBook con sistema operativo MacOs, fue necesario emplear el programa Parallel's Desktop con Windows 11. Es esencial realizar la medición de la constante de tiempo ( $\tau$ ) antes de utilizar el sensor, ya que este parámetro desempeña un papel crucial en el rendimiento dinámico, estando estrechamente relacionado con la transferencia de calor, según lo mencionado por Li et al. (2018).

Además, se utilizó el registrador TEMper V27.5 para registrar la temperatura la cual se empleada para medir el tiempo de retención ( $\tau$ ). Los resultados correspondientes se muestran en la Tabla 1, revelando que los valores obtenidos son muy similares para todos los sensores.

## Preparación del puré de camote



## Prueba de distribución de calor

Para llevar a cabo la pasteurización, se siguió el método de baño maría conforme a las directrices del Instituto de Especialistas en Tratamiento Térmico (IFTPS). Se conectó un termómetro USB PC Sensor a una laptop MacBook, colocándolo en tres áreas específicas dentro del baño maría. El proceso se ejecutó a una temperatura de 95 °C, deteniéndose al alcanzar la temperatura deseada. Los termopares se fijaron en tapas de metal y se sellaron las perforaciones con silicona acética para resistir las altas temperaturas. La temperatura se registró mediante el software TEMperCOM\_V.27.5 con intervalos de 60 segundos. La Zona de Linealidad de Calentamiento (ZLC) se determinó mediante el índice de velocidad de incremento de temperatura (fh), calculado a partir de la curva de calentamiento. Posteriormente, se llevará a cabo la prueba de entrada de calor colocando 6 envases y un sensor en el centro de cada uno, registrando los datos con el software TEMper V27.5. (Tucker y Featherstone, 2021).

Ecuación (1):

$$f_h = -\left(\frac{1}{m}\right)$$

Donde:

- $f_h$ : Es el factor de velocidad de calentamiento, expresado en minutos. Un valor de  $f_h$  más alto indica una transferencia de calor más lenta hacia el centro térmico del producto.
- $m$ : Es la pendiente de la porción lineal de la curva de calentamiento, obtenida al graficar  $\log_{10}(T_r - T)$  versus tiempo ( $t$ ). La pendiente es negativa, por lo que se toma su valor absoluto.

### Estudio experimental de la temperatura

En cada frasco de vidrio de 250 ml y 200 gramos, se dejó un espacio de 1 cm en la parte superior durante el procesamiento térmico para evitar rupturas del recipiente. Se introdujo un sensor de temperatura en la tapa sellada con silicona acética para monitorear la temperatura durante el proceso. Además, se colocó otro sensor cerca del recipiente para medir la temperatura de la retorta. Los datos se registraron a intervalos de 60 segundos durante el calentamiento y enfriamiento. El tiempo de inactivación térmica "F" se calculó según la ecuación 2, considerando la temperatura en un instante específico, la temperatura de referencia y el valor  $z$  (Farazbakht et al., 2017).

Ecuación (2):

$$P_0 = \int_0^t 10^{\frac{T-Tr}{z}}$$

Donde:

- $P_0$ : valor de letalidad acumulado (min)
- $T$ : temperatura del producto en el tiempo  $t$  (°C)
- $T_r$ : temperatura de referencia (°C), típicamente 93,3 °C para mohos termorresistentes como *Byssochlamys fulva*
- $z$ : valor  $z$ , incremento de temperatura necesario para reducir el tiempo de inactivación en un factor de 10 (°C)
- $t$ : tiempo total del tratamiento térmico (min)

Se determinó el factor de retraso de calentamiento ( $j_h$ ) mediante la ecuación 3, que representa el tiempo adicional necesario para que la temperatura del envase se ajuste a las variaciones ambientales (Nedamani et al., 2018).

Ecuación (3):

$$j_h = \frac{T_r - T_m}{T_r - T_i}$$

Donde:

- $j_h$ : Es el factor de retardo o factor de inercia, un valor adimensional. Un valor de  $j_h$  mayor a 1 indica que hay un "retraso" inicial en el calentamiento del centro térmico, mientras que un valor cercano a 1 sugiere un calentamiento más rápido desde el inicio.
- $T_r$ : Es la temperatura de la retorta (medio de calentamiento), expresada en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_m$ : Es la temperatura del "cero corregido" del producto, o la temperatura que tendría el centro térmico en el tiempo cero si el calentamiento hubiera seguido una cinética lineal desde el principio (extrapolación de la línea recta de calentamiento al tiempo cero en el eje de temperatura). Expresada en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_i$ : Es la temperatura inicial del producto en el envase, expresada en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )

Se procedió con la simulación del tratamiento térmico del puré mediante la evaluación de la transferencia de calor por conducción, utilizando el método de elementos finitos para resolver la ecuación de energía. Esta metodología permitió obtener datos precisos y confiables sobre el comportamiento térmico del sistema. Para llevar a cabo esta tarea, se diseñó un modelo cilíndrico en 2D que fue transformado a 3D, con un volumen aproximado de 250 mL. El cilindro tenía 5,36 cm de diámetro y 6,72 cm de altura. El mallado automático generó 1755 elementos y 8149 nodos.

Para ello se empleó el software Ansys 2023. La instalación de la versión R1 del software Ansys Inc., una herramienta de origen estadounidense, se realizó en una computadora portátil MacBook equipada con Parallels Desktop y Windows 11. Las especificaciones de la MacBook incluyen un procesador Intel Core i3 de dos núcleos a 1.1 GHz, 8 GB de memoria RAM LPDDR4X a 3733 MHz, y el sistema operativo macOS 13.2.1 (22D68).

### **Las condiciones para el análisis de transferencia de calor**

- a) Según la investigación de Shafiekhani et al. (2016), el puré se caracteriza por tener una textura uniforme y un comportamiento homogéneo en todas las direcciones, siendo preparado con una combinación de 1% de CMC y almidón de maíz.
- b) Tanto el alimento como la retorta inician con una temperatura inicial uniforme, registrando  $17,31^{\circ}\text{C}$  y  $18,75^{\circ}\text{C}$  respectivamente en todo su volumen.
- c) El envase utilizado posee una forma cilíndrica perfectamente definida.
- d) El material del envase, vidrio, presenta una resistencia térmica insignificante, asegurando que la temperatura de las paredes del envase sea igual a la de la retorta.
- e) Las propiedades termo físicas del alimento (densidad  $\rho = 1088,2 \text{ kg/m}^3$ , capacidad calorífica  $C_p = 3457,9 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$ , conductividad térmica  $k = 0,6 \text{ W/m }^{\circ}\text{C}$ ) se consideran constantes según los modelos de Choi y Okos (da Silva et al., 2020).
- f) La transferencia de calor en el producto se produce exclusivamente por conducción.

g) El coeficiente de convección del vapor de agua en la retorta se mantiene constante en 2500 W/m<sup>2</sup> K según Kosky et al. (2013), afectando todas las superficies de la retorta.

h) No se considera el espacio de cabeza ni la interacción aire-vapor de agua en la retorta, ya que no tienen un impacto significativo en los resultados de la simulación según Farazbakht et al. (2017).

### **Solución numérica**

Luego de establecer las condiciones relevantes, se ingresó la información del perfil tiempo-temperatura de la retorta para iniciar la construcción del modelo matemático. Este proceso duró 8340 segundos (139 minutos), con registros en cada posición del baño maría por separado. Se generó un gráfico del perfil temporal en relación con la temperatura del alimento, mostrando los valores mínimo, máximo y promedio. Además, se configuró una visualización de 100 fotogramas durante 10 segundos para observar el comportamiento del alimento y definir el Punto de Localización Central (PLC). Posteriormente, se compararon los resultados experimentales con los datos simulados del perfil tiempo-temperatura, el PLC, el valor P, el tiempo de proceso, fh y jh.

### **Evaluación sensorial de puré**

Para evaluar la aceptación sensorial del puré de camote sometido a tratamiento térmico con la adición de CMC y almidón de maíz, se llevó a cabo una evaluación sensorial por parte de 120 panelistas tipo consumidor. Esta evaluación se realizó después de completar los procedimientos de baño maría y enfriamiento del puré. Los parámetros sensoriales evaluados incluyeron el sabor, la textura, la apariencia, el aroma y la aceptabilidad general del puré. Se utilizó una prueba hedónica de preferencia "me gusta" o "no me gusta" para cada uno de estos parámetros. Cada panelista recibió aproximadamente 20 g de muestra etiquetada con códigos numéricos aleatorios para evitar sesgos en la evaluación. Además, se creó un entorno sin distracciones para garantizar una evaluación precisa. Para evitar la influencia de sabores residuales, se proporcionaron galletas saladas y agua para limpiar el paladar entre la degustación de cada muestra (Khurshida & Deka, 2022).

### **Análisis de datos**

Se evaluará la precisión del modelo desarrollado con Ansys mediante el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> y una validación experimental de los resultados simulados, utilizando la raíz cuadrada media del error (RMSE) propuesta por Rodríguez-Ramos et al. (2021).

Ecuación (4):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - E_i)^2}$$

Donde:

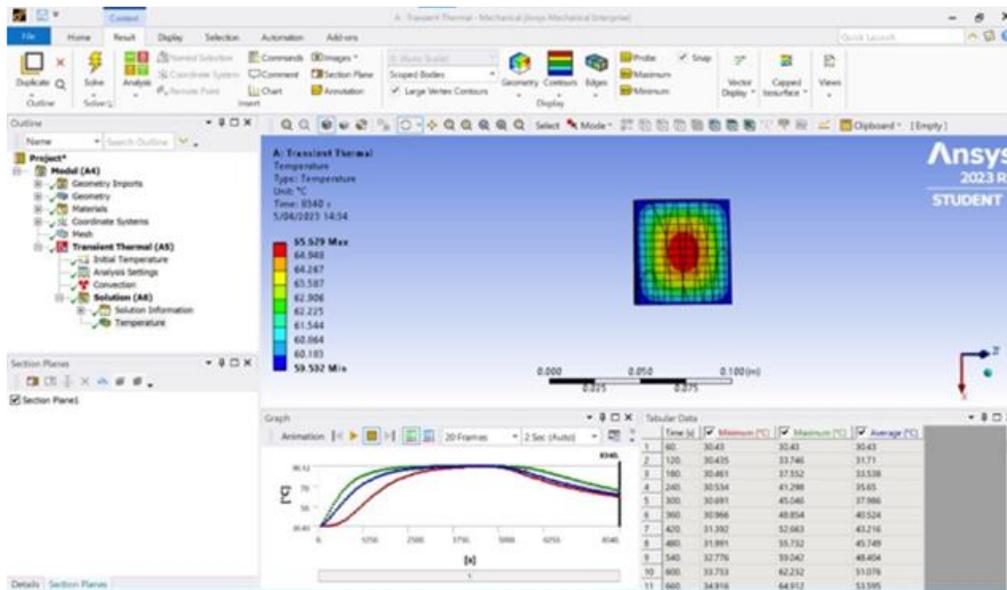
- RMSE: Es la Raíz Cuadrada Media del Error. Representa la desviación estándar de los residuos (errores de predicción).
- n: Es el número total de observaciones.
- $P_i$ : Es el valor predicho o simulado por el modelo (en este contexto, el modelo desarrollado con Ansys) para la  $i$ -ésima observación.
- $E_i$ : Es el valor experimental para la  $i$ -ésima observación.
- $\sum_{i=1}^n$ : Denota la sumatoria desde la primera observación ( $i=1$ ) hasta la última observación ( $i=n$ ).
- $(P_i - E_i)^2$ : Es la diferencia al cuadrado entre el valor predicho y el valor experimental para la  $i$ -ésima observación.
- $n \sum_{i=1}^n (P_i - E_i)^2$ : Representa el promedio de los errores al cuadrado, también conocido como el Error Cuadrático Medio (MSE).
- $\sqrt{\quad}$ : Indica la raíz cuadrada, que devuelve la métrica a las unidades originales de los datos.

Se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes, con un nivel de significancia del 5 %, utilizando Microsoft Excel Office 2019, para comparar los conjuntos de datos entre los tratamientos evaluados. Dado que se trabajó con dos tratamientos, se consideró dicha prueba solo si los datos cumplían con los supuestos de normalidad (datos paramétricos); en caso contrario, se empleó la prueba no paramétrica de Mann–Whitney. El análisis estadístico se realizó con IBM SPSS Statistics 22 y Microsoft Excel 2019.

## RESULTADOS

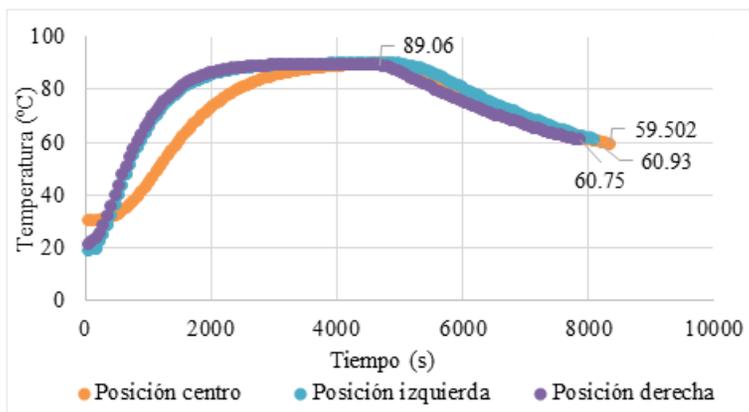
**Figura 1**

*Representación simulada del perfil de tiempo y temperatura de puré*



**Figura 2**

*Distribución de calor a los 8340 s en las tres posiciones del baño maría.*



*Nota.* Los resultados de la prueba de distribución de calor, mostrados en la Figura 1, indican que, desde el inicio del proceso, todas las posiciones del baño maría experimentaron un aumento gradual de la temperatura hasta llegar a los 95°C. Específicamente, se detectó que el calentamiento en la posición central fue más lento.

**Tabla 1**

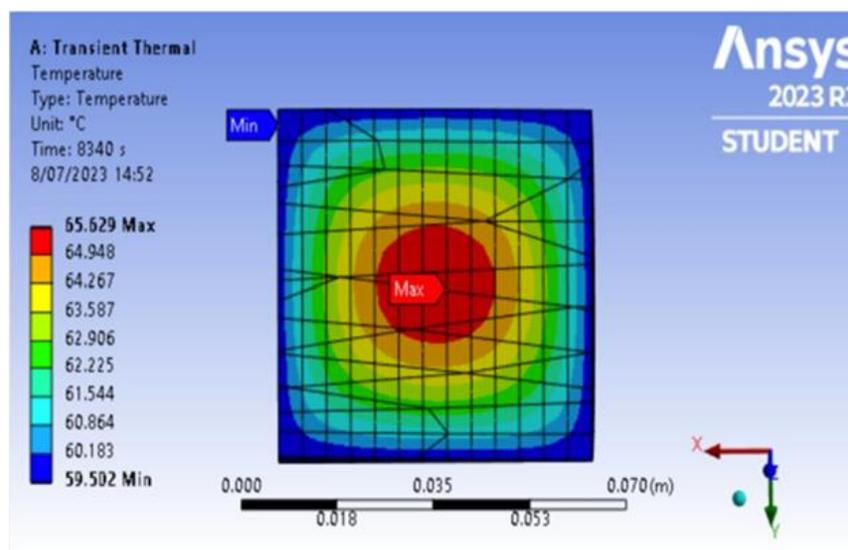
*El valor de  $f_h$  en las posiciones derecha, central e izquierda del baño maría.*

Posición	$f_h$ (min)
Izquierda	32,7150
Centro	47,0521
Derecha	31,7218

*Nota.* El valor  $f_h$  más alto, de 47,0521 minutos, se observó en la posición central, por lo que se denominó como la PLC.

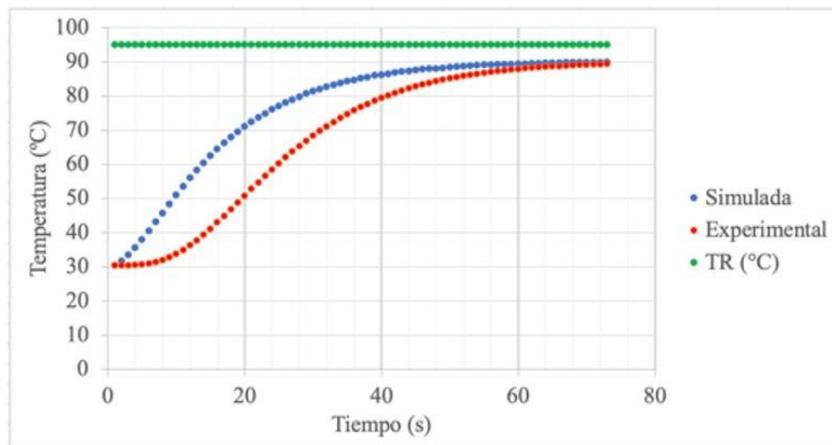
**Figura 3**

*PLC en el modelo desarrollado en sus puntos máximo y mínimo.*



**Figura 3**

Variación de temperatura dentro de la retorta y comparación entre los valores esperados y los medidos en el punto central del recipiente en las tres posiciones del baño maría.



Nota. La Figura 2 muestra el perfil de tiempo y temperatura en la posición central de la retorta, además de cómo se comporta el puré, analizado mediante mediciones experimentales y simulaciones.

**Tabla 2**

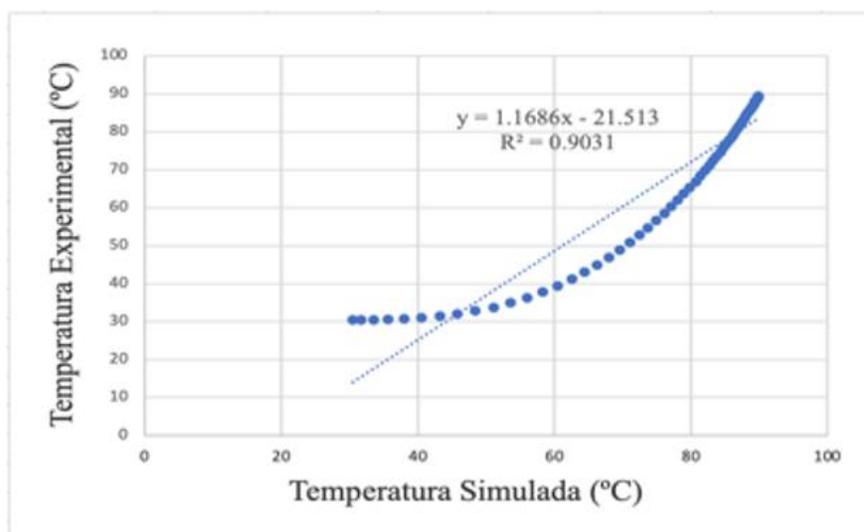
Verificación del estudio experimental y de la simulación numérica.

	Datos	$P_{93,3}^{8,9}$ (min)	Tiempo de proceso (min)	$f_h$ (min)	$j_h$	$R^2$	RECMP (°C)
<b>Posición media</b>	Experimentales	5	66,45	47,05	1,0424	0,9977	1,063
	Simulados	5	67,81	47,75	1,0659	0,9831	
	Diferencia ( $\Delta$ )	0	1,36	0,7	0,0235		
<b>Posición izquierda</b>	Experimentales	5	57,27	32,71	1,0486	0,9942	0
	Simulados	5	57,27	32,71	1,0486	0,9942	
	Diferencia ( $\Delta$ )	0	0	0	0		
<b>Posición derecha</b>	Experimentales	5	48,49	31,72	1,0500	0,9952	0
	Simulados	5	48,49	31,72	1,0500	0,9952	
	Diferencia ( $\Delta$ )	0	0	0	0		

Nota. Se evaluaron la efectividad letal y otros factores relacionados con la distribución de calor en el Punto de Localización Central (PLC), utilizando tanto los resultados obtenidos en experimentos como los generados mediante simulación.

## Figura 4

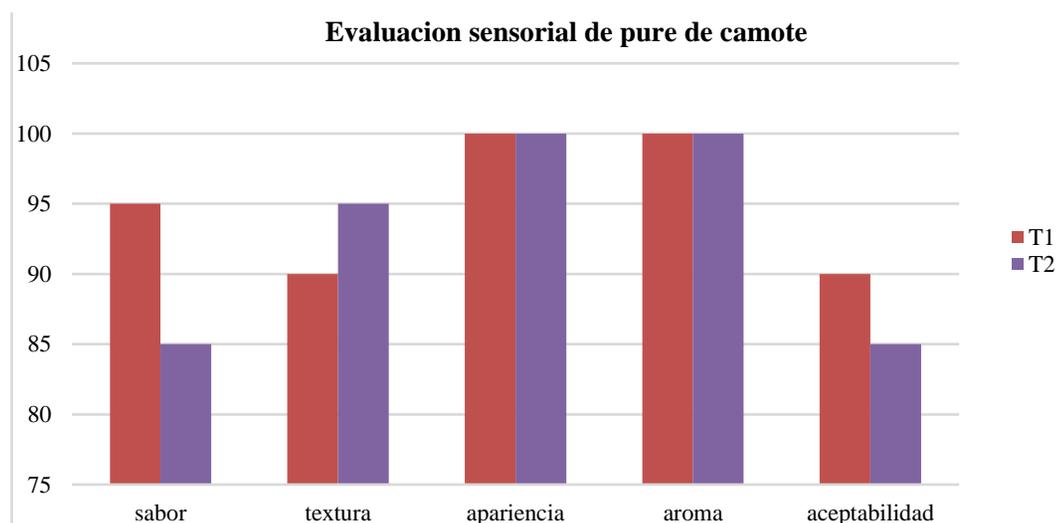
Registro experimental de la temperatura en el punto central del recipiente y temperatura estimada a través de simulación durante la fase de tratamiento térmico.



*Nota.* Los resultados de la prueba t de Student con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  indican una alta similitud entre los valores simulados y los datos experimentales durante la etapa de calentamiento (valor  $p = 0.001$ ). Hay diferencias significativas en las medias de los datos en la posición central, pero no en las posiciones izquierda y derecha (valor  $p = 0$ ), donde no se observan diferencias significativas.

## Figura 5

Evaluación de atributos sensoriales



*Nota.* Los resultados se pueden evidenciar que hay diferencias significativas entre los tratamientos de la puntuación de cada atributo evaluado. T1: muestra pura pasteurizada, T2: muestra de puré con 0,075 % de almidón de maíz y carboximetilcelulosa.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos destacan aspectos esenciales que afectan la efectividad del tratamiento térmico y la calidad del producto final. La zona de calentamiento más lento se refiere a la región donde el calentamiento es más gradual, y esta característica puede tener implicaciones significativas en relación con la calidad y seguridad del producto (Shafiekhani et al., 2016).

En el baño María a 95 °C, la temperatura en la posición derecha tiende a ser ligeramente superior a la izquierda, mientras que la temperatura en la posición media está entre ambas. Sin embargo, es importante señalar que la posición central en la Figura 1 muestra un calentamiento más lento. Además, se observa que el valor de fh (47,0521 minutos) es más alto en la posición media que en la posición derecha (8,3407 minutos) y en la posición izquierda (5,6985 minutos).

La falta de uniformidad en la distribución del calor en sistemas comparables ya se ha señalado en la literatura, Bornhorst et Alabama (2017b) realizaron un estudio y comparación de sistemas que se encontraban similares con el método de agua caliente convencional, enfatizándose el punto frío que estaba en el centro geométrico y el punto caliente que estaba en la esquina de la bandeja. El resultado destacó que la velocidad de calentamiento varió significativamente en diferentes ubicaciones dentro de un baño maría, lo que reitera la relevancia de tomar en cuenta la ubicación de los sensores de temperatura y la agitación apropiada para garantizar una pasteurización efectiva.

Pisco y Francisco (2020) pudieron demostrar un centro de temperatura experimental con un buen ajuste y nivel un experimento error entre 1.37% y 7.83%, así como una temperatura media de 70 °C con un producto que fue excelente centro de temperatura con un buen ajuste y nivel de error entre 1.37 % y 7.83%, así como una temperatura media de 70 °C con un producto excelente .

Ayala y Ángel (2017) compararon hojalata y frascos de vidrio con tomate puro, cuyos valores son ideales para el proceso de pasteurización en frascos de vidrio a 92.2 °C. La naturaleza del vidrio no tiene ningún efecto sobre el principio dinámico y la concentración de sólidos totales no tiene un efecto despreciable sobre el proceso termoquímico. De forma similar, Silva et al. (2018) encontraron que, en la pasteurización de pulpa de papaya, el PLC estaba significativamente ubicado por encima del centro geométrico de un recipiente irregular, en este caso, en un sistema de pasteurización diferente.

En base a los resultados, con un cambio de ( $\Delta = 0,0235$ ) en el valor jh y un cambio de ( $\Delta = 0,7$  min) en el valor fh, son consistentes con los desafíos documentados en la literatura científica (Condori et al., 2012); (Jafri et al., 2015), quienes atribuyen estas variaciones en las condiciones del laboratorio, la precisión de los datos de admisión y las limitaciones del modelo matemático pueden contribuir a las discrepancias entre la simulación y los resultados experimentales.

Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) cercanos a 1 evidencian una fuerte correlación entre los datos simulados y experimentales. El error cuadrático medio relativo (RECM) de 1,063 °C refuerza esta concordancia, mostrando mínimas discrepancias entre ambos enfoques.

Durante la simulación, se asumió que el envase estaba completamente lleno, omitiendo el espacio de cabeza, lo que llevó a una transferencia de calor exclusivamente por conducción. Esta hipótesis justificó un mayor valor de  $j_h$  y un menor  $f_h$  en comparación con los valores experimentales.

Para el valor P, se encontró que, desde el punto de vista del efecto esterilizante, tanto los datos experimentales como las simulaciones indicaron que se necesitaban al menos 5 minutos de tratamiento térmico para evitar esporas de *Byssochlamys fulva* que sobreviviera a 93,3 °C. Además, se notó que las dificultades en los tiempos de procesamiento entre los dos enfoques eran mínimos. Los resultados son consistentes con investigaciones anteriores que sugieren que un valor  $F_0$  aproximado de 4,96 minutos es suficiente para lograr la esterilidad en jugo de mango puro en botellas semirrígidas de aluminio.

Los resultados también evidenciaron el impacto de los ingredientes añadidos en el comportamiento térmico. Sharma et al. (2017) demostraron que el uso de carboximetilcelulosa (CMC) y almidón de maíz modifican significativamente propiedades como la textura, sabor y consistencia.

Rinaldi et al. (2018) realizaron un tratamiento térmico por conductividad con distintas concentraciones de almidón (0 % a 6 %), observando que las menores concentraciones influían significativamente en el coeficiente de transferencia de calor en el centro geométrico, efecto también presente en la formulación T2 (1 % CMC y 1 % almidón de maíz), que presentó una estructura más uniforme.

## CONCLUSIONES

En el centro del proceso de pasteurización, el valor más alto de  $f_h$  (47,0521 min) podría sugerir que esta área es crucial para asegurar la eficacia de la pasteurización. Es posible que la posición media experimente una distribución de temperatura más uniforme, lo que conduciría a un tratamiento térmico más efectivo en comparación con las posiciones izquierda y derecha.

Se confirmó que el centro geométrico del envase cilíndrico de vidrio se ubica en el Punto de Localización Central (PLC), experimento práctico y la simulación de la transferencia de calor por conducción mediante el método de los elementos finitos, se obtuvo para cada caso un valor "P" de cinco minutos. Los valores experimentales, como las simulaciones de tiempos de proceso y parámetros de penetración de calor, muestran una similitud significativa en las tres posiciones evaluadas: la media, la derecha y la izquierda. Las diferencias entre estos valores son valores mínimos ( $\Delta$ ), que indican la coherencia entre la simulación y los resultados prácticos, el tiempo de proceso ( $\Delta = 1,36$  min) y los parámetros de penetración de temperatura " $f_h$ " ( $\Delta = 0,7$  min) y " $j_h$ " ( $\Delta = 0,0235$ ) como resultado de los supuestos realizados durante

la simulación. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) obtenidos a lo largo del periodo de calentamiento fueron 1, junto con un coeficiente del error relativo medio cuadrático (“RECM”) de  $1.063^\circ\text{C}$ . Se encontraron diferencias ( $p < 0,05$ ) en los datos de la posición central, mientras que no se observaron diferencias significativas en las posiciones izquierda y derecha.

Los hallazgos de la evaluación sensorial enfatizan lo crucial que es tener en cuenta una variedad de factores sensoriales al desarrollar y mejorar productos alimenticios. Ajustar los tratamientos y cumplir con las preferencias del público objetivo se presentan en llevar a cabo la preferencia del T1 en sabor, la mejora en textura del T2, y la igualdad en apariencia y aroma. A T1 (camote puro), T2 (puré de camote con 1% de CMC y 1% de almidón de maíz) obtuvo resultados algo mejores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, L., & Angel, S. (2017). “Tratamiento térmico y modelamiento matemático del concentrado de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en envase de hojalata y de vidrio”. Universidad Nacional del Callao.
- Bornhorst, E. R., Liu, F., Tang, J., Sablani, S. S., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2017). Food quality evaluation using model foods: A comparison study between microwave-assisted and conventional thermal pasteurization processes. *Food and Bioprocess Technology*, 10(7), 1248–1256. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1900-9>
- Condori, M., Obregón, A. J., & Guevara, A. (2012). Evaluación y optimización del tratamiento térmico de conservas de habas verdes (*Vicia Faba* L.) en salmuera. *Ciencia e Investigación*, 15(2), 84–89. <https://doi.org/10.15381/ci.v15i2.2663>
- da Silva, W. P., de Medeiros, M. S., Gomes, J. P., & e Silva, C. M. D. P. S. (2020). Improvement of methodology for determining local thermal diffusivity and heating time of green coconut pulp during its pasteurization. *Journal of Food Engineering*, 285(110104), 110104. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110104>
- da Silva, W. P., de Ataíde, J. S. P., de Oliveira, M. E. G., e Silva, C. M. D. P. S., & Nunes, J. S. (2018). Heat transfer during pasteurization of fruit pulps stored in containers with arbitrary geometries obtained through revolution of flat areas. *Journal of Food Engineering*, 217, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.012>
- de Oliveira, C. S., Bet, C. D., Bisinella, R. Z. B., Waiga, L. H., Colman, T. A. D., & Schnitzler, E. (2018). Heat-moisture treatment (HMT) on blends from potato starch (PS) and sweet potato starch (SPS). *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133(3), 1491–1498. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7196-9>
- Farazbakht, F., Zamindar, N., Hojjatoleslami, M., & Toghraie, D. (2017). Numerical simulation of transient heat transfer for tomato paste in semi rigid aluminum container. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 11(2), 479–487. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9415-z>
- Hemamanjushree, S., & Tippavajhala, V. K. (2020). Simulation of unit operations in formulation development of tablets using computational fluid dynamics. *AAPS PharmSciTech*, 21(3), 103. <https://doi.org/10.1208/s12249-020-1635-1>
- Jafri, M., Jha, A., Rasane, P., & Sharma, N. (2015). Development of a process for the manufacture of shelf stable dhal and its physico-chemical properties. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5709–5717. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1586-1>

- Kosky, P., Balmer, R., Keat, W., & Wise, G. (2013). Mechanical Engineering. Exploring Engineering, 259–281. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415891-7.00012-1>
- Khurshida, S., & Deka, S. C. (2022). Application of microwave and hydrothermal treatments for modification of cassava starch of Manipur region, India and development of cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 59(1), 344–354. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05020-9>
- Li, Y., Zhang, Z., Hao, X. y Yin, W. (2018). A Measurement System for Time Constant of Thermocouple Sensor Based on High Temperature Furnace. *Applied Sciences*, 8, 2585. <https://doi.org/10.3390/app8122585>
- Li, S., Yan, Y., Guan, X., & Huang, K. (2020). Preparation of a hordein-quercetin- chitosan antioxidant electrospun nanofibre film for food packaging and improvement of the film hydrophobic properties by heat treatment. *Food Packaging and Shelf Life*, 23(100466), 100466. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100466>
- Pisco, M., & Francisco, J. (2020). Determinación de la difusividad térmica y perfiles de temperatura de la papa (*Solanum tuberosum*) durante el calentamiento en un medio líquido. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Nedanami, A., Ziaifar, A. M., Parvini, M., Kashaninejad, M., & Maghsoudlou, Y. (2018). Numerical calculation of sterilization heat penetration parameters based on initial temperature and headspace in canned non-Newtonian fluid. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13709>
- Marszałek, K., Woźniak, Ł., Skapska, S., & Mitek, M. (2017). High pressure processing and thermal pasteurization of strawberry purée: quality parameters and shelf life evaluation during cold storage. *Journal of Food Science and Technology*, 54(3), 832–841. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2529-4>
- Rodríguez-Ramos, F.; Tabilo, E. J. y Moraga, N. O. (2021). Modeling inactivation of *Clostridium botulinum* and vitamin destruction of non-Newtonian liquid-solid food mixtures by convective sterilization in cans. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 102762.
- Rinaldi, M., Malavasi, M. Cordioli, M. y Barbandi, D. (2018). Investigation of influence of container geometry and starch concentration on thermal treated in-package food models by means of Computational Fluid Dynamics (CFD). *Food and Bioproducts Processing*, 108, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.12.003>
- Shafiekhani, S., Zamindar, N., Hojatoleslami, M., & Toghraie, D. (2016). Numerical simulation of transient temperature profiles for canned apple puree in semi-rigid aluminum-based packaging during pasteurization. *Journal of Food Science and Technology*, 53(6), 2770–2778. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2249-1>
- Sharma, M., Kristo, E., Corredig, M., & Duizer, L. (2017). Effect of hydrocolloid type on texture of pureed carrots: Rheological and sensory measures. *Food Hydrocolloids*, 63, 478–487. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.040>
- Tucker, G. & Featherstone, S. (2021). *Essentials of Thermal Processing* (2da edición). Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Vidal, A. R., Zaucedo-Zuñiga, A. L., & Ramos-García, M. de L. (2018). Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas* L.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541001>

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

### **El potencial del pijuayo (*Bactris gasipaes*) como nuevo ingrediente de productos cárnicos y pesqueros**

### **The potential of pijuayo (*Bactris gasipaes*) as a new ingredient in meat and fish products**

Juan Rios-Mera<sup>1</sup> 

#### **RESUMEN**

La asociación del consumo de alimentos procesados con problemas de la salud viene despertando el interés de los consumidores y de la industria de alimentos para la producción de alimentos más saludables y sustentables. Las carnes procesadas, que se elaboran a partir del músculo esquelético de especies animales comestibles, presentan características desfavorables debido a la incorporación de ingredientes y aditivos sintéticos asociados a la ocurrencia de enfermedades y alergias. En este contexto, la presente revisión presenta al pijuayo como una alternativa saludable y sustentable en la formulación de productos cárnicos y pesqueros. Se describen los beneficios nutricionales de este recurso amazónico, así como sus usos reportados en la literatura. Del pijuayo se han aprovechado la pulpa, cáscara, tallo, y extractos oleosos para sustituir grasa animal y para actuar como extensores y colorantes en carnes procesadas. Los beneficios incluyen la mejora de las características sensoriales y la aceptabilidad relacionadas a la textura y sabor, así como la posibilidad de reducir la oxidación lipídica y la sustitución parcial de nitritos como colorante. Sin embargo, aún hacen falta más estudios que evalúen el efecto del pijuayo en carnes procesadas desde una perspectiva holística, que incluya los aspectos nutricionales y efectos en la salud.

**Palabras clave:** Carnes procesadas; Sustitutos de grasa; Ingredientes extensores; Colorantes naturales; Frutos amazónicos.

#### **ABSTRACT**

The association of processed food consumption with health problems has sparked interest among consumers and the food industry in the production of healthier and more sustainable foods. Processed meats, which are made from the skeletal muscle of edible animal species, have unfavorable characteristics due to the incorporation of ingredients and synthetic additives associated with the occurrence of diseases and allergies. In this context, this review presents the pijuayo as a healthy and sustainable alternative in the formulation of meat and fish products. The nutritional benefits of this Amazonian resource are described, as well as its uses reported in the literature. The pulp, peel, stem, and oil extracts of pijuayo have been used to replace animal fat and to act as extenders and colorants in processed meats. The benefits include the enhance of sensory characteristics and acceptability related to texture and flavor, as well as the potential to reduce lipid oxidation and partially replace nitrites as a colorant. However, further studies are still needed to evaluate the effect of pijuayo on processed meats from a holistic perspective, including nutritional aspects and health effects.

**Keywords:** Processed meats; Fat substitutes; Extender ingredients; Natural colorants; Amazonian fruits.

\* Corresponding author

---

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: [juan.rios@unj.edu.pe](mailto:juan.rios@unj.edu.pe)

## INTRODUCTION

Currently, the food industry is facing challenges in producing less harmful and more sustainable foods. In this area, meat-based products are often questioned for their negative effects on health and for the production system with negative consequences on the environment (World Health Organization - WHO, 2023). High contents of sodium, saturated fats, cholesterol and synthetic additives derived from the consumption of processed meats have been associated with an increased risk of diseases such as obesity, type-2 diabetes, coronary heart disease, and various types of cancer (Beriaín et al., 2018; Bouvard et al., 2015; Paglarini et al., 2018; Rios-Mera et al., 2021). However, processed meats continue to be widely consumed and pose a latent risk to public health. In this sense, a viable solution is reformulation into healthier alternatives, but traditional quality aspects, such as sensory characteristics and consumer perception, must be considered (Eduardo et al., 2024; Saldaña et al., 2021).

In the search for new ingredients for the reformulation of processed meats, harnessing local resources is an economically viable option. In this context, the Amazon biome offers countless botanical resources that could be harnessed to obtain new ingredients for the food industry. One of the most interesting resources is *Bactris gasipaes*, known as pijuayo in Peru, which offers nutritional benefits such as carbohydrates, fiber, unsaturated lipids, vitamins, and bioactive compounds, mainly carotenoids (Amorim et al., 2024; Jaramillo-Vivanco et al., 2022; Peixoto Araujo et al., 2021). In the use of pijuayo as an ingredient in meat and fish products, the pulp, peel, stem and oily extracts from fruit residues have been used (Echeverría et al., 2020; Guzmán et al., 2023; Llatas et al., 2024; Pinzón-Zárate et al., 2015; Zapata & de la Pava, 2015), which shows that the fruit offers possibilities for integral use, emphasizing not only the improvement of the nutritional profile of foods, but also sustainability due to the use of residues.

This review describes the nutritional aspects of pijuayo fruit, the nutritional problems of meat and fish products, and the functions of pijuayo in these products. Finally, the challenges to be addressed in future studies seeking to incorporate pijuayo as a new ingredient in processed meats are described.

## PIJUAYO: GENERALITIES AND NUTRITIONAL ASPECTS

*Bactris gasipaes* is an Amazonian palm whose domestication began in the southwestern Amazon, and from there it spread to the central and eastern Amazon via the Madeira River, to the western Amazon via the Ucayali River, and to the Pacific slope of Colombia and Costa Rica through the Andes (Clement, 2024). It has several common names, including chontaduro, palmier-peche, peach palm, pejibaye, pupunha, and pijuayo. It has evergreen leaves that grow to approximately 10 to 20 m in

height and produces fruits measuring 2 to 5 cm in diameter with thick pulp and large or seedless seeds. Fruit production is estimated to reach 10 to 30 t/ha. In addition, the heart palm can be obtained from the trunk in quantities ranging from 4,000 to 10,000 hearts/ha per year. The fruit is consumed cooked with water and salt or as a fermented beverage; flour, oil, and animal feed can also be obtained. Other edible parts include the kernels, the palm heart, and immature inflorescences (FAO, 2022). Edible larvae also grow on the trunks, such as the *suri* of the species *Rhynchophorus palmarum* (Jaramillo-Vivanco et al., 2022). It is also used for ornamental purposes from the trunk; liquor and cellulose can be obtained from the stem (FAO, 2022), and other parts of the palm tree are used to make utensils, tools, handcrafted roofs, and for native medicinal preparations (Jaramillo-Vivanco et al., 2022). Images of the fruit are shown in Figure 1.

The nutritional composition of pijuayo fruit has been reviewed by various authors, including Amorim et al. (2024), Jaramillo-Vivanco et al. (2022), and Peixoto et al. (2021). Table 1 highlights the main nutrients, from which it can be seen that the peach palm fruit is an important source of lipids, carbohydrates, fiber, and micronutrients such as magnesium and potassium.

**Figure 1**

*Fruit of the pijuayo palm (Bactris gasipaes). a) Pijuayo bunch; b) Cooked fruits; c) Cooked pijuayo pulp.*

**Table 1**

*Nutritional composition of pijuayo fruit. Extracted from Amorim et al. (2024), Jaramillo-Vivanco et al. (2022), and Peixoto et al. (2021).*

<b>Nutrient</b>	<b>Composition</b>
Moisture (%)	10.7 – 82
Lipids (%)	6.88 – 23.6
Proteins (%)	0.6 – 3.9
Ahs (%)	2.64 – 2.74
Carbohydrates (%)	14.5 – 84.8
Total dietary fiber (%)	4.88 – 6.7
Magnesium (mg/100 g)	16.9 – 81.6
Potassium (mg/100 g)	109.4 – 289.3
Calcium (mg/100 g)	< 1.0 – 21.8
Manganese (mg/100 g)	0.08 – 0.54
Iron (mg/100 g)	0.57 – 2.65
Zinc (mg/100 g)	< 0.2 – 0.2777
Copper (mg/100 g)	0.43
Sodium (mg/100 g)	0.2
Chromium (mg/100 g)	0.008
Selenium (mg/100 g)	0.0035
Vitamin C (mg/100 g)	14 – 19.7

As can be seen in Table 1, there is wide variability in some components, such as moisture, lipids, carbohydrates, potassium, and calcium, which may be due to agronomic factors. The lipid content is mainly composed of unsaturated fatty acids, of which linoleic acid (omega 6) and linolenic acid (omega 3) stand out (Amorim et al., 2024). Although the protein content of the pijuayo fruit pulp is relatively low, it contains most of the essential amino acids, such as: lysine, methionine, phenylalanine, threonine, tryptophan, and valine, in ranges from 0.8 to 4.6% of the total nitrogen value (Jaramillo-Vivanco et al., 2022), which makes pijuayo a recommended raw material from the point of view of biological value. The pijuayo also stands out for the presence of carotenoids, which in most cases are of the trans- $\beta$ -carotene type, important for their antioxidant activity and in the biosynthesis of provitamin A. By consuming this product, 50% of the recommendation of the Food and Drug Administration (FDA) is already supplied, since its content reaches 72  $\mu\text{g}$   $\beta$ -carotene/g (Montero et al., 2022). It has also been reported that pijuayo increased HDL cholesterol and decreased body mass index in rats (Carvalho et al., 2013), suggesting its positive effect on health. Other important aspects of pijuayo include its high starch content, near-neutral pH, soluble pectin, and absence of gluten (Peixoto et al., 2021), characteristics that can be exploited by the food industry.

## **MEAT AND FISH PRODUCTS**

Meat and fish products are obtained from the skeletal muscle of edible animals and are classified as red meat, poultry, fish, and processed meat (Wang et al., 2023). Some commercial products include burgers, sausages, meatballs, surimi, among others, which are an important source of protein and essential amino acids, fatty acids with health benefits (e.g., omega 3), vitamins, and minerals (Rios-Mera et al., 2024). Processed meats are composed of a minimum of 30% meat and may contain animal fat and other non-meat components of the animal, such as liver, kidney, and heart (Lonergan et al., 2019; O'Farrell, 2011). Meat processing includes operations such as portioning, forming, emulsification, salting, curing, marinating, cooking, smoking, or drying (O'Farrell, 2011). Likewise, ingredients with technofunctional properties are added which improve moisture retention and favorably modify the texture, which include sodium chloride (salt), phosphates, carbonates, citrates and starches and hydrocolloids (Balestra & Petracci, 2019). This group also includes extenders, classified as non-meat ingredients such as animal and vegetable proteins and carbohydrates whose functions are to reduce cost and improve water retention, texture, appearance and palatability (Mills, 2014a). Other additives that improve the stability and sensory properties of the product are nitrite, nitrate, erythorbate, sweeteners, seasonings, flavorings, antimicrobials, and antioxidants (Mills, 2014b).

However, some of these ingredients can cause adverse health effects, due to a higher proportion of saturated fats and cholesterol derived from the addition of animal fat, and the use of additives of synthetic origin, which have been associated with the development of colon, stomach, pancreas and prostate cancer (Bouvard et al., 2015; Rios-Mera et al., 2024). In addition, the allergenic effects of the ingredients must be considered, for example, soy and wheat derivatives that are used as extenders (Mills, 2014a). In this sense, the reduction or substitution of ingredients and additives critical for health is an opportunity to search for new, healthier and more natural ingredients to improve the nutritional profile of meat and fish products.

## **PIJUAYO IN THE FORMULATION OF MEAT AND FISH PRODUCTS**

Applications of the pijuayo fruit in food products include pasta, mayonnaise, biscuits, extruded cereals, snacks, cakes, bread, fermented drinks, sausages, and burgers, in which the flours from the fruits, peel, stems, and extracted oils were used (Amorim et al., 2024; Costa et al., 2022; Rios-Mera et al., 2024). Flours from the pulp and peel have been reported to have high fat and carbohydrate contents, ranging from 7% to 11% and 71% to 76%, respectively; while the oils were used for their carotenoid content (de Souza Mesquita et al., 2020; Llatas et al., 2024; Silva Ribeiro et al., 2021). These properties highlight pijuayo as an ingredient in meat and fish formulations, with functions such as a fat substitute,

due to its lipid content (Echeverria et al., 2020; Guzmán et al., 2023; Llatas et al., 2024), extender due to its carbohydrate content (Zapata & de la Pava, 2015), and colorant due to the presence of carotenoids (Noronha et al., 2019; Pinzón-Zárate et al., 2015). Likewise, other characteristics such as the presence of phenolic compounds, fibers, essential amino acids and unsaturated lipids provide antioxidant, antimicrobial and anti-obesogenic properties to the pijuayo (Rios-Mera et al., 2024).

To obtain flours, the pijuayo fruit must be cooked in boiling water for a period of time that can vary from 30 to 40 minutes. The pulp is then separated from the peel and the seed is discarded. The flour then undergoes a dehydration process in an oven at temperatures not exceeding 55°C or by freeze-drying (Guzmán et al., 2023; Llatas et al., 2024; Zapata & de la Pava, 2015). A similar procedure has been reported by Echevarria et al. (2020) when they obtained flour from the pijuayo stem to be incorporated into lamb burgers, but the stems were not cooked. As fat substitutes, pijuayo flours have been incorporated into burgers at substitution levels of 25% to 100%. In lamb burgers, pijuayo stem flour increased cooking yield, moisture retention, and dietary fiber content because the flour exhibited a high water and oil absorption capacity and fiber content. Instrumental color was not affected, nor was the microorganism count; however, higher pijuayo stem flour content increased instrumental hardness, but springiness and cohesiveness were not affected. A 67% fat replacement yielded the highest sensory scores for flavor and texture, as well as a higher purchase intention, suggesting that pijuayo improves the sensory acceptability of lamb burgers (Echeverria et al., 2020).

In another study, Llatas et al. (2024) substituted pork fat with pijuayo pulp and peel flours at levels of 25% and 50%. Using a multivariate statistical evaluation, they observed that at the highest substitution level, burgers tended to contain high carbohydrates and yellowness intensity ( $b^*$ ), while hardness, springiness, chewiness, cohesiveness, ash, cooking losses, diameter reduction, redness ( $a^*$ ), fat, and lipid oxidation were better associated with the treatment without fat reduction. In a previous study, Guzmán et al. (2023) demonstrated that pijuayo pulp and peel flours reduced lipid oxidation in burgers from 62% to 87% compared to the control, with the peel flour showing a greater effect. This may be due to the high carotenoid content of the peel, which may have antioxidant activity (Noronha Matos et al., 2019; Peixoto Araujo et al., 2021). In this context, pijuayo pulp and peel flours, in addition to being a fat substitute, can act as an antioxidant in meat products.

Similar to Echevarria et al. (2020), Llatas et al. (2024) also observed improvements in the sensory profile of reduced-fat burgers. Thus, the 25% fat substitution significantly increased the sensory acceptance of the burgers, which were associated with sensory terms such as tender and tasty, suggesting that the pijuayo flour improves the texture and flavor of the burgers. This fact was reinforced by the segmentation of the 112 consumers who participated in the study, where 89% of them

preferred the reformulated burgers, except for the one with the highest content of pijuayo peel flour. The authors speculated that the flavor improvement may be associated with the presence of amino acids that are precursors to umami flavor (savory flavor), such as glutamic acid and aspartic acid, but this statement needs to be evaluated in future studies.

As an extender ingredient, Zapata and de la Pava (2015) used pijuayo flour in the formulation of tilapia sausages, assessing their texture and sensory acceptability. It was observed that the gumminess and springiness were greater in sausages with pijuayo flour, contrary to the observation in adhesiveness and cohesiveness. The shear force increased with pijuayo flour, but the opposite was observed for the cutting work. One hundred consumers participated in the sensory analysis, whose sensory acceptance responses for flavor, odor, and texture were much higher in sausages containing pijuayo flour compared to the conventional sausage, reinforcing the idea that pijuayo derivatives improve the texture and flavor of meat and fish products.

Another application of pijuayo in meat products is as a colorant. Pinzón-Zárate et al. (2015) evaluated the oily extract of pijuayo fruit residues as a natural colorant in frankfurters. The extract was added in quantities ranging from 0 to 97 ml/kg, containing total carotenoids with equivalent amounts of 0 to 28.13 mg/kg extract. In turn, the increase in extract in the formulation was accompanied by a reduction in sodium nitrite in quantities ranging from 200 to 100 mg/kg. As a result, the higher the extract content, the higher the lightness, yellowness ( $b^*$ ), chroma, and hue values. Furthermore, the authors suggested that the nitrite content can be reduced by up to 20% using the oily extract, but the decrease in red coloration ( $a^*$ ) could hinder its application in frankfurters. This statement should be confirmed in studies that include sensory evaluation with consumers.

## CONCLUSIONS

Meat and fish products are critical for health due to their composition and the ingredients and additives used in their production, particularly their lipid profile, which is rich in saturated fats and cholesterol, the use of synthetic additives and ingredients that can cause allergic reactions in consumers. Therefore, it is necessary to improve their nutritional profile through the incorporation of healthy and natural ingredients. Pijuayo (*Bactris gasipaes*) is an Amazonian fruit with excellent nutritional properties and has been explored in meat and fish formulations as a fat substitute, extender, and natural coloring agent. Its use has not been limited to the commonly edible portion (pulp), but also to other by-products, such as the peel and stems. In adequate quantities, peach palm has been shown to improve the sensory profile of meat and fish products, primarily enhancing flavor and texture. Future studies should explore compounds associated with flavor enhancement, as well as their rheological properties to optimize the

textural properties of meat and fish products. It is also necessary to study compounds associated with the antioxidant capacity of pijuayo, as well as the potential for replacing sodium nitrite and nitrate from a sensory perspective. In this line, the replacement of other ingredients and additives commonly used in the formulation of meat and fish products, such as soy and wheat flour, synthetic antioxidants, phosphates, among others, could also be explored.

However, despite the technofunctional and sensory benefits of pijuayo, nutritional aspects must be taken into account, involving *in vitro* and *in vivo* studies. Scientific advances in this regard include the study by Santos et al. (2023), who observed that the phenolic fraction of pijuayo flour decreased the *in vitro* protein digestibility of yogurt formulated with 30% pijuayo flour. Later, Souza-Santos et al. (2025) demonstrated that the type of processing (freeze-drying, cooking followed by freeze-drying, convection-drying, and cooking followed by convection-drying) to obtain pijuayo flour can decrease antinutritional compounds that affect protein digestibility. In meat and fish products, which are often questioned due to their negative health effects, these previous scientific evidence suggest the possibility of studying the applications of pijuayo from a holistic perspective, addressing not only the technological and sensory aspects of the products, but also the study of processing factors, chemical and nutritional characterization, interactions of pijuayo components with nutrients of the food matrix, the digestibility of nutrients of interest, the identification of safe doses, and the reduction of compounds that are detrimental to health. Thus, the future is challenging but promising for the proposal of pijuayo as a new ingredient in the formulation of processed meats.

## BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Amorim, I. S., Amorim, D. S., Godoy, H. T., Mariutti, L. R. B., Chisté, R. C., da Silva Pena, R., Bogusz Junior, S., & Chim, J. F. (2024). Amazonian palm tree fruits: From nutritional value to diversity of new food products. *Heliyon*, *10*(2), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24054>
- Balestra, F., & Petracci, M. (2019). *Chapter 3 - Technofunctional Ingredients for Meat Products: Current Challenges* (C. M. B. T.-S. M. P. and P. Galanakis (ed.); pp. 45–68). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00003-1>
- Beriain, M. J., Gómez, I., Ibáñez, F. C., Sarriés, M. V., & Ordóñez, A. I. (2018). Chapter 1 - Improvement of the Functional and Healthy Properties of Meat Products. In A. M. Holban & A. M. B. T.-F. Q. B. H. and D. Grumezescu (Eds.), *Handbook of Food Bioengineering* (pp. 1–74). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811442-1.00001-8>
- Bouvard, V., Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., Ghissassi, F. El, Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Mattock, H., & Straif, K. (2015). Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *The Lancet Oncology*, *16*(16), 1599–1600. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)00444-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00444-1)
- Carvalho, R. P., Lemos, J. R. G., de Aquino Sales, R. S., Martins, M. G., Nascimento, C. H., Bayona, M., Marcon, J. L., & Monteiro, J. B. (2013). The consumption of red pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth)

- increases HDL cholesterol and reduces weight gain of lactating and post-lactating wistar rats. *The Journal of Aging Research & Clinical Practice*, 2(3), 257–260.
- Clement, C. R. (2024). *Agrobiodiversity in Amazonia* (S. M. B. T.-E. of B. (Third E. Scheiner (ed.); pp. 228–238). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822562-2.00170-5>
- Costa, R. D. S. da, Rodrigues, A. M. da C., & Silva, L. H. M. da. (2022). The fruit of peach palm (*Bactris gasipaes*) and its technological potential: an overview. In *Food Science and Technology* (Vol. 42). scielo.
- de Souza Mesquita, L. M., Neves, B. V., Pisani, L. P., & de Rosso, V. V. (2020). Mayonnaise as a model food for improving the bioaccessibility of carotenoids from *Bactris gasipaes* fruits. *LWT*, 122, 109022. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109022>
- Echeverria, L., Jéssica Da, :, Rigoto, M., Antônio, :, Martinez, C., Daniele, B., Porciuncula, A., Scanavacca, J., Cervejeira, B., & Barros, B. (2020). Characterization of lamb burgers with addition of flour from peach palm by-product. *Bioscience Journal*, 36, 280–289. <https://doi.org/10.14393/BJ-V36N0A2020-53635>
- Eduardo, K., Aredo, V., Rios-Mera, J. D., Ambrosio, C. M. S., Siche, R., & Saldaña, E. (2024). Chapter 13 - Market needs and consumer's preferences for healthier foods. In J. M. B. T.-S. to I. the Q. of F. Lorenzo (Ed.), *Developments in Food Quality and Safety* (pp. 337–355). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15346-4.00013-6>
- FAO. (2022). *Bactris gasipaes - GAEZ Data Portal*. <https://gaez.fao.org/pages/ecocrop-find-plant>
- Guzmán, H., Llatas, A. Y., Arteaga, H., Saldaña, E., Tello, F., & Rios-Mera, J. D. (2023). Pijuayo (*Bactris gasipaes*) Pulp and Peel Flours as Partial Substitutes for Animal Fat in Burgers: Physicochemical Properties. In *Biology and Life Sciences Forum* (Vol. 26, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/Foods2023-15039>
- Jaramillo-Vivanco, T., Balslev, H., Montúfar, R., Cámara, R. M., Giampieri, F., Battino, M., Cámara, M., & Alvarez-Suarez, J. M. (2022). Three Amazonian palms as underestimated and little-known sources of nutrients, bioactive compounds and edible insects. *Food Chemistry*, 372, 131273. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131273>
- Llatas, A. Y., Guzmán, H., Tello, F., Ruiz, R., Vásquez, J., Chiroque, G., Mayta-Hancco, J., Cruzado-Bravo, M. L. M., Arteaga, H., Saldaña, E., & Rios-Mera, J. D. (2024). Exploring Pijuayo (*Bactris gasipaes*) Pulp and Peel Flours as Fat Replacers in Burgers: A Multivariate Study on Physicochemical and Sensory Traits. In *Foods* (Vol. 13, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/foods13111619>
- Lonergan, S. M., Topel, D. G., & Marple, D. N. (2019). *Chapter 13 - Fresh and cured meat processing and preservation* (S. M. Lonergan, D. G. Topel, & D. N. B. T.-T. S. of A. G. and M. T. (Second E. Marple (eds.); pp. 205–228). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815277-5.00013-5>
- Mills, E. (2014a). *ADDITIVES / Extenders* (M. Dikeman & C. B. T.-E. of M. S. (Second E. Devine (eds.); pp. 1–6). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00108-2>
- Mills, E. (2014b). *ADDITIVES / Functional* (M. Dikeman & C. B. T.-E. of M. S. (Second E. Devine (eds.); pp. 7–11). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00107-0>
- Montero, M. L., Rojas-Garbanzo, C., Usaga, J., & Pérez, A. M. (2022). Nutritional composition, content of bioactive compounds, and hydrophilic antioxidant capacity of selected Costa Rican fruits. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2 SE-Articles), 46175. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.46175>
- Noronha Matos, K. A., Praia Lima, D., Pereira Barbosa, A. P., Zerlotti Mercadante, A., & Campos Chisté, R. (2019). Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products

classified as very high carotenoid sources. *Food Chemistry*, 272, 216–221.  
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.08.053>

- O'Farrell, M. (2011). 22 - Online quality assessment of processed meats. In J. P. Kerry & J. F. B. T.-P. M. Kerry (Eds.), *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* (pp. 546–566). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857092946.3.546>
- Paglarini, C. de S., Furtado, G. de F., Biachi, J. P., Vidal, V. A. S., Martini, S., Forte, M. B. S., Cunha, R. L., & Pollonio, M. A. R. (2018). Functional emulsion gels with potential application in meat products. *Journal of Food Engineering*, 222, 29–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.026>
- Peixoto Araujo, N. M., Arruda, H. S., Marques, D. R. P., de Oliveira, W. Q., Pereira, G. A., & Pastore, G. M. (2021). Functional and nutritional properties of selected Amazon fruits: A review. *Food Research International*, 147(June). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110520>
- Pinzón-Zárate, L. X., Hleap-Zapata, J. I., & Ordóñez-Santos, L. E. (2015). Análisis de los parámetros de color en salchichas Frankfurt adicionadas con extracto oleoso de residuos de chontaduro (*Bactris Gasipaes*). *Información Tecnológica*, 26(5), 45–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500007>
- Ríos-Mera, J. D., Arteaga, H., Ruiz, R., Saldaña, E., & Tello, F. (2024). Amazon Fruits as Healthy Ingredients in Muscle Food Products: A Review. In *Foods* (Vol. 13, Issue 13). <https://doi.org/10.3390/foods13132110>
- Ríos-Mera, J. D., Saldaña, E., Patinho, I., Selani, M. M., & Contreras-Castillo, C. J. (2021). Advances and gaps in studies on healthy meat products and their relationship with regulations: The Brazilian scenario. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 833–840. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.092>
- Saldaña, E., Merlo, T. C., Patinho, I., Ríos-Mera, J. D., Contreras-Castillo, C. J., & Selani, M. M. (2021). Use of sensory science for the development of healthier processed meat products: a critical opinion. *Current Opinion in Food Science*, 40, 13–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.04.012>
- Santos, Y. J. S., Facchinatto, W. M., Rochetti, A. L., Carvalho, R. A., Le Feunteun, S., Fukumasu, H., Morzel, M., Colnago, L. A., & Vanin, F. M. (2023). Systemic characterization of pupunha (*Bactris gasipaes*) flour with views of polyphenol content on cytotoxicity and protein in vitro digestion. *Food Chemistry*, 405, 134888. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134888>
- Silva Ribeiro, G., Conceição Monteiro, M. K., Rodrigues do Carmo, J., da Silva Pena, R., & Campos Chisté, R. (2021). Peach palm flour: production, hygroscopic behaviour and application in cookies. *Heliyon*, 7(5), e07062. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E07062>
- Souza-Santos, Y. J., Argento, M. B. V., Facchinatto, W. M., Xavier, P. L. P., Rochetti, A. L., Lourenço, C. M., Carvalho, R. A., Fukumasu, H., Colnago, L. A., & Vanin, F. M. (2025). Modulation of physicochemical, digestibility, and cytotoxic properties of pupunha (*Bactris gasipaes*) flour by different processes. *Food Research International*, 209, 116159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116159>
- Wang, Z., Wu, Z., Tu, J., & Xu, B. (2023). Muscle food and human health: A systematic review from the perspective of external and internal oxidation. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 85–99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.006>
- World Health Organization - WHO. (2023). *Red and processed meat in the context of health and the environment: many shades of red and green: information brief*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240074828>
- Zapata, J. I. H., & de la Pava, G. C. R. (2015). Propiedades texturales y sensoriales de salchichas de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) con adición de harina de chontaduro. *Ingeniería y Desarrollo*, 33, 199–215.

**ARTÍCULO DE REVISIÓN****Tecnologías de Información y Comunicación y la productividad en las empresas agroexportadoras peruanas en tiempos de pandemia****Information and Communication Technologies and productivity in Peruvian agroexport companies in times of pandemic.**Fiorella Salazar<sup>1</sup> \***RESUMEN**

El presente artículo expone las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) y su aplicación en el funcionamiento de las empresas agroexportadoras durante el periodo de la pandemia por la COVID-19; siendo el objetivo de la investigación, describir la incidencia del uso de las TIC en la productividad de las empresas del sector agroindustrial. La metodología que se aplicó fue una revisión sistemática de literatura acerca de cada uno de los constructos, mediante criterios de búsqueda en fuentes confiables como las bases de datos Scopus, Redalyc, SciELO principalmente; así también, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para la selección de información, tanto para artículos y tesis. Los resultados obtenidos mostraron la importancia del uso de las TIC en el crecimiento y desarrollo de un país, ciudad o sector, incluso antes de la emergencia sanitaria. Luego del análisis de la información se resolvió que hay una repercusión positiva en las empresas del sector cuando implementaron TIC en sus procesos claves, por lo que se propuso desarrollar un plan estratégico integral como punto de inicio para forjar una cultura innovadora, que facilite desarrollar la capacidad de resiliencia.

**Palabras claves:** agronegocios, agropecuario, COVID-19, desarrollo tecnológico, innovación.

**ABSTRACT**

This article presents the Information and Communication Technologies (ICT) and their application in the performance of agro-export companies during the period of the pandemic by COVID-19; being the objective of the investigation to describe the incidence of the use of the ICT in the productivity of the companies in the agro-industrial sector. The methodology applied was the systematic review of the literature on each of the constructs, using search criteria in reliable sources such as the Scopus, Redalyc, SciELO databases mainly; thus, inclusion and exclusion criteria were also applied for the selection of information, both for articles and theses. The results obtained showed the importance of the use of ICTs in the growth and development of a country, city or sector, even before the health emergency. After analyzing the information, it was determined that there is a positive impact on companies in the sector when they implemented ICT in their key processes, so it was proposed to develop a full strategic plan as a starting point to forge an innovative culture that facilitates the development of resilience capacity.

**Keywords:** agribusiness, agricultural, COVID-19, innovation, technological development

\*Autor de correspondencia

<sup>1</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Email: [fiorellasalazars@gmail.com](mailto:fiorellasalazars@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

En un contexto de mercados globalizados, las organizaciones se desenvuelven en entornos económicos y comerciales altamente cambiantes; por ello, deben evolucionar utilizando nuevos conocimientos a nivel organizacional como lo son las TIC. Toma relevancia conocer el comportamiento del sector agro exportador que ha necesitado evolucionar para superar la crisis generada por la pandemia ocurrida a inicios de la presente década, este fenómeno permite tener herramientas de estudio para diseñar estrategias que ayuden en la toma de decisiones frente a una situación similar que puedan ocurrir en el futuro. Por consiguiente, es imperativo entender a qué se refiere cuando se habla de TIC, sobre lo cual, Thompson y Strickland (2004), las definen como: aparatos, equipos, instrumentos y componentes electrónicos que permiten administrar información fundamental para el desarrollo y crecimiento económico de cualquier empresa. Asimismo, Galo (2017) detalla que, las TIC pueden ofrecer sistemas de control y planificación más completos que facilitan el análisis integral de la información por parte de una persona o de la mayoría de los miembros de la organización.

De lo descrito en el párrafo anterior, se puede extraer que las TIC son herramientas funcionales mediante las cuales se pueden obtener beneficios que en un determinado plazo pueden convertirse en ventajas competitivas para las empresas. Por otro lado, pueden ser el componente esencial para mejorar el rendimiento de cada proceso siempre que se apliquen de forma correcta bajo las características y metas de cada organización; es decir, que el desarrollo de las TIC deben ser parte de un plan estratégico debidamente diseñado con un enfoque prospectivo.

Otro concepto necesario a entender es la productividad, dicho término Hernández (2005), lo define como el vínculo existente entre la cantidad de productos generados y los recursos empleados para su producción, teniendo en cuenta el tiempo invertido en el proceso productivo. Desde el punto de vista económico, se puede mencionar que, según Rincón de Parra (2001), señala que el elemento clave para el éxito de una empresa es su capacidad de adaptación al avance tecnológico y al de la administración científica, lo que conlleva a conseguir productos nuevos y mejorados de mayor calidad y con precios accesibles para los consumidores. La Organización Internacional del Trabajo (2020), describe la productividad como el vínculo entre el nivel de producción y los recursos utilizados, principalmente el capital de trabajo y la tecnología; teniendo este último concepto una alta injerencia en el nivel de productividad alcanzado, así como en la adopción de ventajas competitivas.

Las definiciones desarrolladas permiten concluir sobre este punto que, la productividad viene a ser el instrumento de medición a través del cual se puede determinar la eficiencia de cada proceso dentro de una organización. Considerando que la inversión en tecnologías e innovación es la clave para escalar a

un nivel más alto de productividad, la responsabilidad del crecimiento dentro del mercado internacional dependerá de la predisposición de la empresa para adoptar una cultura de mejora continua.

En el Perú, son pocas las empresas del sector agroindustrial que han desarrollado la automatización de sus procesos, siendo esta una debilidad que necesita ser atendida para competir en los mercados internacionales. Sobre ello, el Banco Interamericano de Desarrollo (2020) fundamenta que el sector agrícola peruano afronta retos significativos, como la innovación y modernización como uno de los retos de competitividad. Debido a esto, se espera que la política nacional agraria contribuya a priorizar y fomentar metas y estrategias a mediano y largo plazo para lograr mejorar los indicadores del sector.

Referente a la aplicación de las TIC en las empresas, López (2019) aborda el problema que se percibe en muchas empresas peruanas que implementan las TIC sin una planificación estratégica, lo que les otorga temporalmente un mayor nivel de competitividad. El autor concluye que cuando una empresa pone en funcionamiento las TIC en cada uno de sus procesos, como parte de un plan estratégico debidamente diseñado, obtiene mejores resultados que se reflejan en su desempeño siendo más competitiva en el tiempo. Por otro lado, es importante resaltar que, como lo sustenta CEPAL (2021), las tecnologías digitales como parte de las TIC pueden tener injerencia en el desempeño de una empresa dependiendo de su estructura organizacional y su proceso productivo, debido que el proceso de integrar tecnologías digitales genera grandes cambios en la organización y en la dinámica de los mercados.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se aplicó el método de revisión sistemática, que según Frias (2011), se basa en la evidencia científica más sólida disponible. Por otro lado, según Kitchenham, (2004), la revisión sistemática de la literatura implica analizar e interpretar toda la investigación disponible que sea pertinente a una pregunta de investigación específica, en un área temática o fenómeno de interés. Con ello, se siguieron las siguientes etapas: planificación de la revisión, establecer la necesidad de realizarlo y definir el protocolo a seguir; posterior a ello, realizar la revisión. Como fuentes de información, se consideró necesario delimitar la búsqueda en fuentes académicas de base de datos como SCOPUS, REDALYC, Scielo, principalmente; aplicando los siguientes criterios de búsqueda:

- **Fuente:** *Artículos publicados en las bases de datos principalmente: SCOPUS, REDALYC, Scielo principalmente.*
- **Tipo de artículo:** *artículos relacionados a las variables y dimensiones de la investigación, independientemente donde se ubicaba la revista.*

- **Contenido:** artículos que contengan como palabras claves una de las dos variables en estudio, *Tecnologías de información y comunicación o productividad.*
- **Contexto:** artículos que se enfoquen en el sector agro, relacionados a la descripción del desarrollo y evolución del sector a raíz del avance tecnológico.
- **Periodo:** artículos publicados con un máximo de 5 años de antigüedad, dando prioridad a los artículos de los últimos 2 años.
- **País:** estudios de países de la región Latinoamérica, principalmente, también de Europa y Asia.

Adicionalmente, se aplicó un cuestionario de 30 preguntas a los trabajadores de la empresa RAINFOREST ORGANIC PERU SAC, que permitió evidenciar en el terreno los hallazgos obtenidos de la revisión bibliográfica. La finalidad de la aplicación del cuestionario fue conocer la percepción de los trabajadores de la incidencia de las TIC en la productividad de las empresas agroexportadoras.

## **RESULTADOS**

Para realizar el análisis de la incidencia que tienen las TIC en la productividad de las empresas agroexportadoras se realizó la revisión de artículos y tesis de fuentes confiables, siendo las bases de datos utilizadas Scopus, Redalys, SciELO, entre otras. Se pudo evidenciar que el uso de las TIC genera un impacto positivo en la productividad de las empresas agroexportadoras.

Referente a la aplicación del cuestionario se obtuvieron los siguientes resultados:

- El uso de las TIC genera un impacto positivo en la productividad de la gestión de ventas de la empresa: Se observó que realizar el uso de redes sociales y teléfonos inteligentes fue imprescindible para mantener contacto activo con los clientes y proveedores en el periodo 2020 – 2021.
- El uso de las TIC genera un impacto positivo en la productividad de la gestión del capital humano: En este punto se conoció la importancia del uso del correo electrónico y el uso de las plataformas virtuales para mantener la capacitación del personal durante la pandemia del COVID 19.
- El uso de las TIC genera un impacto positivo en la productividad del proceso logístico de la empresa: Se evidenció que la empresa cuenta con sistema para el control de inventario, pero no cuenta con los suficientes equipos tecnológicos para su adecuado funcionamiento.

## **DISCUSIÓN**

### ***Panorama general***

En el escenario nacional e internacional, existe una tendencia en reconocer la importancia de la innovación tecnológica como herramienta para mejorar la productividad de los diferentes sectores económicos; para lo cual, las empresas deben trabajar en su capacidad para lograr integrarlas en sus diversas actividades productivas y con ello lograr que las empresas desarrollen procesos automatizados

e innovadores que puedan mejorar su competitividad en el funcionamiento de sus operaciones. Ortega (2019), realizó un análisis del comportamiento de una provincia al aplicar tecnologías en los procesos productivos del sector económico que desarrollan, encontrando en ello una relación en los factores estudiados que fueron el desarrollo tecnológico y el desarrollo de la comunidad. En el estudio se demostró que la presencia de la tecnología sumado a la innovación en la reestructuración de procesos productivos de un sector, ha favorecido al incremento de la productividad de las empresas de dicho sector, lo que lleva a confirmar que, para lograr un crecimiento sostenible de un determinado sector, es necesario la incorporación de tecnología en las instituciones y en los procesos productivos.

No obstante, es importante tener en consideración lo indicado por Freyre (2019), quién concluye que existe una falta de conocimiento por parte de las empresas sobre el uso de las TIC. También indica que existe poca experiencia en la implementación de las mismas en sus procesos productivos; asimismo, que el poder acceder y realizar el uso del internet, como herramienta principal de las TIC, no asegura a las empresas obtener una ventaja competitiva, sino que es necesario crear e implementar estrategias competitivas para lograr desarrollar una ventaja competitiva. Por otro lado, se ha demostrado que el desarrollo tecnológico es un elemento importante para el crecimiento económico de un país, siempre que este se implemente con óptimas políticas nacionales de acuerdo a las características de cada país. En relación a ello, Jordá y López (2020) luego del análisis de una muestra de 90 países en desarrollo para lograr evidenciar la incidencia de las TIC en conjunto con otros factores, en el crecimiento del PBI per cápita, se ha concluido que la incorporación de las TIC tiene una influencia positiva para el PBI per cápita en países en vía de desarrollo; siempre que existan otras variables como fuentes de financiamiento, dimensión del mercado internacional, formación de proveedores locales, construcción de infraestructura, sector universitario y las exportaciones.

A su vez, marca relevancia reconocer los cambios que se han dado en el comercio internacional, puesto que es el escenario donde se desenvuelven las empresas agroexportadoras, sobre lo cual, Aranibar y Quispe (2023), señalan que la digitalización, la automatización y la inteligencia artificial han sido los elementos transformadores del comercio internacional, como se puede apreciar en el crecimiento del comercio electrónico y la evolución de las transacciones comerciales. Sin embargo, dicha transformación trae consigo desafíos que afrontar, como lo son la protección de datos y la ciberseguridad.

### ***Panorama Nacional***

En el Perú existen diversos enfoques sobre el uso de las TIC en los gremios empresariales, un ejemplo de ello es la baja adaptación de tecnología para lograr la automatización de los procesos en las empresas agroindustriales; sin embargo, también se conoce que existe conciencia sobre la importancia de su

adopción, lo que viene motivando a las empresas del sector a realizar esfuerzos para invertir en tecnologías. Así también, Benites et al. (2020) sostiene que hay una conexión entre el grado de competitividad de las empresas y su nivel de productividad. Además, los autores sostienen que para la incorporación de tecnologías en las empresas se deben integrar de forma eficaz el capital intelectual para crear una sinergia que potencie los resultados. Se infiere de ello que, la implementación debería de ejecutarse de la mano con un plan de capacitación, para así lograr aumentar el nivel de productividad e incrementar los niveles de competitividad de la empresa en el mercado.

Sumado al análisis anterior, Araujo (2021) resalta la importancia de la aplicación de estrategias administrativas y tecnológicas sin considerar el tamaño de la organización; sin embargo, un factor que sí es trascendental al momento de implementar nuevas estrategias es la disponibilidad de recursos económicos y el conocimiento técnico. Sobre ello, nuevamente se observó que el apoyo del sector público a las empresas agroindustriales puede marcar la diferencia si se promueven políticas que fomenten la capacitación técnica de las empresas, así como la accesibilidad para adoptar recursos tecnológicos.

### ***Desarrollo Tecnológico en el Sector Agroindustrial***

En este sentido, desde el análisis del sector agro, se puede observar que se han incluido diversas tecnologías para el desarrollo de sus actividades que ayudan a optimizar los recursos y a obtener mejores resultados en su producción. De esta manera, Ramón (2020) muestra que existe una gran variedad de aplicaciones de inteligencia artificial para la agricultura; sin embargo, existe también la necesidad de una legislación específica que asegure su óptima implementación. Finalmente, concluye que la adecuación de la inteligencia artificial en la agricultura tiene un efecto positivo que se orienta a mejorar la explotación y sostenibilidad de los recursos. Por otro lado, Rodríguez (2020), en su artículo de investigación “El e-commerce y las Mipymes en tiempos de Covid-19”, se observó que el desarrollo del e-commerce en las MIPYMES ha sido lento, debido a la desconfianza y desconocimiento sobre las nuevas tendencias tecnológicas; sin embargo, debido a la emergencia sanitaria por la COVID-19 las MIPYMES han adoptado forzosamente el e-commerce como una herramienta para sobrevivir y evitar el cierre de sus negocios; a pesar de ello, muchas empresas no han tenido éxito debido a la tardía reacción frente al avance tecnológico.

En referencia a la implementación de las TIC en las empresas, Pasquel (2021), en su artículo científico, describe el uso de las herramientas tecnológicas por parte de un grupo empresarial dentro del rubro de construcción, donde se resuelve que las empresas estudiadas daban mayor uso a la página web, el comercio electrónico y el correo electrónico. Dicho hallazgo le permitió concluir que dentro de las principales ventajas que se obtienen al usar las TIC, es que estas posibilitan la comunicación y una mayor

accesibilidad a información actualizada sobre mercados; por lo tanto, una mejor calidad de información de clientes y/o potenciales clientes. Al respecto, se coincide con el autor que la aplicación de herramientas tecnológicas no garantiza por defecto su beneficio, ya que esta debe estar acompañada de una planificación estratégica con objetivos específicos de conocimiento de toda la organización.

En relación a la situación que se vivió por la pandemia de la COVID-19, Ulloa (2021) buscó identificar las estrategias adoptadas por las empresas exportadoras ecuatorianas en el marco de la coyuntura generada por la COVID-19, presenta la situación vivida por un país vecino que sufrió las mismas adversidades que las empresas en el Perú. Sobre ello, se resalta que se han identificado algunas estrategias adoptadas por empresas exportadoras del sector para sobrevivir en el mercado, como la diversificación, tanto de mercados como de proveedores; asimismo, la conversión a la digitalización y la obtención de certificaciones de cumplimiento de requisitos sanitarios y productos orgánicos.

En esa misma línea, Coello (2021) presenta un estudio enfocado en las microempresas en la ciudad de Portoviejo (Ecuador), evidenció que muchas microempresas fueron afectadas críticamente en sus ventas y funcionamiento durante la emergencia sanitaria; por tal razón, gran número de ellas tuvieron que cerrar, dejando entrever que no existía cultura ni recursos que les permita adoptar tecnologías para innovar y desarrollar resiliencia ante escenarios complejos. No obstante, se logró identificar un porcentaje de microempresas que logró sobrevivir y mantenerse a flote durante la pandemia, siendo el factor común en ellas la inversión hecha en innovación tecnológica, lo que les ha permitido estar vigentes aún en el mercado.

El desarrollo del Sector Agro exportador en el Perú, como de otros sectores, es un asunto de interés nacional que ha sido abordado durante varios años y a su vez es motivo de estudio para muchas investigaciones. Sobre ello, Barrantes et al. (2022), señalan que el sector presenta cierta resistencia para realizar inversiones en innovación, tecnología, entre otras; por tal razón, este sector cuenta con un bajo nivel de productividad. No obstante, existen esfuerzos en nuestro país para llevar a cabo actividades que tienen por objetivo lograr un desarrollo del sector con inversiones en tecnologías que mejoren los procesos para lograr mejorar la producción e iniciar la exportación de los productos; adicionalmente a ello, los esfuerzos se suman a la tendencia por reducir el impacto del medio ambiente durante el proceso productivo de las empresas.

Otro artículo que respalda la información presentada es el de Molano (2022), mostró que las TIC, para las organizaciones objeto del estudio, son herramientas para el sector agropecuario que ayudan al proceso de innovación y mejoran la interacción entre los involucrados. Asimismo, se identifican dos tipos de

tecnologías, en primer lugar, la tecnología dura, que se usa en la sistematización del trabajo de campo; y en segundo lugar la tecnología blanda, utilizadas para la difusión de información usada para la toma de decisiones. Finalmente, el artículo recomienda continuar con los estudios con el objetivo de acortar las brechas de uso y conocimiento sobre las TIC en el sector agropecuario.

Específicamente sobre la crisis sanitaria, Rokibul et al. (2022) hicieron una revisión sistemática sobre los problemas que generó la pandemia de la COVID-19 para las PYMES, donde los más grandes fueron los cortes en la cadena de abastecimiento y escasez de liquidez. Al respecto es imperativo mencionar que las empresas adoptaron estrategias más rápidas, siendo una de ellas la innovación empresarial que, a pesar de las complicaciones propias de la coyuntura, se traduce en una visión de resiliencia organizacional que va permitir la adaptación de la empresa en el mercado y mantenerse en el tiempo. Sin embargo, mientras que no se implemente y se fomente dicha cultura organizacional, muchas empresas tendrán que cerrar su negocio.

Basándose en la premisa que las empresas deben implementar estrategias para afrontar situaciones complejas que ponen en riesgo su continuidad en el mercado, se tiene una propuesta desafiante de Mariani y Belitski (2023), que indican que el desarrollo tecnológico de la mano con la innovación puede ser una herramienta fundamental para establecer un enfoque de transformación continua y reconstruir una nueva ventaja competitiva cada vez que cambie el mercado. Esta propuesta implica para las organizaciones un esfuerzo constante por adaptarse a los cambios, lo que involucra la utilización adecuada de los recursos disponibles.

En referencia a la capacidad de innovación que alcanza una empresa, Tang et al. (2023) analizan el vínculo entre digitalización empresarial y la innovación en tecnologías ecológicas, también conocidas como tecnología verde. Demuestran que la adopción de la digitalización en los procesos de las empresas, esto genera condiciones para el uso de tecnología verde. Sin embargo, la relación que intentan demostrar no es exclusiva; vale decir que, existen diferentes factores que van a influir para que se logre transformar a la empresa hacia la eco-tecnología. Por lo tanto, se puede inferir que el solo uso de tecnología no garantiza una ventaja competitiva, existen otros actores dentro del proceso que deben intervenir y formar una sinergia para obtener una ventaja competitiva dentro del mercado.

Al respecto de la digitalización, Avelar et al. (2024) sustentan que para lograr un crecimiento de las pymes es necesario converger en las variables de innovación y sostenibilidad; y a su vez, para que una de las variables sea influyente en el crecimiento de la empresa, se tienen que cumplir determinadas condiciones, dentro de las cuales está contar con disponibilidad de recursos. Por otro lado, es importante tener una cultura organizacional pro-crecimiento, que permita abarcar el comportamiento y la actitud

dentro de la organización, con la finalidad de incentivar y promover el desarrollo para lograr la mejora continua y su orientación a resultados.

Según Heredia et al. (2023), la adopción de las variables mencionadas en el párrafo anterior, como son la digitalización, innovación y sostenibilidad, permiten a la organización ser más competitiva en el mercado, convirtiéndose en una empresa flexible. Asimismo, afirman que la adopción de una estrategia de diferenciación está relacionada de forma directa con la evolución de la empresa, puesto que una característica inherente de esta estrategia es la innovación, lo que resulta en una organización resiliente. De la misma forma, Santos et al. (2023), hacen mención sobre la relevancia de aplicar tecnologías emergentes para conseguir procesos eficientes, que a su vez se ven reflejados en mayor eficiencia en diferentes formas como: operativo, reducción de costos, flexibilidad ante situaciones adversas y mejora de respuesta ante desafíos ambientales. Sin embargo, también abordan las desventajas que pueden presentarse por efecto del cambio, entre los cuales se mencionan las brechas que se establecen en la capacitación técnica que deben implementar al personal y los problemas relacionados a la seguridad de la información (ciberseguridad).

En concordancia con lo anterior, Lavoye et al. (2023), demuestran que la tecnología ha permitido alcanzar un mayor nivel de ventas ingresando a diferentes nichos de mercado a través de la innovación, facilitando la acción de satisfacer las necesidades del consumidor final. El uso de tecnología de la mano con el conocimiento adquirido, son la combinación necesaria para desarrollar estrategias de diferenciación que implementadas adecuadamente posibilitan el crecimiento sostenible en el tiempo. De este modo, los autores comprobaron que la aplicación de tecnologías en los procesos de las organizaciones, es el medio idóneo para obtener mejores resultados que ayuda a conseguir nuevas ventajas en el mercado.

Finalmente, Ludeña (2024) describe cuáles son los más grandes desafíos que enfrentan las empresas de Latinoamérica ante una Industria 4.0, considerando los siguientes retos: cambios demográficos, diversificación acelerada, y el desarrollo apresurado de la tecnología. Para ello, se propone continuar apostando por la inversión en proyectos de ciencia, tecnología e innovación (CTI), que sean promovidas por políticas públicas nacionales y regionales que tengan como objetivo incrementar la competitividad de Latinoamérica.

### ***Planificación estratégica pos pandemia***

Se puede considerar que se obtiene una mejora significativa en el proceso productivo de las empresas siempre que se incorporen al proceso nuevas tecnologías que permitan acercarse a la automatización y digitalización; sin embargo, no basta la sola adopción de tecnologías en procesos si se busca alcanzar un

impacto alto en el nivel de competitividad de la empresa dentro del mercado, también es necesario aplicar estrategias muy bien diseñadas para su correcta aplicación.

Estos hechos son una parte fundamental de la gestión de innovación tecnológica, como lo sustenta Flores et al. (2019), dicha gestión engloba todo proceso en el que la empresa implementa tecnologías para obtener mejores resultados, relacionados a sus productos y/o servicios; así también, éste nuevo enfoque de gestión consiste en aplicar tecnologías de manera concreta y en buscar el mejor camino para una implementación estratégica. Considerando estas sugerencias se puede establecer un plan de acción debidamente organizado, incentivar la colaboración entre las diferentes áreas y aprovechar el correcto uso de recursos, que finalmente de manera progresiva permitirá instaurar en la empresa una cultura de innovación.

Por consiguiente, se puede afirmar que las empresas no solo enfrentan el gran desafío de adaptarse a un mercado altamente cambiante; sino también, al reto de poner a prueba su capacidad de innovación enfocada en la mejora continua de sus procesos alineado a sus objetivos estratégicos. Tal es así que, enfocándose en el sector agrícola, la incorporación de las TIC debe ser de interés nacional, considerando que para su aplicación se debe elaborar un plan estratégico debidamente diseñado. Dicho esto, como se viene indicando a lo largo del artículo, se puede confirmar que la formulación de las estrategias de innovación debe estar alineada con las características y objetivos de cada empresa, si se espera obtener un impacto positivo que motive la adopción de tecnologías con las condiciones propicias para obtener su máximo provecho.

Además, se ha demostrado que la implementación de TIC favorece a la explotación eficiente y sostenible de los recursos, lo que se impacta directamente en mejorar los resultados de los indicadores de producción. Esto se traduce en que las empresas del sector agro industrial que anhelan mantener un equilibrio entre la reducción en sus costos de producción y mantenerse vigentes durante el tiempo, deben de potenciar su principal actividad mediante la adecuación de tecnología acorde a sus necesidades.

Por otro lado, como demostró Ulloa et al. (2021), para mantenerse vigente en el tiempo y especialmente para afrontar situaciones extremas como la pandemia, las empresas del sector deben adoptar estrategias de diversificación; lo que lleva a concluir que, se vuelve fundamental para las empresas agroindustriales invertir en tecnología adquiriendo maquinaria y equipos que les permita darle un valor agregado a sus productos, de tal manera que, les permita diseñar estrategias de diversificación.

Así mismo, la estrategia de diversificación no solo aplica a los productos, sino también aplica para clientes, proveedores, entre otros. En la misma línea, Coello et al. (2021) concuerdan que es casi una

obligación para las empresas adoptar como parte de sus políticas la innovación continua, con lo cual podrán contar con herramientas para proteger sus operaciones de situaciones retadoras que pueden desestabilizar y provocar su quiebre.

## CONCLUSIONES

1. Existe una relación directa entre el uso de las TIC y la productividad de las empresas agroexportadoras peruanas durante el tiempo de pandemia; adicionalmente a ello, es importante implementar un plan estratégico integral que forme una cultura innovadora en las empresas y esta sea una base para desarrollar una capacidad de resiliencia.
2. Existen extensiones de terrenos agrícolas no explotados y un gran potencial en recursos agrícolas que se deben desarrollar; Por lo cual, resulta necesario dar prioridad a cada una de las directrices planteadas para lograr potenciar nuestra producción, tanto en cantidad y calidad, que de la mano con la tecnología se puede alcanzar una renovada canasta exportadora con mayor valor agregado, lo cual se traduce al diseño de una estrategia de diversificación.
3. Considerar indicadores como: el nivel de ventas, la gestión del capital humano, los costos de producción, la operatividad, la conectividad, entre otros, posibilita evaluar el grado de competitividad de las empresas; es decir, el nivel de productividad de cada área clave. Por ello, para implementar las TIC es fundamental adoptar estrategias alineadas con los objetivos específicos y generales de la organización, los cuales van a estar forzosamente asociados a cada uno de estos indicadores.
4. Es importante realizar un análisis previo a la situación de las empresas, con ello determinar sus fortalezas y debilidades en los que se debe trabajar, y en base a ello, realizar el diseño de las estrategias acorde con los objetivos que se buscan alcanzar. Asimismo, se debe considerar el entorno macroeconómico donde se desenvuelven, el cual juega un rol elemental, pues entenderlo puede ser la pieza clave para continuar en el mercado o ser excluido de él. Por lo cual se puede aseverar que aquellas empresas que no se adaptan al cambio, no lograrán sobrevivir en este mundo globalizado.
5. El uso eficiente de las TIC, mediante estrategias bien planificadas y adaptadas a las particularidades de cada empresa, puede contribuir a lograr ventajas competitivas en un mercado en constante transformación, proporcionando además el apoyo necesario para enfrentar situaciones de gran complejidad. Sin embargo, para alcanzar altos niveles de productividad, es indiscutible que se debe adoptar nuevas tecnologías que se ajusten a las necesidades de las empresas, sin perder del horizonte la importante que tiene la capacitación técnica al capital humano, dado que la tecnología por sí sola no genera mayor rentabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranibar, E. R., y Quispe, A. D. (2023). Exploración del comercio global: una revisión integral del comercio internacional y el comercio exterior. *Quipukamayoc*, 31(66), 85-100. Epub 31 de diciembre de 2023. <https://dx.doi.org/10.15381/quipu.v31i66.25573>
- Araujo, W. E. (2021). Lecciones aprendidas y futuras estrategias empresariales a un año de la pandemia. *Quipukamayoc*, 29(60), 89-96. Epub 31 de agosto de 2021. <https://dx.doi.org/10.15381/quipu.v29i60.19975>
- Avelar, S., Borges-Tiago, T., Almeida, A., y Tiago, F. (2024). Confluence of sustainable entrepreneurship, innovation, and digitalization in SMEs. *Journal of Business Research*. 170 (2024) 114346. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114346>
- Barrantes Mann, G., Vargas Aspillaga, J., y Lear Scoth, W. (2022). Planeamiento estratégico en la agroindustria del Perú. *Revista Latinoamericana De Difusión Científica*, 4(7), 99-111. <https://doi.org/10.38186/difcie.47.08>
- Benites Gutierrez, Luis Alberto et al. (2020). Análisis de los factores de competitividad para la productividad sostenible de las PYMES en Trujillo (Perú). *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, ISSN 1886-516X, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, Vol. 29, <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.3513>.
- Coello, D., Santander, K., Zambrano, W., y Cedeño, J. (2021). Innovación tecnológica y su impacto en el desarrollo de las microempresas por covid-19. *Ciencia Latina. Revista Multidisciplinar*. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i4.641](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i4.641)
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Estudio Económico de América Latina y el Caribe, 2021 (LC/PUB.2021/10-P/Rev.1), Santiago, 2021.
- Flores F., Ramos R. P., Ramos, F., y Ramos, A. M. (2019). Gestión de innovación tecnológica y globalización como factores impulsores de la calidad de servicio y competitividad. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(88), 201-216.
- Freyre, F. (2019). Tecnologías de la comunicación e información y su impacto en las estrategias competitivas de las micro y pequeñas empresas. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. *Repositorio institucional Cybertesis UNMSM*. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10353/Freyre\\_vf.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10353/Freyre_vf.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Frias, G. (2011). Utilidad de las revisiones sistemáticas. *Med Cutan Iber Lat Am*; 39(2):39-40. <https://xdoc.mx/preview/utilidad-de-las-revisiones-sistematicas-medcutan-5f53f63bc2799>
- Galo, E. (2017). Las TICs en las empresas: evolución de la tecnología y cambio estructural en las organizaciones. Vol. 4, núm. 1, *Revista Dominio de las Ciencias*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6313252>
- García, S., Ramírez, C., Viera, J., Valdivieso, E., y Vivas, L. (2018). La agricultura por un desarrollo a través del uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, año VI, Edición especial, Artículo N° 35. <https://dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/794/1199>

- Heredia, J., Geldes, C., Hunc, M., y Flores, A., (2023). The effect of local institutions on the competitive strategies of exporters. The case of emerging economies in Latin America. *Journal of Business Research*. 169 (2023) 114256. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114256>
- Hernández Laos, E. (2005). La productividad en México: Origen y distribución, 1960-2002. *Economía UNAM*, 2(5), 7-22. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-952X2005000200001&lng=es&tylng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-952X2005000200001&lng=es&tylng=es).
- Jordá, R., López, J. (2020). Factores de crecimiento económico en los países en desarrollo: el papel de las TICs. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. <https://doi.org/10.21138/bage.2979>
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, 33(2004), 1-26. <http://testszingarelli.googlecode.com/svnhistory/r336/trunk/2-Artigos-Projeto/RevisaoSistematica/Kitchenham-Systematic-Review2004.pdf>
- Lavoye, V., Tarkiainen, A., Sipilä, J., y Mero, J. (2023). More than skin-deep: The influence of presence dimensions on purchase intentions in augmented reality shopping. *Journal of Business Research*. 169 (2023) 114247. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114247>
- Larrea, H., Ugaz, C. y Flores, M. (2018). El Sistema de agronegocios en el Perú: de la agricultura familiar al negocio agroalimentario. *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. 43, 2018. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14158242001>
- López, R. (2019), Uso estratégico de las TIC's para mejora de la competitividad de las empresas grandes y medianas del Perú. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. *Repositorio institucional* *Cybertesis* *UNMSM*. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10145/Lopez\\_gr.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10145/Lopez_gr.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Ludeña Hernández, M. D., (2024). Principales desafíos que enfrenta América Latina bajo la Industria 4.0. Los proyectos de ciencia, tecnología e innovación ¿una alternativa viable? *Economía y Desarrollo*, 168(1). <https://www.redalyc.org/journal/4255/425577490007/html/>
- Mariani, M., Belitski, M., (2023). The effect of coepetition intensity on first mover advantage and imitation in innovation related coepetition: Empirical evidence from UK firms. *European Management Journal*. 41 (2023) 779–791.
- Molano, L., Tibaduiza, L., Aguilera, G., Cañar, D., y Barberá, J., (2022). Las TIC como herramientas para la transferencia de tecnología y gestión del conocimiento en el sector agropecuario. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(1), 88-95. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/522>
- Organización Internacional del Trabajo. (2020). Impulsando la productividad: Una guía para organizaciones empresariales. *OIT*. <https://www.ilo.org/>
- Ortega L. (2019), Producción científica tecnológica del cacao fino de aroma y la brecha de desigualdad social en la provincia de Manabí. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. *Repositorio institucional* *Cybertesis* *UNMSM*. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10534/Ortega\\_al.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10534/Ortega_al.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Pasquel, A. F. et al. (2021). Application of information and communication technologies in the development of Micro and Small enterprises. *Conrado*, 17(80), 41-47. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442021000300041&lng=en&tylng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442021000300041&lng=en&tylng=en).

- 
- Ramón, F. (2020). Inteligencia artificial y agricultura: Nuevos retos en el sector agrario. *Campo Jurídico*. <https://dx.doi.org/10.21902/jbslawjbs.v13i1.67>
- Rincón de Parra, H. (2001). Calidad, Productividad y Costos. *Actualidad Contable FACES*. Año 4 No. 4, Enero-Junio. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25700405>
- Rodríguez, K., Ortiz, O., Quiroz, A., y Parrales, M. (2020). El e-commerce y las Mipymes en tiempos de COVID-19. *Revista Espacios*, vol. 41(42). <https://revistaespacios.com/a20v41n42/a20v41n42p09.pdf>
- Rokibul, M., Akther, F., y Sultana, M. (2022). SMEs in Covid-19 Crisis and Combating Strategies: A Systematic Literature Review (SLR) and A Case from Emerging Economy. *Operations Research Perspectives*. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100222>.
- Santos, K., Pilamunga, E., Villarreal, D., y Ortiz, L. (2023). Integración de tecnologías emergentes en el diseño industrial para una gestión más eficiente del transporte y la logística. *Polo del Conocimiento*. (Edición núm. 85) Vol. 8, No 9. DOI: 10.23857/pc.v8i9.6077
- Tang, L., Jiang, H., Hou, S., Zheng, J. y Miao, L., (2023). The Effect of Enterprise Digital Transformation on Green Technology Innovation: A Quantitative Study on Chinese Listed Companies. *Sustainability*, 15, 10036. <https://doi.org/10.3390/su151310036>
- Ulloa, N., Fajardo, V., González, M., Solórzano, S., (2021). Estrategias post COVID-19: Desafíos para las empresas exportadoras de productos tradicionales. *INNOVA Research Journal*, 6(2), 180-195. <https://doi.org/10.33890/innova.v6.n2.2021.1636>.
- Thompson, A. y Strickland, A. (2004). Administración Estratégica. Textos y casos. (13ava edición). *Editorial Mc Graw Hill Interamericana de México*.

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

### **La sombra ambiental de la carne: desafíos y soluciones para un futuro sostenible**

### **The environmental shadow of meat: challenges and solutions for a sustainable future**

Jhonsson Quevedo<sup>1</sup>, André Rodríguez<sup>1</sup> y Miriam Alcoser<sup>1</sup>

#### **RESUMEN**

La creciente demanda global de carne ha generado una profunda crisis ambiental, económica y social. Donde la producción intensiva, el sacrificio y la distribución, generan un gran impacto medioambiental, debido a la elevada huella hídrica, la deforestación y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen a la pérdida de biodiversidad. El objetivo de esta revisión es analizar los desafíos y posibles soluciones para un futuro sostenible en la industria cárnica, destacando la urgencia de transitar hacia sistemas alimentarios más responsables, debido a que se fluctúa 1.85 kg de CO<sub>2</sub> por kilogramo de carne y además su consumo produce el 84 % de carcinoma hepatocelular. Por otra parte, se exploran prácticas agroecológicas como la gestión eficiente del estiércol, el uso de biodigestores para generar energía renovable, el compostaje para la inactivación de patógenos en residuos avícolas, la utilización de larvas de mosca soldado negra como fuente alternativa de alimentos para animales y la promoción de alternativas vegetales como sustituto de la carne. Se concluye que la transformación hacia un sistema alimentario sostenible requiere un cambio cultural, así mismo emplear diversas estrategias que contribuyan a reducir el impacto ambiental.

**Palabras clave:** Carne, impacto ambiental, mitigación, emisiones, agroecología.

#### **ABSTRACT**

The increasing global demand for meat has led to a profound environmental, economic, and social crisis. Intensive production, slaughter, and distribution have a significant environmental impact due to the high water footprint, deforestation, and greenhouse gas (GHG) emissions, which contribute to biodiversity loss. The objective of this review is to analyze the challenges and potential solutions for a sustainable future in the meat industry, emphasizing the urgency of transitioning toward more responsible food systems. It is estimated that meat production generates approximately 1.85 kg of CO<sub>2</sub> per kilogram of meat, and its consumption is associated with 84% of hepatocellular carcinoma cases. Additionally, this study explores agroecological practices such as efficient manure management, the use of biodigesters to generate renewable energy, composting for pathogen inactivation in poultry waste, the utilization of black soldier fly larvae as an alternative animal feed source, and the promotion of plant-based alternatives as meat substitutes. It is concluded that transitioning to a sustainable food system requires a cultural shift and the implementation of various strategies to reduce environmental impact.

**Keywords:** Meat, environmental impact, mitigation, emissions, agroecology.

\* Autor para correspondencia

---

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Email: [jquevedol@unc.edu.pe](mailto:jquevedol@unc.edu.pe), [arodriguezl@unc.edu.pe](mailto:arodriguezl@unc.edu.pe), [malcoserl@unc.edu.pe](mailto:malcoserl@unc.edu.pe)

## INTRODUCCIÓN

El aumento en la producción y consumo de carne vienen generando impactos ambientales que resultan siendo cada vez más alarmantes. La industria ganadera es responsable del 14.5% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). Este hecho suma activamente al calentamiento global y la degradación ambiental (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022). Además, para poder producir carne en condiciones óptimas se requiere un consumo masivo de recursos hídricos. Se estima que para producir 1 kg de carne de res se necesitan 15,700 litros de agua, lo que ejerce una presión considerable sobre los ecosistemas hídricos (Mekonnen y Hoekstra, 2012). En conglomerado se forma una demanda enorme de recursos que son insostenibles a largo plazo y agravan la escasez de agua en diversas regiones del mundo (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2023).

Al mismo tiempo, la expansión de la ganadería resulta ser un factor determinante en la deforestación global. En la Amazonía, aproximadamente el 80% de la deforestación se encuentra directamente relacionada con la conversión de tierras para pastoreo de ganado (Foro Mundial para la Naturaleza [WWF], 2022). Entre 2001 y 2020, se registra una pérdida de 43 millones de hectáreas de bosques tropicales. Esto redujo la capacidad del planeta para capturar dióxido de carbono y aceleró el proceso de cambio climático (Global Forest Watch, 2023). Como punto adicional, la disminución de la biodiversidad y la degradación del suelo son consecuencias directas de este fenómeno, la falta de su control por parte de los gobiernos ha terminado perjudicando la estabilidad de los ecosistemas.

En América Latina, la producción ganadera representa un pilar económico, pero al mismo tiempo, una amenaza ambiental. Países como Argentina han experimentado un aumento del 20% en la producción de carne bovina en la última década. Estos datos muestran una correlación directa con la degradación de suelos y el aumento de las emisiones de GEI (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2023). En México, el sector ganadero consume el 40% del agua destinada a la agricultura, lo que genera conflictos en el acceso a este recurso vital (Esquivel y Salgado, 2020). En Colombia, la implementación de sistemas silvopastoriles ha logrado reducir en 35% las emisiones de carbono en la producción de carne, demostrando que la adopción de prácticas sostenibles es viable (Charry et al., 2019).

El contexto peruano no es ajeno a estos problemas. En los últimos años, el consumo de carne en este país ha venido en un aumento considerable. Los valores de consumo han llegado a alcanzar el 25 kg per cápita en 2023, con la carne de pollo representando el 60% del total (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2023). Esta creciente demanda ha llevado a que la producción ganadera se haga más intensa. Lo que deriva en problemas ambientales como el vertimiento de residuos

sin tratamiento en ríos y la emisión de contaminantes al aire. Se estima que la industria cárnica es responsable del 20% de la huella hídrica del sector agropecuario y una de las principales fuentes de contaminación del agua en el país (Consejo Nacional del Ambiente [CONAM], 2023).

En la sierra del país, donde la ganadería es una actividad económica clave, el impacto ambiental resulta ser más notable. En Puno, la cría de ganado viene provocando la disminución del 35% de la cobertura vegetal en los últimos 20 años, afectando la calidad del suelo y la disponibilidad de agua (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2022). En Cusco, el crecimiento del turismo ha incrementado la demanda de carne, lo que ha derivado en un aumento de la contaminación por desechos animales en fuentes hídricas naturales (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2023). A nivel local, en Cajamarca, el 75% de los residuos generados en mataderos municipales no recibe tratamiento adecuado, lo que contribuye a la contaminación de los ríos y afecta la salud pública (Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria [DIGESA], 2023).

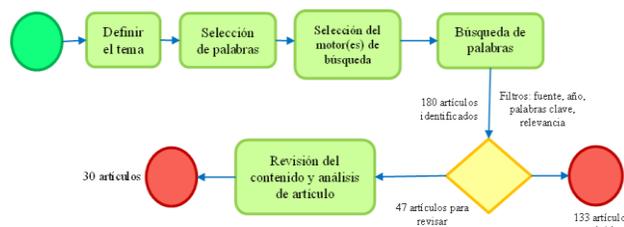
Esta investigación busca concientizar sobre la importancia de dar un paso al frente y adecuar sistemas de Gestión Ambiental (SGA) en la industria cárnica, con el fin de que poco a poco se pueda reducir el impacto ambiental y optimizar el uso de recursos en la empresa en cuestión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo esta investigación, se utilizó un enfoque basado en la revisión de literatura, enfocado en el análisis de publicaciones relacionadas con un tema específico, que en este caso fue el estudio de artículos científicos sobre el impacto ambiental producido por la industria cárnica y las estrategias que se están implementando para mitigarlo. De acuerdo con la naturaleza del estudio, como se muestra en la Figura 1, se examinaron trabajos con diferentes enfoques metodológicos, abarcando tanto investigaciones de carácter cualitativo como cuantitativo.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo de la metodología de búsqueda para una revisión literaria.*



Para la realización de esta revisión literaria, se establecieron criterios rigurosos para asegurar la relevancia y calidad de los artículos seleccionados. Los criterios de inclusión abarcaron estudios

publicados sólo los años 2015 y 2024, relacionados con el impacto ambiental de la industria cárnica y estrategias de mitigación, considerando metodologías descriptivas, exploratorias y explicativas.

Se descartaron artículos que no trataran específicamente el impacto ambiental de la industria cárnica o estrategias para mitigarlo y estudios con metodologías poco detalladas o datos no verificables. La selección comenzó con una búsqueda en bases de datos académicas como PubMed, Science Direct, Scielo y Redalyc, utilizando términos específicos como “Environmental impact of meat”, “Carbon footprint of meat”, “Environmental strategies of the meat industry” y operadores booleanos. De 180 artículos iniciales, se realizó una revisión preliminar de títulos y resúmenes para descartar los que no cumplían con los criterios. Se revisaron detalladamente los artículos seleccionados para evaluar su calidad metodológica y relevancia. Finalmente, se seleccionaron 30 artículos considerados los más relevantes y de alta calidad, que proporcionaron una base sólida para el análisis. Como punto final, se respetaron los principios éticos del Código de Ética de la Investigación Científica, con referencias adecuadas a los autores y tratamiento de datos conforme a criterios de integridad científica.

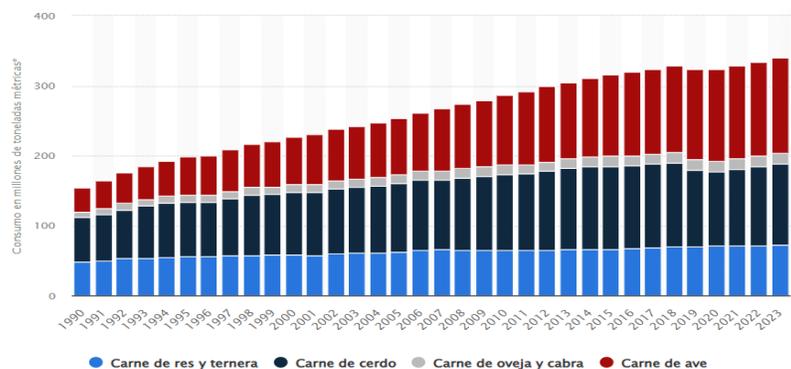
## RESULTADOS

### *Diagnóstico actual*

Haciendo una evaluación del estado del arte, tal como se muestra en la Figura 2 se observa que el consumo mundial de carne ha aumentado considerablemente desde 1990, superando el doble de su nivel en 2023, alcanzando aproximadamente 340 millones de toneladas métricas (Orús, 2024).

**Figura 2**

*Consumo de carne a nivel mundial.*



*Nota.* El gráfico representa el volumen de carne consumida a nivel mundial (en millones de toneladas) de 1990 a 2023. Tomado de Orús (2024).

La carne de ave ha superado a la de cerdo y la res como la mundialmente más consumida. Pasando de 34.6 a 135.5 millones de toneladas entre 1990 y 2023 debido a su bajo costo y menor impacto ambiental (FAO, 2004). Un punto para tener en cuenta es su crianza masiva, la cual no solo cruel sino también genera desafíos en sostenibilidad y bienestar animal. Es un hecho que el crecimiento

poblacional ha impulsado la ganadería, con 80,000 millones de animales sacrificados anualmente y 340 millones de toneladas de carne producidas, de las cuales el 2.4% se desperdicia (Whitton et al., 2021; Organización Mundial de Sanidad Animal, 2024). Se espera que en el 2025 la producción de pollo alcance 139.19 millones de toneladas, mientras que el consumo per cápita global se estabilizará en 34.6 kg para 2026 (Weiblen y Domínguez, 2022; OCDE-FAO, 2017).

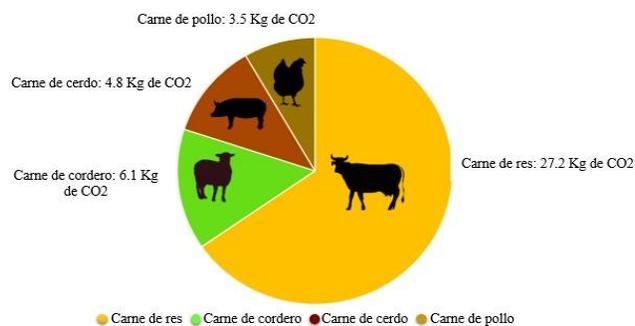
Aunque representa menos del 20% de la energía alimentaria mundial, la ganadería es responsable de 12%-18% de las emisiones de GEI, ocupa el 70% de las tierras agrícolas, y consume más de una cuarta parte de la huella hídrica global (Nguyen et al., 2019). Su impacto ambiental resulta siendo alto, especialmente en el sacrificio y procesamiento, donde se vienen generando elevados residuos y alto consumo de agua (Arteaga y Pasquali, 2013; Esquivel et al., 2020).

La huella hídrica de la carne varía: 550-700 litros por kg de res, 450 litros por kg de cerdo, 300 litros por kg de pollo, mientras que los productos vegetales requieren hasta 1.5 veces menos agua (Confederación de Asociaciones de Frisona Española [CONAFE], 2022; Lozano et al., 2023). Lo curioso es que, en algunos países, la carne es incluso más barata que un metro cúbico de agua potable, reflejando una gestión insostenible de los recursos hídricos. A esto se suma la huella de carbono, donde el metano (CH<sub>4</sub>) representa 55%-92% de las emisiones de la ganadería (Tedeschi, 2024). La carne de res genera entre 23.4 y 27.2 kg de CO<sub>2</sub>/kg, la de cordero 26.1 kg, mientras que pollo y cerdo solo 3.5 y 4.8 kg de CO<sub>2</sub>/kg, respectivamente (González et al., 2020; Acosta, 2017) (Figura 3).

El alto consumo hídrico y las emisiones de GEI hacen de la industria cárnica un sector de gran impacto ambiental. Para mitigar sus efectos, es clave repensar los modelos de producción mediante sistemas agroecológicos, biodigestores y mejor gestión del estiércol, reduciendo así su huella ecológica.

**Figura 3**

*Cantidad en kg de CO<sub>2</sub> equivalente a cada kg de carne de pollo, cerdo, res y cordero*



Hoy en día se están aplicando varias estrategias, como mejorar la eficiencia de la producción, optimizar procesos, reducir el desperdicio de alimentos, cambiar patrones comerciales y modificar la estructura de la dieta (Xue et al., 2019). Según Yoon et al. (2024) mencionan que en los Estados Unidos la

Agricultura Animal Sostenible (SAA) se basa en prácticas ambientalmente amigables que equilibran los aspectos económicos, sociales y ambientales; con apoyo gubernamental y tecnológico han impulsado la transformación hacia la SAA. Por otro lado, Corea del Sur enfrenta desafíos significativos en su transición hacia la SAA, centrándose en estrategias que integren bienestar animal, reducción de emisiones y reciclaje natural, particularmente en respuesta a las demandas del mercado y los compromisos de neutralidad de carbono para el 2050, además, el gobierno está implementando una serie de medidas que incluyen incentivos económicos y regulaciones estrictas para fomentar la innovación en prácticas sostenibles, asegurando así la competitividad del sector agrícola en un entorno global cada vez más exigente (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs [MAFRA], 2022).

#### *Impacto ambiental de la producción animal y sus estrategias para mitigarlo*

De acuerdo con Kalhor et al. (2016) en su investigación realizaron una evaluación del ciclo de vida (ACV) sobre la carne, en ello describen que la producción agrícola hizo una gran contribución a los impactos ambientales, donde la cría de cerdos, aves de corral y los pollos de engorde genera menores emisiones que la cría de ganado vacuno, ovino y lechero. Se estima que la cadena avícola produce 0,6 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por año (Rosas y Aguilar, 2022). Además, el requerimiento de alimento de los pollos es menor que el de los cerdos y la carne vacuna. Así mismo, las granjas de producción animal emiten amoníaco y partículas al medio ambiente. Donde, más del 53% de las emisiones de gases de efecto invernadero de nuestro sistema alimentario están asociadas con la producción de alimentos de origen animal y la producción de carne. Los desechos resultantes de la acumulación de estiércol provocan emisiones de metano (CH<sub>4</sub>), por lo cual se están implementando soluciones, como la gestión del estiércol creando un ciclo beneficioso que incrementa la fertilidad del suelo y promueve el crecimiento de las plantas; permitiendo que este residuo cumpla con un doble propósito: servir como fertilizante natural, reduciendo la dependencia de fertilizantes sintéticos y transformarse en biogás, generando calor y electricidad (Nguyen y Mogensen, 2019). La implementación de biodigestores que utilizan estiércol porcino como biomasa principal, logran mejorar los rendimientos económicos y contribuir al cuidado ambiental. Esta tecnología es considerada altamente eficiente y renovable, de igual manera es útil para generar electricidad, además de calor en instalaciones porcinas y comunidades cercanas (González y Reyes, 2023).

De igual manera, se utiliza el estiércol seco de las aves para inactivar microorganismos patógenos mediante el proceso de compostaje durante 120 horas, utilizando la relación de carbono/nitrógeno, C/N 25 por 25.31, 40.42 y 34.27% y C/N 35 por 44.61, 12.90 y 42.50% de paja de frijol, forraje fresco de sorgo y estiércol seco, respectivamente (Torres, 2023). La inactivación de *E. coli* y de *Salmonella*

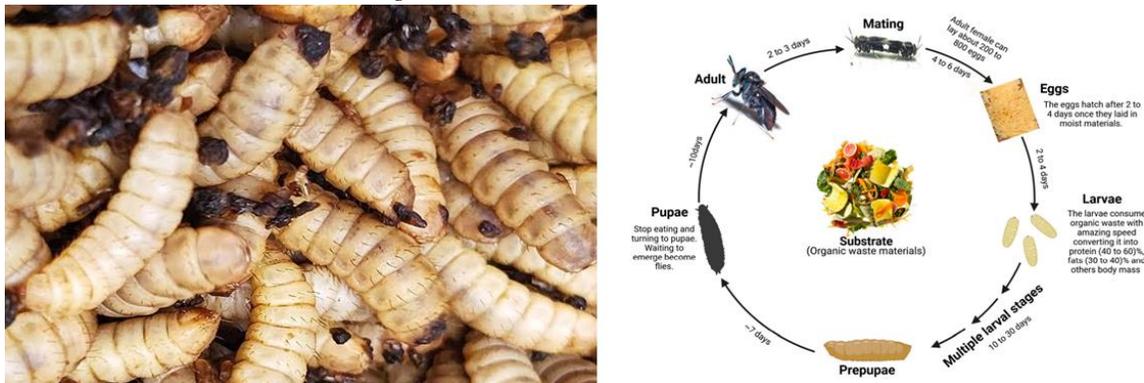
*Typhimurium* sucede a temperaturas sostenidas entre 50 y 70 °C, este proceso es una tecnología eficiente para la eliminación de los residuos avícolas.

#### Estrategias para mitigar los cultivos extensivos

La deforestación se produce a causa de cultivos extensivos de alimentos para los animales, como las aves, pero actualmente se están utilizando sustitutos que reemplacen el alimento de pollos de engorde, como son las larvas de la mosca soldado negra (BSFL), *Hermetia illucens*.

**Figura 4**

*Larvas de la mosca soldado negra.*



Nota. Tomado de Salahuddin et al. (2024).

Como se muestra en la Figura 4, estas larvas son originarias de América del sur, se desarrollan a temperatura entre 25 a 30°C, pueden crecer hasta 27 mm de longitud y pesar 220 mg, sus niveles de proteína puede variar de 32% a 53%, dependiendo de la etapa de crecimiento y su dieta. Se ha demostrado que la inclusión de las larvas en las dietas ofrece una fuente de aminoácidos esenciales para mejorar las tasas de crecimiento, la eficiencia alimentaria, el desarrollo muscular y la calidad de la carcasa en los pollos. La quitina, componente esencial de las larvas, forma parte de su estructura en un promedio de 6,17% (Salahuddin et al., 2024).

El ciclo de vida como se visualiza en la Figura 4, comienza con la puesta de 200 a 800 huevos por parte de la hembra adulta, los cuales eclosionan después de 2 a 4 días. Las larvas, emergentes de los huevos, consumen desechos orgánicos. Pasado 10 días, las moscas adultas emergen de las pupas, para aparearse en 2 a 3 días, continuando así el ciclo. Este recurso natural y cultivable resulta ser una fuente de proteína en la nutrición de los pollos, ya que su producción contribuye a la gestión sostenible de residuos y a la reducción del impacto ambiental en la industria avícola.

Asimismo, se están implementando sistemas silvopastoriles (SPS) en Colombia, la cual presenta una oportunidad para intensificar de manera sostenible la producción de carne de res, reduciendo las emisiones GEI y mejorando la productividad del suelo, ya que los árboles ayudan a estabilizar los suelos aumentando su fertilidad, mientras que los forrajes mejorados proporcionan una mayor biomasa

y calidad nutricional, considerando el manejo optimizado de ganado que promueve una mayor actividad biológica y recuperación de tierras degradadas. Beneficia el bienestar animal, ya que proporciona sombra ayudando a reducir el estrés térmico y mejorando la calidad de los forrajes (Charry et al., 2019).

#### *Impacto ambiental del procesamiento cárnico y el aprovechamiento de subproductos generados*

El sector de procesamiento cárnico es considerado como uno de los más contaminantes del macro sector alimentario, debido a que produce una elevada cantidad de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, a esto se suma la elevada huella hídrica utilizada en la limpieza de las instalaciones y la preparación del producto (Arteaga y Pasquali, 2013). Esta cifra es mayor en los países de México con un 50 % y EE.UU. con un 28 % aproximadamente (Esquivel y Salgado, 2020).

Actualmente se están buscando soluciones de aprovechamiento, donde el  $16,34 \pm 1,4\%$  de los subproductos de animales como recortes de carne bovina sub aprovechadas, vísceras, piel, grasa y sangre, son destinados a productos de mayor valor agregado como embutidos, manteca, snacks, harinas, fármacos y jabones, lo cual representa una oportunidad significativa para reducir el desperdicio de alimentos promoviendo la sostenibilidad (Trujillo, 2022).

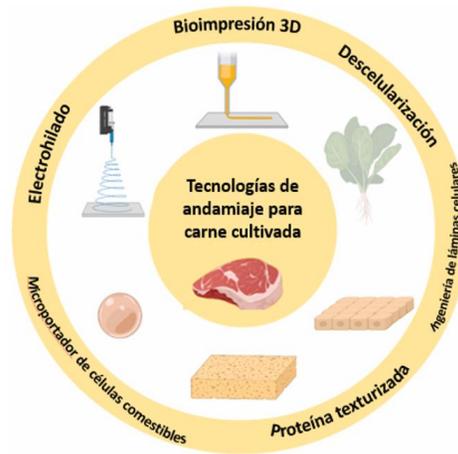
Así mismo, se está utilizando los subproductos del sacrificio porcino, como la cabeza y la lengua, para crear productos cárnicos de tipo Mosaico como una fuente rica en proteínas la cual es una alternativa viable para la industria cárnica y así contribuir a la reducción de los desperdicios (Cepero et al., 2016). Por otra parte, la sangre contiene un alto nivel proteico y aminoácidos esenciales que podrían ser benéficos en la dieta humana. Sin embargo, este residuo suele arrojarse a ríos o lagos cercanos sin ningún tratamiento previo, lo cual evidentemente es un foco de contaminación y una alternativa es utilizarlos para la obtención de otros productos como la harina de sangre o sintetizantes biomateriales (geles) los que actualmente se está utilizando en sustituciones parciales, por ejemplo, en empanizadores para fritura de pechugas de pollo (Pelcastre et al., 2018).

#### *Impacto del consumo de carne y estrategias de mitigación*

Según Whitton et al. (2021) el crecimiento de la población humana requiere 340 millones de toneladas de carne de res para su consumo, sumándose el 2,4% de carne desperdiciada (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2024). Por otra parte, el consumo mundial de pescado equivale al 85%, con una tasa media de crecimiento anual del 3,2% (Rosas, 2012). Además, resulta importante hacer la mención de que el consumo de cerdo se encuentra alrededor del 37%, lo que equivale a 110 (mmT) millones de toneladas métricas en algunas partes del mundo (Glone, 2013). Y con respecto a la producción mundial de carne de pollo, se estima un crecimiento de 139,19 millones de toneladas para el año 2025 (Weiblen y Domínguez, 2022).

**Figura 5**

*Tecnologías de andamiaje para la ingeniería de carne cultivada*



*Nota.* Tomado de Levi et al. (2022).

Por tanto, resulta imperativo el buscar alternativas que se desarrollen en paralelo con la producción mundial de carne. En la bibliografía estudiada se tiene por ejemplo el cultivo de carne en “laboratorios”. Este proceso inicia con el aislamiento de algunas células de animales de granja vivos mediante una biopsia, seguida de su expansión en biorreactores para producir una masa celular sustancial; luego para crear una estructura de tejido similar al músculo, como se observa en la Figura 5, las células se cultivan en un andamio comestible que sustenta estructural y biológicamente su ensamblaje (Levi et al., 2022).

Palasca y Qaim (2022) mencionan que una solución clave para reducir estos impactos es promover el desarrollo de alternativas vegetales, que imitan las características que presenta la carne, estos están hechos principalmente de soja, arroz o maíz, cáscara de plátano, entre otros. Además, otras alternativas posibles son los insectos en sustitución de las proteínas derivadas de los animales y la creación de carne mediante técnicas de ingeniería de tejido (Rodríguez y Guzmán, 2023).

González et al. (2020), en congruencia con la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC), recomiendan reducir significativamente el consumo de carnes rojas y productos cárnicos, dado que el consumo excesivo tiene impactos negativos en la salud humana, como son el cáncer colorrectal, enfermedades cardiovasculares, emisiones de gases de efecto invernadero, escasez de agua y contaminación. Así mismo en EE. UU. realizaron un estudio destinado a dilucidar la posible relación entre la ingesta de carne y el carcinoma hepatocelular, donde se mostraron que un mayor consumo de carne roja se asoció con un mayor riesgo del 84% de sufrir carcinoma hepatocelular, mientras que la ingesta de carne blanca redujo hasta un 39% el riesgo de este carcinoma. Por otra parte,

una reducción del consumo de carne debería contribuir a la reducción de las emisiones de GEI y su impacto en el calentamiento global y la salud climática. Además, una serie de estudios realizados en los últimos años han demostrado el importante aporte a los indicadores de huella de carbono a la que contribuyen las carnes rojas, siendo responsables del 40% de las mismas (Abarca et al., 2024).

Por otro lado, los consumidores en Cali, región de Colombia están dispuestos a pagar hasta un 51 % más por carne de res certificada bajo estándares de sostenibilidad ambiental y bienestar animal. Tras recibir información sobre los impactos ambientales, hubo un incremento adicional del 9.88 % cuya cifra es mayor entre consumidores con niveles altos de educación e ingresos. De tal manera, un 70 % de los encuestados indicó que está dispuesto a pagar más por carne de menor impacto ambiental, con un promedio de USD 0.34 por libra, mostrando una variación significativa entre las respuestas (Charry et al., 2019)

#### *Inicio del cambio: empresas y países que contribuyen a la reducción del impacto ambiental a nivel mundial*

Una de las empresas más reconocidas a nivel global (McDonald's) ha implementado soluciones desde el 1989 para contribuir con la sostenibilidad ambiental, estableciendo pruebas piloto (Anotador Ambiental) con sus proveedores de carne para medir el uso de agua, el consumo de energía, la producción de desechos sólidos y las emisiones al aire de los proveedores (Goldberg y Droste, 2012). Actualmente, los datos confirman la contribución con la reducción del impacto ambiental en su cadena de suministro, tal es el caso, de la colaboración ecológica con Syngenta y Lopez Foods, en la creación de una nueva tecnología de semillas, como alimento para el ganado, el maíz Enogen el cual es una modificación genética en la semilla que involucra una enzima que convierte rápidamente el almidón en azúcares utilizables, entregando más energía disponible para el ganado y siendo fácilmente digerible, lo que podría significar menos emisiones de GEI y una mejora en la eficiencia alimentaria de aproximadamente el 5 %.

Los hallazgos específicos muestran que por cada 1000 cabezas de ganado vacuno logra potencialmente ahorros anuales de 178 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> en reducción de GEI y la reducción de 28 hectáreas en el uso de la tierra para el cultivo de piensos, utilización de 22 millones de litros menos de agua y ahorro de energía de 231 mil kilovatios-hora. McDonald's espera que esta estrategia evite más de 164.000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> anualmente, contribuyendo a mitigar el impacto ambiental de la producción de carne (Setiawan y Ellitan, 2023).

Asimismo, en Latinoamérica se están identificando iniciativas sostenibles, que generan un impacto a nivel social, ambiental y económico, con el fin de evaluar su contribución a los objetivos de desarrollo sostenible. Para ello, Sandoval et al. (2023) llevó a cabo una revisión de las iniciativas públicas

relacionadas con la actividad ganadera bovina en Colombia de la última década y sus resultados obtenidos, revelan la existencia de un total de 23 iniciativas en el sector, de las cuales únicamente 3 cumplen con los criterios de sostenibilidad (Tabla 1).

**Tabla 1**  
*Iniciativas del sector cárnico en Colombia que cumplen con los criterios de sostenibilidad.*

Iniciativa	Año	Descripción
<b>Proyecto de Cadenas Sostenibles</b>	2021	Busca promover el trabajo decente y sostenible en la cadena de suministro de la carne.
<b>Política Pública NAMA</b>	2021	Promueve la ganadería sostenible como una forma de contribuir a la lucha contra el cambio climático.
<b>Resolución 000126</b>	2022	Adopta los lineamientos de la Política de Ganadería Bovina Sostenible (GBS) 2022-2050 para disminuir efectos negativos de la ganadería bovina extensiva en el medio ambiente.

*Nota.* Adaptado de Sandoval (2023).

## DISCUSIÓN

Los estudios han demostrado que la industria cárnica es una amenaza, ya que tiene un impacto significativo para el deterioro ambiental y el cambio climático (Reyes y Cano, 2022). Es por ello que se está tratando de realizar una transformación hacia un sistema de ganadería sostenible, basado en principios y prácticas agroecológicas, donde se mejora la salud del ecosistema o la eficiencia productiva. Además, la agroecología ofrece soluciones, como el pastoreo rotacional, sistemas integrados de producción y manejo del estiércol, contribuyendo a la restauración de los ecosistemas, la reducción de la huella ambiental y la creación de comunidades rurales más fuertes (Lozano, 2023; Tedeschi, 2024).

Las prácticas ganaderas sostenibles en Estados Unidos y Corea del Sur se destacan por implementar tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental. En Estados Unidos, el uso de dispositivos inteligentes y tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) permite monitorear en tiempo real la salud y el bienestar animal, optimizando recursos como la alimentación, lo que reduce costos y emisiones de GEI. Por su parte, Corea del Sur ha adoptado prácticas como la gestión del estiércol y la reducción de antibióticos, afrontando desafíos relacionados con la limitada disponibilidad de tierras y la contaminación ambiental. Ambos países han logrado avances significativos en la reducción de emisiones y el uso eficiente de recursos naturales. Sin embargo, mientras Estados Unidos cuenta con una infraestructura más desarrollada y apoyo gubernamental, Corea del Sur requiere políticas más integradas para fomentar una agricultura sostenible (Yoon et al., 2024).

Se puede considerar el potencial de los biodigestores como una solución sostenible es aplicada en la crianza porcina y vacuna. (González y Reyes, 2023). Estos biodigestores son utilizados para gestionar el estiércol fresco de los animales y producir biogás, una fuente de energía renovable logrando así reducir las emisiones de GEI entre un 23% y 53% (Barrena et al., 2019). Por su parte Martínez et al.

(2017) argumentan que la crianza porcina produce 4 Kg de estiércol fresco por día por cada cerdo criado. Esto indica un dato aproximado de que cada cerdo es capaz de producir 0.33 m<sup>3</sup> de biogás útil al día. Por tanto, se puede extraer 100,000 m<sup>3</sup>/día de biogás y producir aproximadamente 60I GWh de energía eléctrica, sustituyendo así cerca de 114,000 barriles de petróleo al año y con un ahorro de 40,000 toneladas de CO<sub>2</sub> que no serían liberadas al medio ambiente. Por otro lado, la industria cárnica es el sector con un consumo considerable de agua, debido a la complejidad de sus procesos, desde el manejo de animales hasta el procesamiento de productos, generando una elevada huella hídrica. Esta reducción es tan urgente como la reducción de la huella de carbono, aunque a menudo se pasa por alto. De tal manera, se debe aprovechar el agua de lluvia ya que es un mecanismo que contribuye en la reducción de huella hídrica, de los productos de origen animal (Arjen, 2012).

La creciente preocupación por los impactos ambientales de la industria cárnica ha fomentado el desarrollo y la promoción de alternativas vegetales más sostenibles. Sin embargo, a pesar de este impulso, muchas personas continúan consumiendo carne en cantidades significativas. Este comportamiento puede atribuirse a varios factores, como las preferencias culturales y los hábitos alimenticios. Además, muchos consumidores encuentran que las alternativas vegetales no replican completamente la experiencia sensorial de la carne, lo que puede llevar a la resistencia a su adopción (Palasca y Qaim, 2022; Arellano, 2023).

## **CONCLUSIONES**

Las emisiones de GEI pueden reducirse mediante diversas estrategias, desde la mejora de la eficiencia de producción hasta la optimización de procesos, la reducción de desperdicios alimentarios, el cambio de patrones comerciales y la modificación de la estructura dietética.

La reducción del consumo de carne, especialmente de res, y el aprovechamiento de subproductos comestibles podrían tener un gran impacto en la reducción de emisiones. Además, la eliminación de desperdicios de carne en las etapas de venta y consumo también contribuiría significativamente a la reducción de emisiones.

La transición hacia sistemas alimentarios más sostenibles es imperativa en el contexto de la crisis climática. Los hallazgos de estos estudios subrayan la importancia de involucrar a todos los actores, desde productores hasta consumidores, en la adopción de prácticas más responsables. Además, se requiere un esfuerzo conjunto entre gobiernos, industria y comunidad científica para superar los desafíos actuales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, G., Villanueva, M., Bächler, S. T., Fredes, C., Aguirre, C., & Parada, A. (2024). Hacia una alimentación saludable y sostenible: selección de alimentos ricos en proteínas. *Revista chilena de nutrición*, 51(6), 485-493. doi: <https://doi.org/10.4067/s0717-75182024000600485>
- Acosta, A. (2017). *Reducir a la mitad el consumo de carne para salvar el planeta y la salud*. ABC Sociedad. [https://www.abc.es/sociedad/abci-reducir-mitad-consumo-carne-para-salvar-planeta-y-salud-201712042137\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-reducir-mitad-consumo-carne-para-salvar-planeta-y-salud-201712042137_noticia.html)
- Arellano, V. (2023). *Aprovechamiento y elaboración de carne vegetal tipo hamburguesa a partir de la reutilización de la cáscara de plátano macho (Musa balbisiana)*[Trabajo de integración curricular, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20299>
- Arjen, Y. (2012). El uso oculto de los recursos hídricos detrás de la carne y los productos lácteos. *Animal Frontiers*, 2(2),3-8. <https://doi.org/10.2527/af.2012-0038>
- Arteaga, M., y Pasquali, C. (2013). Impacto socio ambiental de las empresas cárnicas de los Valles del Tuy. *Multiciencias*, 13(4). <https://www.redalyc.org/pdf/904/90430055004.pdf>
- Cepero, Y., Nuñez, M., & Beldarrain, T. (2016). Desarrollo de Productos Cárnicos a Partir del Aprovechamiento de Subproductos del Sacrificio Porcino. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 14(3), 8.
- Charry, M., Enciso, K., Peters, M. y Burkat, S. (2019). Intensificación sostenible de la producción de carne de vacuno en Colombia: posibilidades de diferenciación de productos y primas de precios. *Agric Econ*, 7(22). <https://doi.org/10.1186/s40100-019-0143-7>
- Confederación de Asociaciones de Frisona Española [CONAFE]. (2022). Realidad Ganadera: ¿Cuánta agua se utiliza para producir 1 kg de carne? *Revista Frisona*. <https://www.revistafrisona.com/Noticia/realidadganadera-cuanta-agua-se-utiliza-para-producir-1-kg-de-carne>
- Consejo Nacional del Ambiente [CONAM] (2023). *Informe sobre el impacto ambiental del sector agropecuario en Perú*. Consejo Nacional del Medio Ambiente.
- Dirección General de Salud e Inocuidad Alimentaria [DIGESA] (2023). *Evaluación de residuos en mataderos municipales de Cajamarca*. Dirección General de Salud Ambiental.
- Environmental Protection Agency [EPA] (2023). *Greenhouse Gas Inventory Report*. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgreport>
- Esquivel, A. y Salgado, M. (2020). Huella hídrica de once productos de origen animal de México y Estados Unidos. *RUIIEC repositorio universitario*, 2(2),324-338. <https://ru.iiec.unam.mx/5116/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] (2022). *The Future of Food and Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cc0660en/cc0660en.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] (2023). *Global Meat Market Trends*. Food and Agriculture Organization.

- Glone, J. (2013). The future of pork production in the world: Towards sustainable, welfare-positive systems. *Animals*, 3 (2), 401-415. <https://doi.org/10.3390/ani3020401>
- Goldberg, R., & Droste, J. (2012). McDonald's Corporation: gestión de una cadena de suministros sostenible. *McVictory*, 9. <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/fac148cd-44bc-4766-9f5b-b64e0fa19a2c/content>
- González, N., Marqués, M., Nadal, M., y Domingo, J. (2020). Meat consumption: ¿Which are the current global risks? A review of recent (2010–2020) evidence. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 137(109341), 109341. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109341>
- González, S. y Reyes, B. (2023). Procedimiento para la gestión ambiental en la producción porcina: municipio Holguín, Cuba. *Ciencias Holguín*, 29(2). <https://www.redalyc.org/journal/1815/181574886005/html/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2023). *Consumo per cápita de carne en el Perú. Instituto Nacional de Estadística e Informática.*
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA] (2023). *Impacto ambiental del sector ganadero en Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.*
- Kalhor, T., Rajabipour, A., Akram, A., y Sharifi, M. (2016). Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment. *Information Processing in Agriculture*, 3(4), 262–271. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317316300336>
- Levi, S., Chun, F., Baruch, L., y Machluf, M. (2022). Scaffolding technologies for the engineering of cultured meat: Towards a safe, sustainable, and scalable production. *Trends in Food Science and Technology*, 126, 13-25. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224422001790>
- Lozano, G., Escalona, M., Baca del Moral, J, y Cuevas, V. (2023). Principios y prácticas agroecológicas para la transición hacia una ganadería bovina sostenible. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 14(3), 696-724. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6287>
- Martínez, N., Álvarez, E., y García, M. (2017). El liderazgo en las organizaciones: evolución histórica y principales enfoques teóricos. *Revista de Ciencias Sociales (Cr)*, 158 (4), <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6214565https>
- Ministerio del Ambiente del Perú [MINAM] (2023). *Evaluación del impacto ambiental en Cusco. Ministerio del Ambiente del Perú.*
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). (2022). *Roadmap to achieve carbon neutrality in the agricultural sector by 2050.* Government of South Korea.
- Nguyen, T., Hermansen, J. y Mogensen, L. (2019). Environmental costs of meat production: the case of typical EU pork production. *Journal of Cleaner Production* 28 (2012) 168-176 <https://sci-hub.se/10.1016/j.jclepro.2011.08.018>.
- Nguyen, T., Hermansen, J. y Mogensen, L. (2019). Environmental costs of meat production: the case of typical EU pork production. *Journal of Cleaner Production*, 28, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.018>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2004). *Carne y productos cárnicos.* <https://www.fao.org/4/j3877s/j3877s08.htm>
- Organización Mundial de Sanidad Animal. (2024). *Bienestar animal: un bien vital para un mundo más sostenible.* <https://doi.org/10.20506/woah.3445>

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)/FAO (2017), OCDE-FAO. *Perspectivas Agrícolas 2017-2026*, Éditions OCDE, París. Doi: [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2017-es](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-es)
- Orús, A. (2024). Consumo de carne a nivel mundial por tipo 1990-2023. *Statista*, 20(5). <https://es.statista.com/estadisticas/1330024/consumo-de-carne-a-nivel-mundial-por-tipo/#:~:text=El consumo mundial de carne,135%2C5 millones en 2023.>
- Palasca, M., y Qaim, M. (2022). Meat consumption and sustainability. *Annual Review of Resource Economics*, 14(1). <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-resource-111820-032340>
- Pelcastre, V., Ramírez, S., Cruz, E., Hernández, M., Ruíz, A., Vázquez, G. (2018). Aprovechamiento de Sangre Ovina para la Elaboración de un Sustituto de Empanizador. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 5(10). <https://portal.amelica.org/ameli/journal/595/5952866017/5952866017.pdf>
- Reyes, P. y Cano, D. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1). [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572022000100053&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572022000100053&script=sci_abstract)
- Rodríguez, B. y Guzmán, A. (2023). Consumo de carne y sostenibilidad: Actitudes de los jóvenes en España. *Revista Internacional de Humanidades*, 19(3). <https://www.ojs.bdtopen.com/33015.eapublishing/index.php/humanrev/article/view/1677/1794>
- Rosas, J. (2012). Fish matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(9), 882-889. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10641262.2012.753405>
- Rosas-Martínez, V., & Aguilar-Rivera, N. (2022). *Compostaje para la reducción de excretas de aves (Gallus gallus domesticus)*. Agron. Mesoam.
- Salahuddin, M., Ahmed, A., Kohzy, H., Tomberlin, J. y Jayant, L. (2024). Flight towards Sustainability in Poultry Nutrition with Black Soldier Fly Larvae. *Pubmed City*, 14(3) 510. <https://doi:10.3390/ani14030510>
- Sandoval, J., Doza, E., y Barbosa, F. (2023). Transición Sostenible del Sector Ganadero Bovino Colombiano y su Vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 16(33), 30. <https://doi.org/https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.227>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI] (2022). *Cambio climático y degradación de pastizales en Puno*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Setiawan, V., y Ellitan, L. (2023). Supply Chain Management and Supply Chain Performance: The Case of Mcdonald's. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(3).
- Tedeschi, L. (2024). Applying Systems Thinking to Sustainable Beef Production Management: Modeling-Based Evidence for Enhancing Ecosystem Services. *Artículo Systems* 12(11) 446. <https://www.mdpi.com/2079-8954/12/11/446>
- Torres, M., Ochoa, N., Nieto, A., Murillo, B., Lavastida, P y Alfonso, P. (2023). Inactivación de patógenos en residuos avícolas mediante el compostaje. *Revista de investigaciones veterinarias del Peru*, 34(4). <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i4.24488>
- Trujillo, L. (2022). Innovación de Productos en la Minimización de Residuos y Mejoramiento Productivo de una Empresa de la Industria Cárnica. *Agrociencia*, 21(1), 55

- Weiblen, R., y Domínguez, R. (2022). Estimating chicken meat productions of leader countries for 2019-2025 years. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(22), 6211-6221. <https://www.scielo.br/j/cr/a/PYkxgFC8j7sPCkWbRYMtcWR/>
- Whitton, C., Bogueva, D., Marinova, D., y Phillips, C. (2021). Are we approaching peak meat consumption? Analysis of meat consumption from 2000 to 2019 in 35 countries and its relationship to gross domestic product. *Animals*, 11(12) 3466. <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/12/3466>
- WWF (2022). Impacto de la ganadería en la deforestación amazónica. World Wildlife Fund.
- Xue, L., Prass, N., Gollnow, S., Davis, J., Scherhauser, S., Östergren, K., Cheng, S., Liu, G. (2019). Efficiency and Carbon Footprint of the German Meat Supply Chain. *Environ Sci Technol*. 53(9): 5133-5142. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30968696/>
- Yoon, I., Sang, O., Kim, S. (2024). Sustainable animal agriculture in the United States and the implication in the Republic of Korea. *Anim Sci Technol*. 66(2): 279-294 <https://doi.org/10.5187/jast.2024.e19>

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

### **Mantenimiento Preventivo en América Latina: Un análisis comparado de principios, metodologías y aplicaciones**

#### **Preventive maintenance in latin america: a comparative analysis of principles, methodologies, and applications**

José Carrión<sup>1</sup>\* y Leonardo Tarrillo<sup>1</sup>

### **RESUMEN**

El objetivo principal de este artículo es analizar investigaciones basadas en el mantenimiento preventivo (MP) en América Latina, identificando la necesidad de mayor inversión en tecnología y capacitación para mejorar la confiabilidad y reducir costos. La metodología se basó en un análisis comparativo a través de una revisión sistemática de la literatura (2020-2024) utilizando la base de datos Mendeley, siguiendo los criterios PRISMA. El estudio examinó 20 artículos, clasificando las contribuciones por país, principios, metodologías y aplicaciones. Los resultados destacan principios del MP (prevención de fallas, extensión de vida útil, mejora continua), metodologías (RCM, FMEA, etc.) y aplicaciones sectoriales (energía, manufactura, etc.). Las conclusiones enfatizan la necesidad de un enfoque flexible, inversión en tecnología y capacitación, y la colaboración entre industria y academia para una mayor implementación del MP en la región. Teniendo a Ecuador, Colombia y México liderando en implementación y producción académica.

**Palabras clave:** Mantenimiento preventivo, América Latina, confiabilidad, metodologías, aplicaciones.

### **ABSTRACT**

The primary objective of this article is to analyze research on preventive maintenance (PM) in Latin America, identifying the need for greater investment in technology and training to improve reliability and reduce costs. The methodology was based on a comparative analysis through a systematic literature review (2020-2024) using the Mendeley database, following PRISMA criteria. The study examined 20 articles, classifying contributions by country, principles, methodologies, and applications. Results highlight PM principles (failure prevention, extended lifespan, continuous improvement), methodologies (RCM, FMEA, etc.), and sectoral applications (energy, manufacturing, etc.). The conclusions emphasize the need for a flexible approach, investment in technology and training, and collaboration between industry and academia for wider PM implementation in the region. Ecuador, Colombia, and Mexico lead in implementation and academic output.

**Keywords:** Preventive maintenance, Latin America, reliability, methodologies, applications.

\* Autor para correspondencia

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Callao, Perú. Email: [jocarrionv@unacvirtual.edu.pe](mailto:jocarrionv@unacvirtual.edu.pe), [ltarrillon@unacvirtual.edu.pe](mailto:ltarrillon@unacvirtual.edu.pe)

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento preventivo, crucial para la competitividad empresarial, enfrenta significativos obstáculos en Latinoamérica a pesar de sus evidentes beneficios económicos y operativos, como la reducción de costos de reparación, el aumento de la vida útil de los equipos y la disminución del tiempo de inactividad. A diferencia de la estrategia proactiva que representa, muchas empresas latinoamericanas aún optan por un enfoque reactivo ante las fallas, lo que resulta en pérdidas sustanciales y menor competitividad. Diversos estudios, como el de CMC Latinoamérica (2021), señalan la cultura organizacional como un obstáculo principal. La falta de una cultura de mantenimiento arraigada y la percepción del mantenimiento preventivo como un gasto innecesario impiden su adopción. Además, las limitaciones presupuestarias, especialmente en PYMEs, dificultan la inversión en programas de mantenimiento preventivo (La Nota Económica, 2023). La carencia de capacitación adecuada para el personal de mantenimiento también limita su eficacia (Noria Latín América, 2024).

Otros factores contribuyen a esta problemática. La antigüedad de las instalaciones industriales en América Latina incrementa la necesidad de mantenimiento preventivo para evitar fallas catastróficas (CEPAL, 2020). La adquisición de repuestos y equipos especializados puede ser costosa y demorada debido a dificultades logísticas (DAS - Sudamérica, 2023). La escasa integración de tecnologías como la Inteligencia Artificial, el IoT y el Big Data en los sistemas de mantenimiento preventivo (Optii Solutions, 2024), así como la falta de estandarización y metodologías comunes, dificultan la comparación de resultados y la adopción de mejores prácticas (ISO, 2018).

Sin embargo, existen oportunidades para impulsar el cambio. El creciente interés por la sostenibilidad, la digitalización y la mejora de la eficiencia operativa está fomentando la búsqueda de soluciones proactivas y basadas en datos. Las políticas gubernamentales están fomentando la adopción de prácticas de mantenimiento preventivo en diversos sectores industriales (Banco Mundial, 2022), el avance de las tecnologías digitales, incluyendo plataformas EAM y soluciones de mantenimiento predictivo contribuyen a este cambio (Siemens, 2022). La creciente preocupación por la sostenibilidad está llevando a las empresas a implementar prácticas de mantenimiento más eficientes energéticamente y respetuosas con el medio ambiente (GIZ, 2019), mientras que la optimización de la cadena de suministro a través del mantenimiento preventivo mejora la eficiencia y reduce costos (Deloitte, 2020). Por lo que el mantenimiento preventivo ofrece una gran oportunidad para mejorar la competitividad, reducir costos y prolongar la vida útil de los activos en Latinoamérica. Sin embargo, superar los desafíos existentes, incluyendo la implementación de programas de capacitación, la inversión en tecnología y el fomento de una cultura de mantenimiento proactiva, es fundamental para aprovechar al máximo este potencial, generando beneficios

significativos para las empresas y la sociedad. Si bien implica una inversión inicial, el retorno a largo plazo justifica ampliamente la adopción de esta estrategia.

Fue en base a todos estos antecedentes que el objetivo de esta investigación fue analizar investigaciones basadas en el mantenimiento preventivo (MP) realizadas en América Latina, cuya data analizada contempló desde el año 2020 al 2024, para de esta manera tener un panorama detallado de la situación actual abordado en este trabajo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Este estudio es una revisión, guiada por la metodología PRISMA, que busca identificar, analizar y sintetizar la información disponible sobre las metodologías empleadas en mantenimiento preventivo. Su enfoque es descriptivo y analítico. La búsqueda bibliográfica se realizó en la base de datos Mendeley, utilizando palabras clave en español "Mantenimiento preventivo" y se establecieron criterios de inclusión y exclusión para la selección de artículos. Se incluyeron artículos publicados entre 2020 y 2024, en español, que abordaran el mantenimiento preventivo con una metodología científica explícita. Se excluyeron artículos de opinión, editoriales, reseñas sin metodología científica, publicaciones repetidas y aquellas sin acceso al texto completo.

El análisis de datos incluyó la extracción de información clave de cada artículo: autores, año de publicación, país de origen, principios del estudio, metodologías utilizadas y aplicaciones. Se realizó una síntesis cualitativa para identificar patrones, tendencias y vacíos en la literatura, agrupando los artículos en categorías temáticas para un análisis más profundo.

Para la gestión de la información, se utilizaron Mendeley para el almacenamiento y gestión de referencias bibliográficas y Excel para registrar y organizar los datos extraídos. Este enfoque estructurado garantiza la rigurosidad del análisis y proporciona una base sólida para discutir las principales contribuciones de la literatura en el ámbito del mantenimiento preventivo.

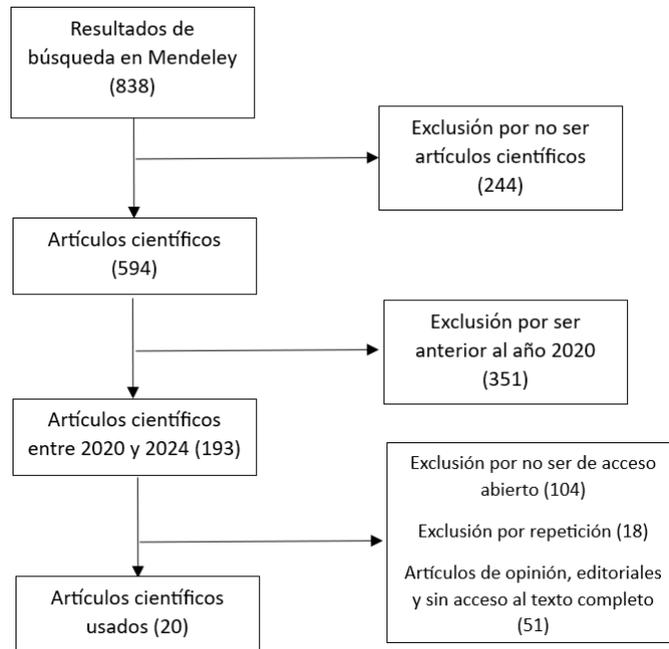
## **RESULTADOS**

La figura 1 muestra el flujograma que ilustra el proceso de selección de artículos en una revisión sistemática. Se inició con 838 resultados de búsqueda en la base de datos Mendeley. De estos, 244 fueron excluidos por no ser artículos científicos, dejando 594 artículos científicos. A continuación, se excluyeron 351 artículos publicados antes de 2020, resultando en 193 artículos científicos publicados entre 2020 y 2024. Finalmente, se eliminaron 104 artículos por no tener acceso abierto, 18 por repetición, y 51 artículos de opinión, editoriales o sin acceso al texto completo. Este proceso condujo a la selección de 20 artículos científicos para el análisis final de la revisión sistemática, visualizando

claramente cada etapa del proceso de selección y el número de artículos incluidos y excluidos en cada paso, siguiendo los principios de transparencia y replicabilidad del método PRISMA.

### Figura 1

*Flujograma de la revisión documentaria realizada*



En la tabla 1 se muestran 20 artículos sobre mantenimiento preventivo, publicados entre 2020 y 2024, considerando el título, la autoría y los países donde fueron realizados, tales como Ecuador, México, Colombia, Perú y Venezuela. Los temas abarcan diversos sectores, desde la industria manufacturera hasta equipos biomédicos y automotriz.

En la tabla 2 se detalla de los 20 artículos revisados sus principios de mantenimiento, cada uno con su metodología y aplicación específica. Se abordan principios que van desde la aplicación de las cinco reglas de oro para optimizar redes eléctricas y prevenir accidentes, hasta la implementación de sistemas de sensores IoT para diagnósticos predictivos en tiempo real. Las metodologías incluyen análisis FMEA, RCM, diseños experimentales, entre otras. Las aplicaciones son diversas, cubriendo sectores como la industria manufacturera, plantas de producción, hospitales, y plantas de tratamiento de agua, demostrando la adaptabilidad de los principios a diferentes contextos.

**Tabla 1**

*Artículos revisados según autoría, año y país de procedencia*

Artículo	Autores	Año	País
1. Manual de mantenimiento preventivo en redes de distribución aplicando las cinco reglas de oro en el Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila	Govea, et al.	2023	Ecuador
2. Implementación de mejora continua de los procesos del área de mantenimiento en servicios de la industria de manufactura	Montijo, et al.	2020	México
3. Mantenimiento preventivo de motores marinos de Diesel mediante aceites fósiles recuperados	Macias & Gorozabel	2022	Ecuador
4. Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos	Arroyo & Obando	2022	Ecuador
5. Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS	Mago & Rocha	2021	Colombia
6. Programación de mantenimiento preventivo usando algoritmos genéticos	Montoya, et al.	2020	Colombia
7. Análisis del impacto del mantenimiento preventivo en el rendimiento de los equipos biomédicos	Mendoza & Zambrano	2023	Ecuador
8. Diseño de un programa de mantenimiento para la planta de tratamiento de agua potable de la Institución Universitaria Antonio José Camacho sede sur	Gómez & Nieto	2022	Colombia
9. Mantenimiento preventivo de las maquinarias en el Molino Galán EIRL, Guadalupe	Hernández & Serrano	2023	Perú
10. Confiabilidad en el rendimiento de las máquinas de producción gracias al plan de mantenimiento preventivo	Ninatanta & Vásquez	2022	Perú
11. Análisis del sistema de inyección electrónica de combustible para motor de combustión interna respecto a sus fallas y mantenimiento	Guasumba, et al.	2021	Ecuador
12. Análisis del mantenimiento preventivo en instalaciones eléctricas residenciales de las familias esmeraldeñas	Quiñonez, et al.	2023	Ecuador
13. Organización del mantenimiento preventivo en las gerencias de bienes y servicios de CORPOELEC región-occidental	Jorge Cedeño, et al.	2020	Venezuela
14. AMEF como herramienta en la Industria 4.0 en el mantenimiento industrial	Jesús González, et al.	2020	México
15. Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM	Andrade & Herrera	2021	Ecuador
16. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo aplicado a instrumentos no automáticos de pesaje en los laboratorios de la Universidad del Atlántico	Hernández, et al.	2021	Colombia
17. Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas	Pillado, et al.	2022	México
18. Equipos biomédicos: el mantenimiento preventivo y su incidencia en el rendimiento	Valencia, et al.	2024	Ecuador
19. Predicción de fallas en un motor de combustión interna de la empresa OCP Ecuador	Vega	2023	Ecuador
20. Desarrollo de un plan de mantenimiento vehicular apoyado por un sistema de gestión asistido por ordenador	León & Martínez	2024	México

**Tabla 2**

*Principios, metodologías y aplicaciones de los artículos revisados*

Nº	Principios	Metodologías	Aplicaciones
1	Aplicación de las cinco reglas de oro para mejorar eficiencia en redes eléctricas y prevenir accidentes.	Observación directa + recopilación de datos cualitativos y cuantitativos.	Redes eléctricas, orientación en distribución energética para evitar sobrecargas y accidentes.
2	Uso de Kaizen y técnicas 5S para mejorar procesos y disminuir errores en manufactura.	Kaizen y 5S para mejorar procesos productivos, clasificar recursos y reducir tiempos muertos.	Industria manufacturera, mejora de rendimiento en procesos electrónicos mediante orden y limpieza.
3	Introducción de evaluaciones FMEA para prevenir fallos críticos en sistemas de motores diésel.	FMEA (Análisis de Modos y Efectos de Falla) + Modelo de confiabilidad técnica basado en vibraciones.	Motores marinos diésel; reducción de fallos en sistemas de combustión y prevención de desgaste.
4	Establecer mantenimientos regulares para alargar la vida útil de maquinaria y reducir reprocesos.	Análisis documental y diseño de planes de mantenimiento integral preventivo + medición de KPI.	Plantas de producción; incremento de vida útil y eficiencia operativa en equipos industriales.
5	Identificación de equipos críticos mediante RCM, optimizando recursos y tiempo operativo.	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) + Análisis financiero (ROI, TIR, VPN).	Equipos críticos de una planta de acabado de mármol y granito, optimización de recursos.
6	Optimización de planificación preventiva integrada con la producción.	Diseño experimental con algoritmos genéticos para optimización del mantenimiento preventivo.	Máquinas paralelas idénticas en industrias de producción, optimización de mantenimiento y tiempos.
7	Asegurar la disponibilidad operativa de	Métodos cualitativos con cuestionarios	Equipos médicos vitales en hospitales,

	equipos biomédicos mediante mantenimiento sistemático.	mixtos + diseño no experimental transversal.	como monitores de signos vitales y ventiladores mecánicos.
8	Priorizar inspecciones y mantenimientos periódicos en sistemas hidráulicos.	Creación de diagramas de flujo para mantenimiento hidráulico y bombeo.	Bombas sumergibles, filtros y tanques de almacenamiento en plantas de tratamiento de agua potable.
9	Reducción de tiempos de inactividad mediante revisiones constantes en los equipos de molienda.	Evaluación directa de maquinarias + monitoreo funcional regular.	Máquinas de molienda de arroz, tolvas, clasificadoras y descascaradoras.
10	Extender la eficiencia de las máquinas a través de análisis de puntos críticos.	KPI de confiabilidad (MTBF, MTTR) + análisis estadístico de tiempos de inactividad.	Maquinaria industrial; reducción de costos y tiempos inactivos mediante mantenimiento estructurado.
11	Monitoreo permanente para diagnosticar fallos electrónicos en sistemas de inyección de combustible.	Aplicación de mantenimiento preventivo y correctivo + validación por análisis electrónico.	Sistemas de inyección electrónica en motores de combustión, diagnósticos para evitar fallos.
12	Control y revisión de los bornes de conexión y canalizaciones eléctricas para prevenir fallos comunes.	Revisión periódica de cargas eléctricas y bornes de conexión + inspecciones técnicas preventivas.	Canalizaciones eléctricas residenciales, control de bornes y mantenimiento de sistemas de puesta a tierra.
13	realización de tareas programadas, para prevenir fallas y reducir costos, mediante una organización eficiente y un análisis sistemático	Elaboración de encuestas sometidas a expertos para su validez y calcular su confiabilidad.	Evaluación de la efectividad de la descentralización, la autoridad, los organigramas y las funciones definidas en el proceso de mantenimiento preventivo.
14	Uso de sensores IoT para realizar diagnósticos predictivos en tiempo real e identificar fallas.	Sensores de IoT para diagnósticos en tiempo real + mantenimiento predictivo con análisis de datos.	Sistemas industriales en plantas enlazadas con IoT para detección temprana de fallas.
15	Realizar tareas de mantenimiento en función de su impacto en la confiabilidad del equipo y la efectividad operativa	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA)	Aviación principalmente y las industrias termoeléctrica, nuclear, petrolera y química
16	Asegurar la precisión y confiabilidad de los instrumentos de laboratorio para fines de investigación y docencia, cumpliendo la norma ISO 9001.	Implementación de un inventario detallado de los equipos existentes y establecimiento de intervalos de calibración usando métodos de la guía OIML-D10 (2017)	Laboratorios de universidad, mejorando la precisión de los instrumentos de pesaje y cumplir con los estándares de calidad.
17	Uso de un sistema que abarca el inventario físico de máquinas y la conciliación con la base de datos	Programación preventiva basada en indicadores críticos de confiabilidad (RCM adaptado).	Creación de instrucciones de trabajo, el análisis de fallas y monitoreo del tiempo medio entre fallas (MTBF).
18	Análisis de las prácticas de mantenimiento preventivo y su impacto en el rendimiento de los equipos biomédicos.	Entrevistas y observaciones mediante un cuestionario tasas de fallas de los equipos; el tiempo de inactividad y los tipos de mantenimiento requeridos.	Departamentos de urgencias y UCI de un hospital de Guayaquil.
19	Realizar la transición del mantenimiento preventivo al mantenimiento basado en la condición (CBM)	Aplicación de técnicas de aprendizaje automático supervisado y no supervisado (redes neuronales)	Motores de combustión interna Wartsila 12V32 LN
20	Mantenimiento preventivo y correctivo	Análisis del entorno, diseño del plan, selección de herramientas de gestión asistida por computadora (GMAO), implementación y análisis de resultados.	Taller automotriz, enfocado en mejorar la competitividad y el servicio al cliente

En la Tabla 3 se muestra los datos del ranking, el cual se elaboró basándose en la integración de la cantidad de artículos por país de los 20 artículos que pasaron por revisión.

**Tabla 3**

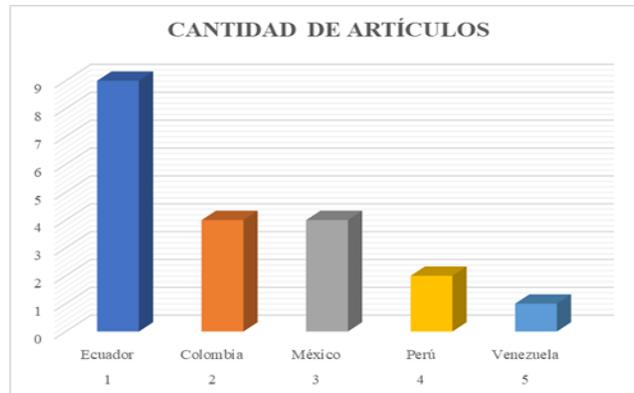
*Ranking por países de acuerdo a la cantidad de artículos publicados*

Ranking	País	Cantidad de Artículos
1	Ecuador	9
2	Colombia	4
3	México	4
4	Perú	2
5	Venezuela	1

Esta información se procesó usando el software Excel para generar un diagrama de barras, para tener un panorama más visual de los datos procesados. Dicho diagrama se muestra en la Figura 2 y se destaca a Ecuador como referente en la investigación sobre Mantenimiento Preventivo en América Latina con 9 artículos revisados, seguido de Colombia y México, ambos con 4 artículos revisados, culminando con Perú y Venezuela con 2 y 1 publicaciones correspondientes revisadas.

**Figura 2**

*Ranking de artículos publicados (basado en la revisión de 20 ejemplares entre el año 2020 y 2024)*



**DISCUSIÓN**

Este estudio presenta un panorama de la situación actual del mantenimiento preventivo (MP) en la región, a través de una revisión sistemática de la literatura (2020-2024). El estudio, basado en la metodología PRISMA y utilizando la base de datos Mendeley, analizó 20 artículos, revelando una disparidad significativa en la adopción y aplicación del MP en Latinoamérica. Aunque los beneficios económicos y operativos del MP, como la reducción de costos de reparación y el aumento de la vida útil de los equipos (CMC Latinoamérica, 2021), son ampliamente reconocidos, su implementación se enfrenta a importantes desafíos.

Los resultados muestran que Ecuador, Colombia y México lideran en la producción académica sobre MP, con un número considerable de publicaciones revisadas (Tabla 3, Figura 2). Sin embargo, este liderazgo no se traduce necesariamente en una adopción generalizada del MP en la industria de estos países. La investigación destaca la prevalencia de un enfoque reactivo ante las fallas, en lugar de uno proactivo como lo propone el MP, lo cual coincide con observaciones de estudios previos que señalan la cultura organizacional como un obstáculo clave (CMC Latinoamérica, 2021). La falta de inversión en tecnología y capacitación, especialmente en las PYMEs (La Nota Económica, 2023), y la percepción del MP como un gasto innecesario, son factores limitantes ampliamente mencionados.

Comparando los hallazgos con otras investigaciones, se observa una coherencia con la literatura que destaca la antigüedad de las instalaciones industriales en América Latina como un factor que

incrementa la necesidad de MP para prevenir fallas catastróficas (CEPAL, 2020). También se confirma la problemática de la adquisición de repuestos y equipos especializados, debido a dificultades logísticas (DAS - Sudamérica, 2023), y la falta de integración de tecnologías como la Inteligencia Artificial e IoT (Optii Solutions, 2024). La escasez de estandarización y metodologías comunes, dificultando la comparación de resultados y la adopción de mejores prácticas, es un punto que concuerda con las observaciones de ISO (2018).

Por lo tanto, la investigación confirma la necesidad urgente de promover la implementación del MP en América Latina. Si bien se observa un crecimiento en la investigación académica en algunos países, es necesario superar las barreras culturales, económicas y tecnológicas que limitan su adopción. La inversión en capacitación, la adopción de tecnologías modernas, y la colaboración entre la industria y la academia son cruciales para aprovechar al máximo el potencial del MP en la región, generando beneficios significativos para las empresas y la sociedad. El trabajo deja una puerta abierta para futuras investigaciones que profundicen en el análisis del impacto real de las diferentes metodologías de MP en distintos contextos latinoamericanos, evaluando con mayor rigor la eficacia y rentabilidad de sus implementaciones.

## **CONCLUSIONES**

La revisión de la literatura centrada en la investigación sobre mantenimiento preventivo (MP) en América Latina entre 2020 y 2024 reveló una concentración significativa de trabajos publicados en Ecuador, con un número considerablemente menor, pero aún notable, de publicaciones originadas en Colombia y México. Esta distribución desigual de la producción científica sugiere posibles disparidades en la priorización de la investigación y la implementación del MP en toda la región, lo que justifica una mayor investigación de los factores contribuyentes.

Se detalló la aplicación versátil de los principios y metodologías de mantenimiento preventivo en una amplia gama de sectores de América Latina, incluidos la industria manufacturera, la ingeniería biomédica y la industria automotriz. Sin embargo, la falta de enfoques estandarizados en estos sectores indica la necesidad de realizar más investigaciones sobre las mejores prácticas y desarrollar metodologías consistentes para mejorar la eficiencia y la comparabilidad de los resultados en diferentes contextos industriales.

En esta investigación se mostró la adopción de una variedad de metodologías de mantenimiento preventivo, tanto establecidas (como el Análisis de Modos de Falla y Efectos - FMEA y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM) como emergentes (como la integración de tecnologías de Internet de las Cosas - IoT - para el mantenimiento predictivo). La inclusión de enfoques basados en datos como el mantenimiento predictivo, junto con técnicas establecidas, indica una

evolución dinámica en las estrategias de mantenimiento preventivo dentro de las industrias latinoamericanas, destacando la adaptación continua a los avances tecnológicos y la búsqueda de una mayor eficiencia operativa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C. L., & Herrera, M. (2021). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8). <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>
- Arroyo, C. S., & Obando, R. F. (2022). Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. *E-IDEA Journal of Engineering Science*, 4(10), 59-69. <https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id240>
- Banco Mundial. (2022). Informe sobre desarrollo sostenible en América Latina. Washington D.C.: Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/region/lac>
- Cedeño, M. (2020). Organización del mantenimiento preventivo en las gerencias de bienes y servicios de CORPOELEC región- occidental. *Revista Boliviana de Ingeniería*, 1(1). <https://doi.org/10.33996/rebi.v1i1.100>
- CEPAL. (2020). La resiliencia de los servicios de infraestructura en América Latina y el Caribe: un abordaje inicial. (LC/TS.2020/177). Santiago de Chile: CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/69784963-2bb6-400f-93e4-7f6a19bbafc6/content>
- CMC Latinoamérica. (2021). Mantenimiento preventivo: Una visión general. <https://cmc-latam.com/2021/09/09/mantenimiento-preventivo-una-vision-general/>
- DAS - Sudamérica. (2023). Mantenimiento preventivo. <https://das-sudamerica.com/mantenimiento-preventivo/>
- GIZ. (2019). Hacia una industria más sostenible: Guía práctica para la implementación de mantenimiento preventivo. Bonn: GIZ. <https://www.giz.de/en/downloads/giz2023-en-beschaffungsbericht-2022.pdf>
- Gómez, P. A., & Nieto, C. A. (2022). Diseño de un programa de mantenimiento para la planta de tratamiento de agua potable de la Institución Universitaria Antonio José Camacho sede sur. *Revista Sapientía*, 14(27). <https://doi.org/10.54278/sapientia.v14i27.115>
- González, J. V., Jiménez, D. L., Loyo, J., & López, M. Á. (2020). AMEF como herramienta de la Industria 4.0 en el mantenimiento industrial. *Revista de La Ingeniería Industrial*, 14(1).
- Govea, W. D., Pinargote, C. J., & Lapo, N. L. (2023). Manual de mantenimiento preventivo en redes de distribución aplicando las cinco reglas de oro en el Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila. *Revista Científica Multidisciplinar G-Nerando*, 4(2). <https://doi.org/10.60100/rcmg.v4i2.128>
- Guasumba, J. E., Garay, V. A., Solís, J. M., & Jima, J. C. (2021). Análisis del sistema de inyección electrónica de combustible para motor de combustión interna respecto a sus fallas y mantenimiento. *Polo Del Conocimiento*, 6(1). <https://doi.org/10.23857/pc.v6i1.2167>
- Hernández, J. M., & Serrano, J. A. (2023). Mantenimiento preventivo de las maquinarias en el Molino Galán EIRL, Guadalupe. *Revista Ingeniería*, 7(19). <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v7i19.113>
- Hernández, J. D., Rodríguez, N. J., Fernández, A. J., & Pedraza, C. A. (2021). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo aplicado a instrumentos no automáticos de pesaje en los laboratorios de la

- Universidad del Atlántico. Investigación e Innovación En Ingenierías, 9(2). <https://doi.org/10.17081/invinno.9.2.3831>
- ISO. (2018). ISO 55001:2018 Sistemas de gestión de activos. Ginebra: ISO.
- La Nota Económica. (2023). La importancia del mantenimiento preventivo. <https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/la-importancia-del-mantenimiento-preventivo/>
- León, J. A., & Martínez, G. F. (2024). Desarrollo de un plan de mantenimiento vehicular apoyado por un sistema de gestión asistido por ordenador. Información Tecnológica, 35(1), 23–32. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642024000100023>
- Macias, J. A., & Gorozabel, F. B. (2022). Mantenimiento preventivo de motores marinos de Diesel mediante aceites fósiles recuperados. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación, 5(9 Edición especial marzo). <https://doi.org/10.46296/ig.v5i9edespmar.0051>
- Mago, M. G., & Rocha, S. (2021). Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS. Ciencia y Poder Aéreo, 16(2). <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.703>
- Mendoza, E. R., & Zambrano, J. A. (2023). Análisis del impacto del mantenimiento preventivo en el rendimiento de los equipos biomédicos. Revista Suplemento CICA Multidisciplinario, 7(15). <https://doi.org/10.60100/scicam.v7i015.97>
- Montijo, E. E., Cano, O. E., & Ramírez, F. (2020). Implementación de mejora continua de los procesos del área de mantenimiento en servicios de la industria de manufactura electrónica. Científica. <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v24n1a07>
- Montoya, M. E., Arango, J. A., & Rosero, S. L. (2020). Programación de mantenimiento preventivo usando algoritmos genéticos. Lámpsakos, 23. <https://doi.org/10.21501/21454086.3112>
- Ninatanta, Y. J., & Vásquez, Y. (2022). Confiabilidad en el rendimiento de las máquinas de producción gracias al plan de mantenimiento preventivo. Revista Criterio, 2(3). <https://doi.org/10.62319/criterio.v.2i3.11>
- Noria Latín América. (2024). Estrategias de mantenimiento. <https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/estrategias-de-mantenimiento/>
- Optii Solutions. (2024). Cómo la Tecnología de Mantenimiento Preventivo aumenta la Rentabilidad y Eleva la Experiencia del Cliente. <https://www.optiisolutions.com/blogs/technolog%C3%ADa-mantenimiento-preventivo>
- Pillado, M., Castillo, V. H., & de la Riva, J. (2022). Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas. RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo, 12(24). <https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1218>
- Quiñonez, R. G., Quiñonez, J. J., Zambrano, T. D., González, L. A., & Quiñónez, E. F. (2023). Análisis del mantenimiento preventivo en instalaciones eléctricas residenciales de las familias esmeraldeñas. Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies, 3(1). <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v3i1.605>
- Siemens. (2022). Soluciones de mantenimiento industrial. <https://www.siemens.com/es/es/home.html>
- Valencia, M. N., Vélez, A. M., Mieles, G. J., Álava, Á. R., & Quiñónez, D. K. (2024). Equipos biomédicos: el mantenimiento preventivo y su incidencia en el rendimiento. Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies, 4(1). <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v4i1.633>

Vega, F. B. (2023). Predicción de fallas en un motor de combustión interna de la empresa OCP Ecuador. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(1). [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4749](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4749)

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

### **Integración de la automatización en la construcción 4.0**

#### **Integration of automation in construction 4.0**

Nelson Huangal<sup>1</sup> \* y Roberto Cachay<sup>1</sup> 

#### **RESUMEN**

La integración de la automatización en la construcción 4.0, presenta un análisis detallado de la producción científica sobre la automatización en la construcción 4.0, destacando tendencias y patrones de investigación global. El estudio, comprendido del año 2020, a octubre del año 2024, identifica la tasa de crecimiento anual en publicaciones del 60.69%, reflejando el creciente interés en el tema. A través de indicadores bibliométricos, se reconocen autores influyentes, como Menges A., y revistas influyentes como Automation in Construction y Sustainability (Switzerland). También, países como EE.UU., China y Alemania, lideran la producción científica sobre la automatización en la construcción. La investigación revela que, disciplinas como la robótica y la automatización, contribuyen un enfoque multidimensional. El desarrollo semántico destaca la relevancia de términos como “construction 4.0” y “robotics”, mientras que los temas emergentes incluyen la impresión 3D y la fabricación robótica.

**Palabras clave:** Construcción 4.0, automatización, bibliometría, robótica.

#### **ABSTRACT**

Integrating Automation in Construction 4.0 presents a detailed analysis of the scientific production on automation in Construction 4.0, highlighting global research trends and patterns. The study, spanning the year 2020, to October 2024, identifies the annual growth rate in publications of 60.69%, reflecting the growing interest in the topic. Through bibliometric indicators, influential authors, such as Menges A., and influential journals such as Automation in Construction and Sustainability (Switzerland) are recognized. Also, countries such as the USA, China and Germany lead the scientific production on automation in construction. The research reveals that disciplines such as robotics and automation contribute a multidimensional approach. Semantic development highlights the relevance of terms such as “construction 4.0” and “robotics”, while emerging themes include 3D printing and robotic manufacturing.

**Keywords:** Construction 4.0, automation, bibliometrics, robotics.

\* Autor para correspondencia

---

<sup>1</sup> Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Email: [nhuangal@unprg.edu.pe](mailto:nhuangal@unprg.edu.pe), [rcachays@unprg.edu.pe](mailto:rcachays@unprg.edu.pe)

## INTRODUCCIÓN

La integración de la automatización en la construcción 4.0, refleja el creciente interés en la investigación científica, en el periodo comprendido entre el año 2020 y octubre del año 2024, donde el empleo de tecnologías avanzadas, permite optimizar procesos, planificando y controlando los recursos, tanto en la etapa de diseño como en la ejecución, en distintos proyectos de construcción. A nivel global, se manifiesta una profunda transformación de la industria de la construcción, debido al empleo de la automatización, robótica, e impresión 3D, siendo componentes esenciales para lograr avances en la sostenibilidad y eficiencia operativa en el sector de la construcción (Bruun et al., 2021; Prieto et al., 2024). En este contexto, países como Estados Unidos, China y Alemania, lideran la producción científica, contribuyendo a la difusión de estas tecnologías, vinculadas con la automatización y la construcción. La tasa de incremento anual del 60.69%, expresa el avance de la implementación de tecnologías, el Building Information Modeling (BIM) y la inteligencia artificial en la construcción, ante la demanda de procesos constructivos más seguros y sostenibles (Saini et al., 2022; Pereira et al., 2022). A medida que estas tecnologías emergentes, como la fabricación robótica y el diseño modular, se consolidan en la práctica constructiva, el interés en el desarrollo de métodos automatizados y sostenibles, es más relevante (Vidovszky y Szögi, 2024; Park et al., 2024).

El problema de investigación refiere a la identificación de patrones y tendencias dentro de la producción científica, que abordan la automatización en la construcción 4.0 y la tecnología de la información aplicada a la construcción sostenible. En el presente estudio, la pregunta de investigación planteada es la siguiente: ¿Cuáles son las tendencias de la producción científica sobre la integración de la automatización en la construcción 4.0, según un análisis bibliométrico de la literatura existente? Esta pregunta general, incluye otras interrogantes específicas como: a) ¿Cuántos estudios se han publicado en el periodo comprendido entre el año 2020 y octubre del 2024?, b) ¿Quiénes son los autores más destacados en el área?, c) ¿Cuáles son las publicaciones más relevantes vinculadas con tema?, d) ¿En qué países se han llevado a cabo las investigaciones? e) ¿Desde qué áreas del conocimiento se han realizado las investigaciones?

La literatura revisada muestra varios temas emergentes y consolidados, como el papel de la robótica y el BIM, en la modernización del sector constructivo. La colaboración interdisciplinaria, reflejada en un 25% de coautorías internacionales, enfatiza la necesidad de enfoques multidimensionales para integrar tecnologías avanzadas en la construcción (Aghimien et al., 2024; Feldmann, 2022). Además, autores como Menges y Leder (2022), destacan que la robótica y la fabricación digital ofrecen beneficios sustanciales en términos de productividad y reducción de residuos en proyectos de infraestructura (Khosravani y Haghghi, 2022; Liu et al., 2024). Sin embargo, persisten desafíos, en torno a la

adopción de estas tecnologías en países en desarrollo, donde los altos costos de implementación limitan su aplicación generalizada (Yankah et al., 2024). Este estudio es justificable debido a la escasa sistematización de datos sobre las tendencias y patrones de la producción científica en la automatización de la construcción. Un análisis bibliométrico exhaustivo permitirá no solo detallar las áreas de avance en esta tecnología, sino también reconocer temas potenciales para futuras investigaciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó el análisis bibliométrico para analizar la evolución, el nivel de avance y la rugosidad científica (Cuevas Molano et al., 2019), sobre el conocimiento de la integración de la automatización en la construcción 4.0; para lo cual, se plantea los siguientes pasos sistemáticos: formulación de preguntas, identificación de bases de datos, elaboración de una ecuación de búsqueda y análisis de metadatos.

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, a nivel exploratorio y descriptivo; el diseño es no experimental, de tipo longitudinal. Se elaboró una cadena de búsqueda con términos clave: TITLE ("Automatización" OR "Automation" OR "Robotics") AND TITLE ("construcción" OR "Construction") AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j")) AND (LIMIT-TO (OA, "all")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE, "final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")). Cabe resaltar que, esta estrategia de investigación se restringió, desde el año 2020, hasta octubre del año 2024.

Se empleó el enfoque multidisciplinario de la base de datos Scopus, identificando 191 artículos. Los datos de Scopus fueron exportados en formato CSV, luego fueron convertidos a Excel para su tratamiento. Se estableció, como se indica en la Tabla 1, los criterios para la inclusión y exclusión de las publicaciones de los artículos.

**Tabla 1**

*Criterios de inclusión y exclusión de la revisión*

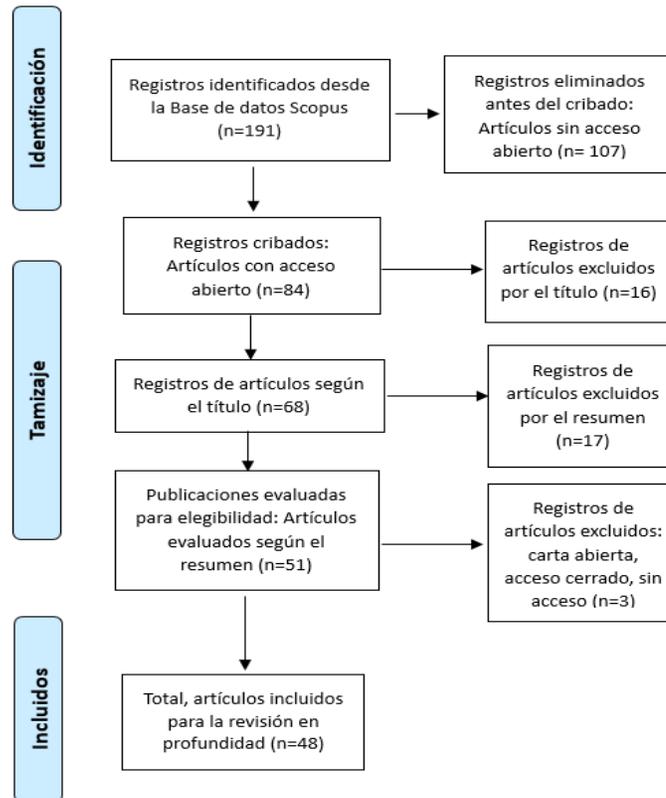
<b>Criterios de exclusión</b>	<b>Criterios de inclusión</b>
Permite acceso directo a la publicación completa del artículo para su revisión	No permite acceso directo a la publicación completa del artículo para su revisión
El contenido del artículo está relacionado con la automatización, la robótica en el sector de la construcción	El contenido del artículo no está relacionado con la automatización, la robótica en el sector de la construcción
El contenido del artículo está relacionado con la construcción 4.0	El contenido del artículo no está relacionado con la construcción 4.0

A partir de estos criterios, se elaboró un registro de comprobación, para la identificación, el tamizado, la elegibilidad y la inclusión de los artículos seleccionados, para su revisión en profundidad, según el

modelo PRISMA (Barrios et al., 2021), según se detalla en el diagrama de flujo de fases, representado en la Figura 1.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo de fases según modelo PRISMA*



En la fase de identificación, de los 191 artículos, descargados del gestor de referencias bibliográficas Zotero, se eliminó 107 publicaciones sin acceso abierto, resultando 84 artículos, revisados en la fase de tamizaje, excluyéndose por el título 16 artículos, quedando 68 artículos, de los cuales se procedió a excluir, por el contenido del resumen, 17 artículos, obteniéndose 51 artículos, siendo evaluados para elegibilidad. Posteriormente, se excluyeron 3 artículos, teniendo la publicación de una carta abierta, un artículo con acceso cerrado, y otro sin acceso; resultando 48 artículos incluidos, para su revisión en profundidad. Se elaboró las representaciones visuales de mapas científicos en forma de redes semánticas, empleando programas especializados como Bibliometrix y VOSviewer.

Bibliometrix es una herramienta creada en R, avalada por el Equipo Core de R y la Fundación R para Computación Estadística (Bibliometrix, 2023). Requiere la instalación de R y Rstudio.

VOSviewer, creado por la Universidad de Leiden, es un programa de código abierto destinado a la creación y visualización de redes bibliométricas. Proporciona capacidad de minería de texto para establecer redes de co-ocurrencia de términos clave (VOSviewer, 2023).

## RESULTADOS

De acuerdo a los valores de los principales indicadores bibliométricos de la colección de metadatos, detallado en la Tabla 2, para el intervalo de tiempo comprendido desde el año 2020 y octubre del 2024, se observa que la tasa de 60.69%, correspondiente al crecimiento anual de los documentos, refleja el creciente interés de temas relacionados con la integración de la automatización en la construcción 4.0; la antigüedad media de los documentos, de 1.31 años, respalda el referido crecimiento. El promedio de 12 citas por documento, señala que estas investigaciones tienen impacto en otros estudios. Además, la cantidad de 3112 referencias, fortalece el rigor científico de las publicaciones. El promedio de 4.52 coautores por documento y un 25% de coautorías internacionales, manifiesta que la automatización en la construcción 4.0, es un tema que requiere la colaboración entre los autores de varios países; esto es corroborado por la publicación de 2 documentos de un solo autor. Con 34 fuentes, 368 palabras clave plus y 186 palabras clave del autor, revela la notable diversidad temática, posibilitando el estudio detallado en temas específicos y la búsqueda de nuevo conocimiento, dentro del campo de la automatización en la construcción 4.0, que todavía está en crecimiento.

**Tabla 2**

*Principales indicadores bibliométricos de la colección de metadatos*

Descripción	Indicador
Intervalo de tiempo	2020: 2024 (octubre)
Fuentes	34
Documentos	48
Tasa de crecimiento anual de los documentos%	60.69
Antigüedad media de los documentos	1.31
Promedio de citas por documento	12
Referencias	3112
Palabras clave Plus (ID)	368
Palabras clave del autor (DE)	186
Autores	198
Autores de documentos de un solo autor	2
Documentos de un solo autor	2
Coautores por documento	4.52
Coautorías internacionales %	25
Artículos	48

*Nota.* Indicadores obtenidos con Bibliometrix, con base en los metadatos de la colección identificada en Scopus.

En la Tabla 3, se presenta los 10 principales autores, sobresaliendo Menges A, como el autor con más citas y más cantidad de publicaciones, vinculados con la automatización y el sector construcción.

**Tabla 3***Principales autores*

<b>Autor</b>	<b>Total de citas</b>	<b>Número de publicaciones</b>
Menges A	104	5
Ashok P	8	2
García De Soto B	4	2
Giusti A	50	2
Marcher C	50	2
Matt Dt	50	2
Prieto Sa	4	2
Saini Gs	8	2
Van Oort E	8	2
Wagner Hj	95	2

*Nota.* Indicadores obtenidos con Bibliometrix, con base en los metadatos de la colección identificada en Scopus.

En la Tabla 4, se observa las principales revistas especializadas, que más contribuyeron con la difusión de resultados de investigaciones relacionados con la automatización en la construcción 4.0, destacando las revistas Automation In Construction y Sustainability (Switzerland).

**Tabla 4***Principales revistas especializadas*

<b>Revista</b>	<b>Frecuencia</b>
Automation In Construction	6
Sustainability (Switzerland)	3
Advanced Engineering Informatics	2
Buildings	2
Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering	2
Developments In The Built Environment	2

*Nota.*

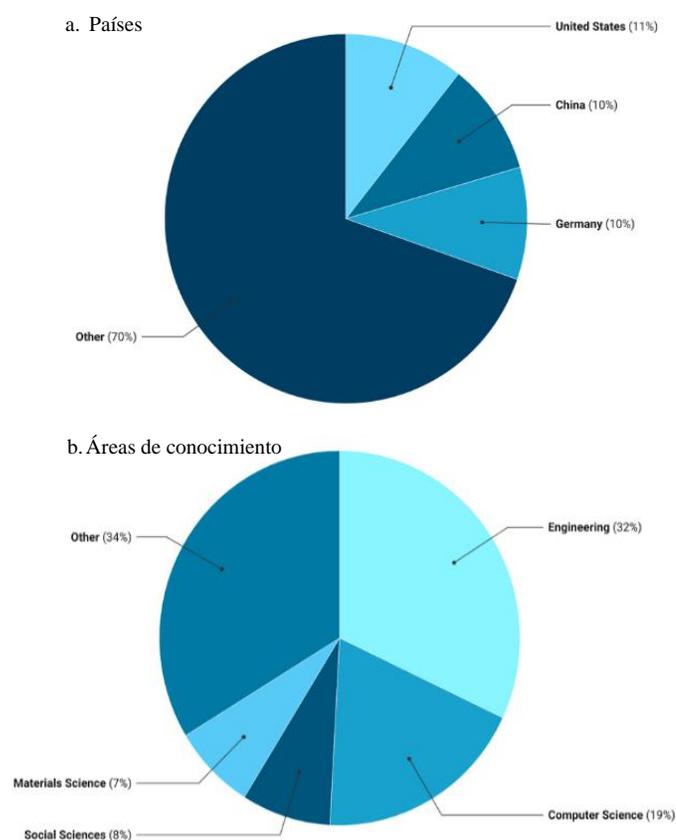
*Indicadores*

*obtenidos con Bibliometrix, con base en los metadatos de la colección identificada en Scopus.*

Entre los países que sobresalen en producción científica sobre la automatización en la construcción 4.0, Estados Unidos, lidera con 11%, continúan China y Alemania, ambos con 10%; este enfoque es abordado desde diversas disciplinas, resaltando la ingeniería, con 32% y ciencias de la computación, con 19%. Esta pluralidad de áreas involucradas evidencia la naturaleza multidimensional de la tecnología automatizada y los fundamentos de la construcción 4.0, como se puede observar en la Figura 2, paneles a y b.

## Figura 2

Países y áreas del conocimiento asociado con la integración de la automatización en la construcción 4.0



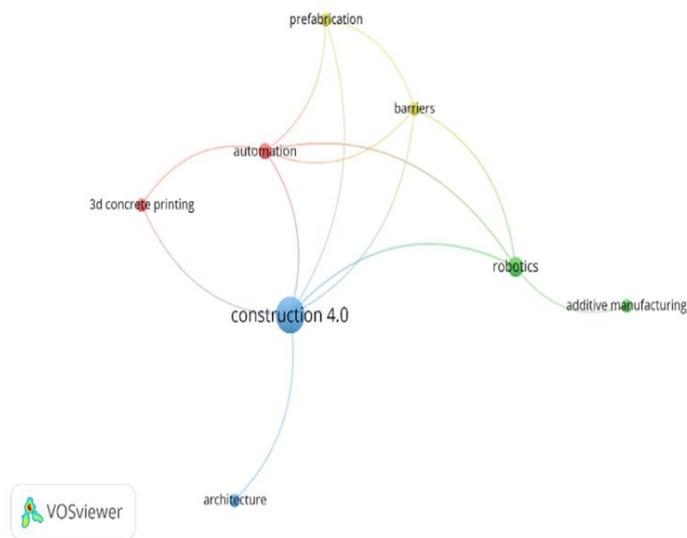
*Nota.* Representaciones obtenidas con Datawrapper, con base en los metadatos de la colección identificada en Scopus.

Respecto al desarrollo semántico, se presenta la red en la Figura 3, donde la ubicación central del nodo “construction 4.0”, demuestra que este concepto posee una gran relevancia en el presente estudio. Al nodo “construction 4.0”, se vinculan directamente los nodos “automation”, “robotics”, “3D concrete printing”, y “prefabrication”. Los colores específicos de los clústeres destacan áreas de enfoque particulares: el clúster azul se concentra en “construction 4.0” y “architecture”, sugiriendo la relación entre la tecnología en la construcción, vinculado con proyectos de diseño arquitectónicos. El clúster verde se asocia con términos como “robotics” y “additive manufacturing”, esto indica que la robótica

permite potenciar la manufactura aditiva al autonomizar procesos en la industria de la construcción. El clúster rojo relaciona términos como “automation” y “3d concrete printing”, lo cual evidencia que la automatización promueve la impresión 3D de concreto permitiendo la construcción de estructuras complejas, de manera rápida y precisa. Estos clústeres y conexiones evidencian que la integración de la automatización en la construcción 4.0, es un tema multifacético, con investigaciones que abordan distintos aspectos, reflejando la complejidad y la diversidad de perspectivas en este campo de estudio.

### Figura 3

Mapa semántico sobre la integración de la automatización en la construcción 4.0



Nota. Representación obtenida con VosViewer, a partir de la colección de metadatos en formato CSV extraída de Scopus y con las correcciones realizadas mediante la técnica del tesoro.

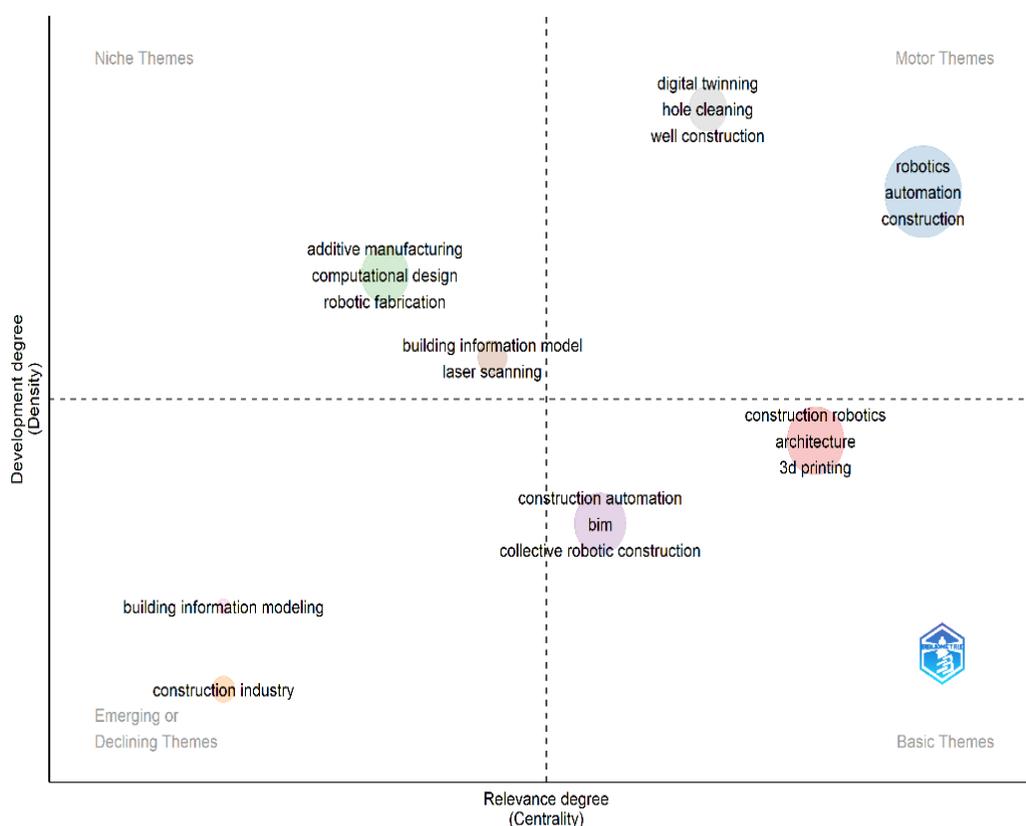
El mapa temático de la Figura 4, clasifica los temas de investigación relacionados con la automatización en la construcción 4.0, en cuatro cuadrantes, establecidos por el grado de desarrollo (densidad) y el grado de relevancia (centralidad). En el cuadrante superior derecho, los temas motores, destacan conceptos clave como “robotics”, “automation” y “construction”, siendo relevantes para el impulsando de desarrollo de nuevas tecnologías en el sector de la construcción.

En el cuadrante superior izquierdo, los temas básicos, como “additive manufacturing”, “computational design” y “robotic manufacturing”, tienen un gran potencial para futuras aplicaciones. El cuadrante inferior derecho, se agrupa temas en consolidación como “construction robotics”, “architecture”, “3d printing”, “construction automation”, y “collective robotics construction”, su desarrollo está en proceso, pero con un futuro prometedor. Finalmente, el cuadrante inferior izquierdo, contiene temas emergentes o en declive, como “Building Information Modeling (BIM)” y “construction industry”, su

relevancia puede aumentar si se ajustan a las nuevas demandas tecnológicas de la industria de la construcción.

**Figura 4**

*Mapa temático estructural*



*Nota.* Representación obtenida con Bibliometrix, a partir de la colección de metadatos en formato CSV extraída de Scopus.

## DISCUSIÓN

El análisis bibliométrico sobre la integración de la automatización en la construcción 4.0, muestra una clara tendencia en el incremento de la producción científica, en el periodo comprendido desde el año 2020 hasta octubre de 2024; esto es revelado por el crecimiento anual del 60.69% en publicaciones, de hecho, la incorporación, cada vez mayor, de tecnologías robóticas (Chai et al., 2022; Waqar et al., 2024), y el Building Information Modeling -BIM (Kavaliauskas et al., 2022; Khaleel y Naimi, 2022;

Park y Lee, 2022; Spinner y Degani, 2024), combinado con la inteligencia artificial (Saini et al., 2022), el modelado digital (Rada et al., 2023), y la realidad virtual (Pereira et al., 2022; Wang et al., 2024), para mejorar los procesos constructivos (Follini et al., 2020; Wong et al., 2022; Abkar et al., 2023). En relación a los autores, Menges A. sobresale por contar con el mayor número de publicaciones y citas vinculadas a la automatización en la construcción 4.0. Las revistas “Automation in Construction” y “Sustainability (Switzerland)” han tenido el mayor impacto en la difusión de investigaciones. Países como Estados Unidos, China y Alemania lideran la producción científica, sobre automatización en la construcción 4.0, evidenciando una significativa colaboración internacional (25% de coautorías); la investigación realizada por Agrawal et al. (2024), manifiestan la importancia de un enfoque global e interdisciplinario, indicando que la colaboración entre países, favorece la integración de innovaciones automatizadas, especialmente en actividades de riesgo en la construcción (Adami et al., 2021; Aghimien et al., 2024). No obstante, en países en desarrollo, los costos elevados dificultan la incorporación de estas tecnologías (Yankah et al., 2024). Las áreas de conocimientos como la ingeniería y ciencias de la computación, reafirma el enfoque multidisciplinario de la construcción 4.0; la implementación efectiva de la automatización, en la construcción modular, requiere la integración de diferentes áreas, incluyendo diseño y gestión de procesos (Feldmann, 2022); es obvio que, existe relación, entre la innovación en automatización de la construcción (Leder et al., 2022) y la sostenibilidad del sector (Follini et al., 2020; Abkar et al., 2023; Vidovszky y Szögi, 2024; Lai et al., 2024; Leder et al., 2024); del mismo modo, el empleo de herramientas digitales para la simulación de operaciones en la construcción (Saini et al., 2022).

El desarrollo semántico destaca que los conceptos clave como “construction 4.0”, “Automation” y “robotics” son fundamentales. Conviene señalar que el estudio efectuado por Hoffmann et al. (2020), enfatizan que la impresión 3D, como tecnología, posibilita la optimización de tiempos y costos, junto con el diseño modular, son clave en la evolución en la construcción automatizada (Hoffmann et al., 2020;

Feldmann, 2022; Xu et al., 2022; Vidovszky y Szögi, 2024 ; Hiramatsu et al., 2024), como la fabricación robótica (Wagner et al., 2020; Zhang et al., 2021) y la cooperación entre robots para el ensamblaje de estructuras (Bruun et al., 2021; Li, 2021; Kajzr et al., 2021; Chai et al., 2022; Codarin, 2023, Liu et al., 2024; Leder y Menges, 2024 ), minimizando el volumen de desperdicio de material, particularmente en la ejecución de estructuras de concreto (Khosravani y Haghighi, 2022; Rehman et al., 2024), incrementando la productividad con la incorporación de sistemas multirrobóticos (Prieto et al., 2024) y la seguridad en las actividades de la construcción (Naranjo et al., 2023; Chea et al., 2024). El mapa temático expone que temas como la robótica y la automatización en la construcción, lo

que concuerda con investigaciones, que han reconocido estas tecnologías como esenciales, para el avance en la industria de la construcción (Kim et al., 2021; Davila y Oyedele, 2022; Park et al., 2024; Liu et al., 2024); otros temas, como el diseño computacional y la fabricación robótica, tienen un considerable potencial para aplicaciones futuras (Prieto, Xu, et al., 2024), con relación a la cultura organizacional y la planificación, el control y prácticas de aseguramiento de la calidad (Park et al., 2022; Faltein y Sukdeo, 2024), en comparación con los procesos convencionales (Marcher et al., 2021). El aporte principal de esta investigación es presentar un exhaustivo análisis bibliométrico, sobre la integración de la automatización en la edificación 4.0, destacando los actores, revistas y áreas de conocimiento, detallando las tendencias actuales y futuros estudios, que incorpora la tecnología emergente en el sector de la construcción, tales como la impresión en 3D, la robótica y la inteligencia artificial.

## CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico efectuado, permite evidenciar el crecimiento en la producción científica, sobre la integración de la automatización en la construcción 4.0, desde el 2020 hasta octubre de 2024. Se destaca la colaboración internacional y la diversidad de enfoques multidisciplinario del tema, predominado la robótica y la automatización, como consecuencia del desafío de la industria de la construcción, a la implementación de tecnológicas avanzadas, que incluye la robótica, la automatización y el Building Information Modeling (BIM), como herramientas clave. Respecto a la autoría y la publicación destaca Leder y Menges (, tanto en producción como en citación. Las revistas “Automation in Construction” y “Sustainability (Switzerland)”, destacan en la difusión de investigaciones. Además, países como Estados Unidos, China y Alemania lideran la producción científica, señalando un dominio en la aplicación de automatización avanzada en la industria de la construcción, mientras que la limitada participación de países en desarrollo subraya una brecha tecnológica impulsada por barreras económicas. En cuanto al desarrollo semántico, el nodo central “construction 4.0” y su vínculo con términos como “automation” y “robotics”, indican que estas tecnologías están integradas a la modernización del sector. Cabe mencionar que, conceptos asociados a la impresión 3D y a la fabricación, busca mejorar la calidad, reducir costos, disminuir residuos y la sostenibilidad del sector. Los temas motores, ubicados en el cuadrante superior derecho del mapa temático, como robótica y construcción 4.0, se perfilan como áreas estratégicas de futuro desarrollo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abkar, M. M. A., Yunus, R., Al-Shameri, A. S. A. S., Harouache, A., & Gamil, Y. (2023). An empirical investigation of automation technology as material waste mitigation measure at Johor construction sites. *Frontiers in Built Environment*, 9, 1232195. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1232195>

- Adami, P., Rodrigues, P. B., Woods, P. J., Becerik-Gerber, B., Soibelman, L., Copur-Gencturk, Y., & Lucas, G. (2021). Effectiveness of VR-based training on improving construction workers' knowledge, skills, and safety behavior in robotic teleoperation. *Advanced Engineering Informatics*, *50*, 101431. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101431>
- Aghimien, D., Ikuabe, M., Aghimien, L. M., Aigbavboa, C., Ngcobo, N., & Yankah, J. (2024). PLS-SEM assessment of the impediments of robotics and automation deployment for effective construction health and safety. *Journal of Facilities Management*, *22*(3), 458-478. <https://doi.org/10.1108/JFM-04-2022-0037>
- Agrawal, A. K., Zou, Y., Chen, L., Abdelmegid, M. A., & González, V. A. (2024). Moving toward lean construction through automation of planning and control in last planner system: A systematic literature review. *Developments in the Built Environment*, *18*, 100419. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100419>
- Barrios Serna, K. V., Orozco Núñez, D. M., Pérez Navas, E. C., & Conde Cardona, G. (2021). Nuevas recomendaciones de la versión PRISMA 2020 para revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Acta Neurológica Colombiana*, *37*(2), 105-106. <https://doi.org/10.22379/24224022373>
- Bibliometrix. (2023). *Bibliometrix—Home*. <https://www.bibliometrix.org/home/>
- Bruun, E. P. G., Pastrana, R., Paris, V., Beghini, A., Pizzigoni, A., Parascho, S., & Adriaenssens, S. (2021). Three cooperative robotic fabrication methods for the scaffold-free construction of a masonry arch. *Automation in Construction*, *129*, 103803. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103803>
- Chai, H., Wagner, H. J., Guo, Z., Qi, Y., Menges, A., & Yuan, P. F. (2022). Computational design and on-site mobile robotic construction of an adaptive reinforcement beam network for cross-laminated timber slab panels. *Automation in Construction*, *142*, 104536. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104536>
- Chea, C. P., Bai, Y., & Zhou, Z. (2024). Design and development of robotic collaborative system for automated construction of reciprocal frame structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, *39*(10), 1550-1569. <https://doi.org/10.1111/mice.13145>
- Codarin, S. (2023). Enhancing the workforce in construction: Robotic concrete printing in Detroit. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, *25*, 233-242. <https://doi.org/10.36253/techne-13704>
- Cuevas Molano, E., Sánchez Cid, M., & Matosas-López, L. (2019). Análisis bibliométrico de estudios sobre la estrategia de contenidos de marca en los medios sociales. *Comunicación y Sociedad*, 1-25. <https://doi.org/10.32870/cys.v2019i0.7441>
- Davila Delgado, Manuel, J. M., & Oyedele, L. (2022). Robotics in construction: A critical review of the reinforcement learning and imitation learning paradigms. *Advanced Engineering Informatics*, *54*, 101787. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101787>
- Faltein, S. A., & Sukdeo, N. I. (2024). Culture-driven quality enhancement: Uncovering the impact of robotics integration in the South African construction sector. *Ain Shams Engineering Journal*, *15*(6), 102728. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102728>
- Feldmann, F. G. (2022). Towards Lean Automation in Construction—Exploring Barriers to Implementing Automation in Prefabrication. *Sustainability*, *14*(19), 12944. <https://doi.org/10.3390/su141912944>
- Follini, C., Magnago, V., Freitag, K., Terzer, M., Marcher, C., Riedl, M., Giusti, A., & Matt, D. T. (2020). BIM-Integrated Collaborative Robotics for Application in Building Construction and Maintenance. *Robotics*, *10*(1), 2. <https://doi.org/10.3390/robotics10010002>
- Hiramatsu, T., Saiki, M., Hara, N., Yamada, M., & Sugiura, H. (2024). Study of Force Control for Construction Automation. *Journal of Robotics and Mechatronics*, *36*(2), 284-293. <https://doi.org/10.20965/jrm.2024.p0284>

- Hoffmann, M., Skibicki, S., Pankratow, P., Zieliński, A., Pajor, M., & Techman, M. (2020). Automation in the Construction of a 3D-Printed Concrete Wall with the Use of a Lintel Gripper. *Materials*, *13*(8), 1800. <https://doi.org/10.3390/ma13081800>
- Kajzr, D., Brousek, J., Petr, T., Faculty of Mechatronics, Informatics and Interdisciplinary Studies, Faculty of Mechanical Engineering, Technical university of Liberec, Liberec, Czech Republic, Beran, L., Diblík, M., & Vozenilek, R. (2021). New design of Plc-Based Robotic Control System for Concrete Printing in Building Construction. *MM Science Journal*, *2021*(6), 5346-5352. [https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021\\_12\\_2021051](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021_12_2021051)
- Kavaliauskas, P., Fernandez, J. B., McGuinness, K., & Jurelionis, A. (2022). Automation of Construction Progress Monitoring by Integrating 3D Point Cloud Data with an IFC-Based BIM Model. *Buildings*, *12*(10), 1754. <https://doi.org/10.3390/buildings12101754>
- Khaleel, A., & Naimi, S. (2022). Automation of cost control process in construction project building information modeling (BIM). *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, *10*(6), 28. <https://doi.org/10.21533/pen.v10i6.3354>
- Khosravani, M. R., & Haghghi, A. (2022). Large-Scale Automated Additive Construction: Overview, Robotic Solutions, Sustainability, and Future Prospect. *Sustainability*, *14*(15), 9782. <https://doi.org/10.3390/su14159782>
- Kim, T., Lee, D., Lim, H., Lee, U.-K., Cho, H., & Cho, K. (2021). Exploring research trends and network characteristics in construction automation and robotics based on keyword network analysis. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, *20*(4), 442-457. <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1798774>
- Lai, Z., Xiao, Y., Chen, Z., Li, H., & Huang, L. (2024). Preserving Woodcraft in the Digital Age: A Meta-Model-Based Robotic Approach for Sustainable Timber Construction. *Buildings*, *14*(9), 2900. <https://doi.org/10.3390/buildings14092900>
- Leder, S., Kim, H., Oguz, O. S., Kubail Kalousdian, N., Hartmann, V. N., Menges, A., Toussaint, M., & Sitti, M. (2022). Leveraging Building Material as Part of the In-Plane Robotic Kinematic System for Collective Construction. *Advanced Science*, *9*(24), 2201524. <https://doi.org/10.1002/advs.202201524>
- Leder, S., Kim, H., Sitti, M., & Menges, A. (2024). Enhanced co-design and evaluation of a collective robotic construction system for the assembly of large-scale in-plane timber structures. *Automation in Construction*, *162*, 105390. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105390>
- Leder, S., & Menges, A. (2024). Merging architectural design and robotic planning using interactive agent-based modelling for collective robotic construction. *Journal of Computational Design and Engineering*, *11*(2), 253-268. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwae028>
- Li, H. (2021). Application and Analysis of Internet and Information Technology in Higher Education Computer Teaching. *2021 4th International Conference on Information Systems and Computer Aided Education*, 843-846. <https://doi.org/10.1145/3482632.3483033>
- Liu, Y., Alias, A. H. B., Haron, N. A., Bakar, N. A., & Wang, H. (2024). Technology status tracing and trends in construction robotics: A patent analysis. *World Patent Information*, *76*, 102259. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2023.102259>
- Liu, Y., Belousov, B., Schneider, T., Harsono, K., Cheng, T.-W., Shih, S.-G., Tessmann, O., & Peters, J. (2024). Advancing Sustainable Construction: Discrete Modular Systems & Robotic Assembly. *Sustainability*, *16*(15), 6678. <https://doi.org/10.3390/su16156678>
- Marcher, C., Giusti, A., & Matt, D. T. (2021). On the Design of a Decision Support System for Robotic Equipment Adoption in Construction Processes. *Applied Sciences*, *11*(23), 11415. <https://doi.org/10.3390/app112311415>

- Naranjo, J. E., Valle, A., Cruz, A., Martín, M., Anguera, M., García, P., & Jiménez, F. (2023). Automation of haulers for debris removal in tunnel construction. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 38(14), 2030-2045. <https://doi.org/10.1111/mice.12997>
- Park, E. S., Seo, H. C., & Lee, A. Y. (2022). Development of a Multi-Layer Marking Toolkit for Layout-Printing Automation at Construction Sites. *Sensors*, 22(13), 4822. <https://doi.org/10.3390/s22134822>
- Park, J. K., & Lee, K. W. (2022). Efficiency Analysis of Construction Automation Using 3D Geospatial Information. *Sensors and Materials*, 34(1), 415. <https://doi.org/10.18494/SAM3707>
- Park, S., Wang, X., Menassa, C. C., Kamat, V. R., & Chai, J. Y. (2024). Natural language instructions for intuitive human interaction with robotic assistants in field construction work. *Automation in Construction*, 161, 105345. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105345>
- Pereira Da Silva, N., Eloy, S., & Resende, R. (2022). Robotic construction analysis: Simulation with virtual reality. *Heliyon*, 8(10), e11039. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11039>
- Prieto, S. A., Giakoumidis, N., & García De Soto, B. (2024). Multiagent robotic systems and exploration algorithms: Applications for data collection in construction sites. *Journal of Field Robotics*, 41(4), 1187-1203. <https://doi.org/10.1002/rob.22316>
- Prieto, S. A., Xu, X., & García De Soto, B. (2024). A guide for construction practitioners to integrate robotic systems in their construction applications. *Frontiers in Built Environment*, 10, 1307728. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1307728>
- Rada, A. O., Kuznetsov, A. D., Zverev, R. E., & Timofeev, A. E. (2023). Automation of monitoring construction works based on laser scanning from unmanned aerial vehicles. *Nanotechnologies in Construction A Scientific Internet-Journal*, 15(4), 373-382. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-4-373-382>
- Rehman, A. U., Kim, I.-G., & Kim, J.-H. (2024). Towards full automation in 3D concrete printing construction: Development of an automated and inline sensor-printer integrated instrument for in-situ assessment of structural build-up and quality of concrete. *Developments in the Built Environment*, 17, 100344. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100344>
- Saini, G. S., Erge, O., Ashok, P., & Van Oort, E. (2022). Well Construction Action Planning and Automation through Finite-Horizon Sequential Decision-Making. *Energies*, 15(16), 5776. <https://doi.org/10.3390/en15165776>
- Saini, G. S., Pournazari, P., Ashok, P., & Van Oort, E. (2022). Intelligent Action Planning for Well Construction Operations Demonstrated for Hole Cleaning Optimization and Automation. *Energies*, 15(15), 5749. <https://doi.org/10.3390/en15155749>
- Spinner, A., & Degani, A. (2024). Online as-Built Building Information Model Update for Robotic Monitoring in Construction Sites. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 110(2), 50. <https://doi.org/10.1007/s10846-024-02087-2>
- Vidovszky, I., & Szögi, T. (2024). Az építésautomatizálás technológiai lehetőségei: Az ipar 4.0 szemlélet kibontakozása az építőiparban. *Építés – Építészettudomány*, 52(1-2), 105-123. <https://doi.org/10.1556/096.2024.00108>
- VOSviewer. (2023). *VOSviewer—Visualizing scientific landscapes*. <https://www.vosviewer.com/>
- Wagner, H. J., Alvarez, M., Kyjaneck, O., Bhiri, Z., Buck, M., & Menges, A. (2020). Flexible and transportable robotic timber construction platform – TIM. *Automation in Construction*, 120, 103400. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103400>
- Wang, Y., Lu, H., Wang, Y., Yang, Z., Wang, Q., & Zhang, H. (2024). A hybrid building information modeling and collaboration platform for automation system in smart construction. *Alexandria Engineering Journal*, 88, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.01.013>

- Waqar, A., Alrasheed, K. A., & Benjeddou, O. (2024). Enhancing construction management outcomes through the mitigation of robotics implementation barriers: A sustainable practice model. *Environmental Challenges*, *16*, 100989. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100989>
- Wong Chong, O., Zhang, J., Voyles, R. M., & Min, B.-C. (2022). BIM-based simulation of construction robotics in the assembly process of wood frames. *Automation in Construction*, *137*, 104194. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104194>
- Xu, W., Huang, S., Han, D., Zhang, Z., Gao, Y., Feng, P., & Zhang, D. (2022). Toward automated construction: The design-to-printing workflow for a robotic in-situ 3D printed house. *Case Studies in Construction Materials*, *17*, e01442. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01442>
- Yankah, J. E., Adjei, K. O., & Tieru, C. K. (2024). Apps as partial replacement for robotics and automation systems in construction health and safety management. *Frontiers in Engineering and Built Environment*, *4*(2), 90-100. <https://doi.org/10.1108/FEBE-07-2023-0033>
- Zhang, Y., Meina, A., Lin, X., Zhang, K., & Xu, Z. (2021). Digital Twin in Computational Design and Robotic Construction of Wooden Architecture. *Advances in Civil Engineering*, *2021*(1), 8898997. <https://doi.org/10.1155/2021/8898997>

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

### **Resistencia y beneficios ambientales de cenizas agrícolas y fibras naturales en el concreto**

### **Strength and environmental benefits of agricultural ashes and natural fibers in concrete**

Yessenia Rosales<sup>1</sup> \* y Manuel Laurencio<sup>1</sup> 

#### **RESUMEN**

Este artículo analiza el uso de residuos agrícolas y fibras naturales como materiales alternativos en la producción de concreto con el objetivo de reducir el consumo de cemento y el impacto ambiental. Se realizó una revisión sistemática de estudios publicados entre 2017 y 2025, en inglés y español, obtenidos de la base de datos Scopus y enfocados en las áreas de ingeniería y tecnología de materiales. Los residuos agrícolas, como la ceniza de cáscara de arroz con más del 70 % de óxidos puzolánicos, permiten reemplazar hasta el 20 % del cemento y mejorar la resistencia a la compresión en un 30 %. Por otro lado, las fibras naturales como la celulosa, kenaf y aguja de pino rojo incrementan la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto. En particular, la adición de 0,5 % de fibra de celulosa reduce la penetración de agua en un 24 %, la permeabilidad en un 42 % y el ancho de grietas en un 85 %. Estos resultados evidencian que el uso de materiales de origen natural no solo mejora el desempeño del concreto, sino que a su vez contribuye a una construcción más sostenible.

**Palabras clave:** Cenizas agrícolas; fibras naturales; propiedades del concreto; sustitución de cemento; fibras de celulosa.

#### **ABSTRACT**

This article analyzes the use of agricultural waste and natural fibers as alternative materials in concrete production, with the aim of reducing cement consumption and environmental impact. A systematic review was conducted of studies published between 2017 and 2025, in English and Spanish, obtained from the Scopus database and focused on the areas of materials engineering and technology. Agricultural waste, such as rice husk ash with over 70% pozzolanic oxides, can replace up to 20% of cement and improve compressive strength by 30%. Furthermore, natural fibers, such as cellulose, kenaf, and red pine needle, increase the mechanical strength and durability of concrete. In particular, the addition of 0.5% cellulose fiber reduces water penetration by 24%, permeability by 42%, and crack width by 85%. These results show that the use of natural materials not only improves concrete performance but also contributes to more sustainable construction.

**Keywords:** Agricultural ash; natural fibers; concrete of properties; cement replacement; cellulose fibers.

\* Autor para correspondencia

---

<sup>1</sup> Universidad Católica Sedes Sapientiae, Perú. Email: [2019100615@ucss.pe](mailto:2019100615@ucss.pe), [mllaurencio@ucss.edu.pe](mailto:mllaurencio@ucss.edu.pe)

## INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción enfrenta desafíos significativos debido al elevado consumo de recursos naturales no renovables, la alta demanda energética y su impacto ambiental (Abdalla et al., 2023). El concreto, ampliamente utilizado en la construcción por sus propiedades de resistencia, depende de estos recursos, lo que podría llevar a su escasez (Gouda et al., 2023). Este incremento en la utilización de materiales convencionales se atribuye al crecimiento económico y al consecuente aumento del nivel de vida. Además, la producción de cemento y agregados genera grandes emisiones de CO<sub>2</sub> debido al uso de electricidad, combustibles y explosivos durante su procesamiento y transporte (Kareem et al., 2022). El uso de materiales alternativos puede contribuir a mitigar estos impactos, reduciendo el agotamiento de los recursos naturales y la contaminación ambiental. Una opción viable es la incorporación de fibras naturales y residuos agrícolas, los cuales han demostrado su potencial para disminuir las emisiones de carbono y mejorar la sostenibilidad del concreto (Padavala et al., 2024; Bhutto et al., 2024). La incorporación de estos residuos no solo permite una gestión eficiente de los desechos agrícolas, sino que también es una estrategia efectiva que protege el medio ambiente (Ahmad et al., 2023).

En países con fuerte actividad agrícola, como India, los residuos agrícolas representan más del 58% del Producto Bruto Interno (PBI) y contribuyen con aproximadamente con el 16% del PBI nacional. Investigaciones indican que los residuos agrícolas, cuando son procesados adecuadamente, poseen propiedades puzolánicas que los hacen idóneos para sustituir parcialmente el cemento en la producción de concreto, mejorando su resistencia y durabilidad (Ahsan y Hossain, 2018). Se estima que esta práctica podría reducir el consumo mundial de cemento en aproximadamente 121 millones de toneladas anuales (Gudainiyan y Kishore, 2023). Estos residuos, ricos en SiO<sub>2</sub>, han demostrado mejorar las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto cuando se incorporan de manera adecuada (Roselló et al., 2017).

Por otro lado, el concreto reforzado con fibras es altamente valorado en la construcción debido a su alto rendimiento mecánico y su durabilidad. La adición de fibras es una estrategia eficaz para mejorar las propiedades del concreto, reduciendo su impacto ambiental y sus costos en comparación con otros métodos de refuerzo (Rajkohila et al., 2024). Esta práctica ha sido ampliamente aplicada en infraestructuras civiles, donde el concreto reforzado con fibras ha demostrado ser una opción confiable (Meng et al., 2020). Sin embargo, la variabilidad en la composición y estructura de las fibras afecta su desempeño en el concreto, por lo que es fundamental seleccionar el tipo adecuado según la aplicación específica. Estas fibras naturales presentan un alto potencial como materiales de construcción sostenibles, lo que subraya la importancia de su caracterización y evaluación (Basu et al., 2023).

Entre las fibras naturales utilizadas, destaca la fibra de celulosa, una materia orgánica ampliamente distribuido en la naturaleza. Para mejorar su desempeño en el concreto, estas fibras requieren un pretratamiento químico que elimine compuestos como la lignina, lo que permite una mayor durabilidad y compatibilidad con la matriz cementosa (Hasan et al., 2023). La fibra de celulosa presenta ventajas como su bajo costo de procesamiento, capacidad de reciclaje y su ausencia de toxicidad. Su incorporación en el concreto contribuye a la transferencia de tensiones y retrasa la propagación de grietas. Estudios han demostrado que la estructura en red que forma la fibra en la pasta de cemento mejora la viscosidad de la matriz, lo que incrementa la resistencia a la flexión y ductilidad del concreto. Además, la fibra de celulosa puede optimizar el proceso de curado interno, favoreciendo la hidratación del cemento y mejorando las propiedades mecánicas del material (Wei et al., 2021).

A pesar del creciente interés en el uso de residuos agrícolas y fibras naturales en el concreto, aún existen incertidumbres sobre su impacto combinado en propiedades clave como resistencia y durabilidad. La variabilidad en los tratamientos y la falta de estandarización en su procesamiento dificultan la comparación de resultados entre estudios. Por ello, es fundamental una revisión integral que analice los avances recientes y evalúe su aplicabilidad en la construcción.

Esta revisión tiene como objetivo evaluar la viabilidad de estos materiales alternativos en la producción de concreto. Se analizarán estudios previos y casos de éxito, comparando el impacto de distintos residuos agrícolas como sustitutos parciales del cemento. Entre ellos se incluyen la ceniza de cáscara de arroz (RHA), la paja de trigo (WSA), el bagazo de caña de azúcar (SBA), la ceniza de tallo de maíz (CTM) y la ceniza de hojas de bambú (BLA), así como la adición de fibras de bambú, paja de maíz, aguja de pino rojo y fibras de celulosa. Se prestará especial atención a la influencia en la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto, con el fin de proporcionar una visión crítica sobre su potencial en la industria de la construcción.

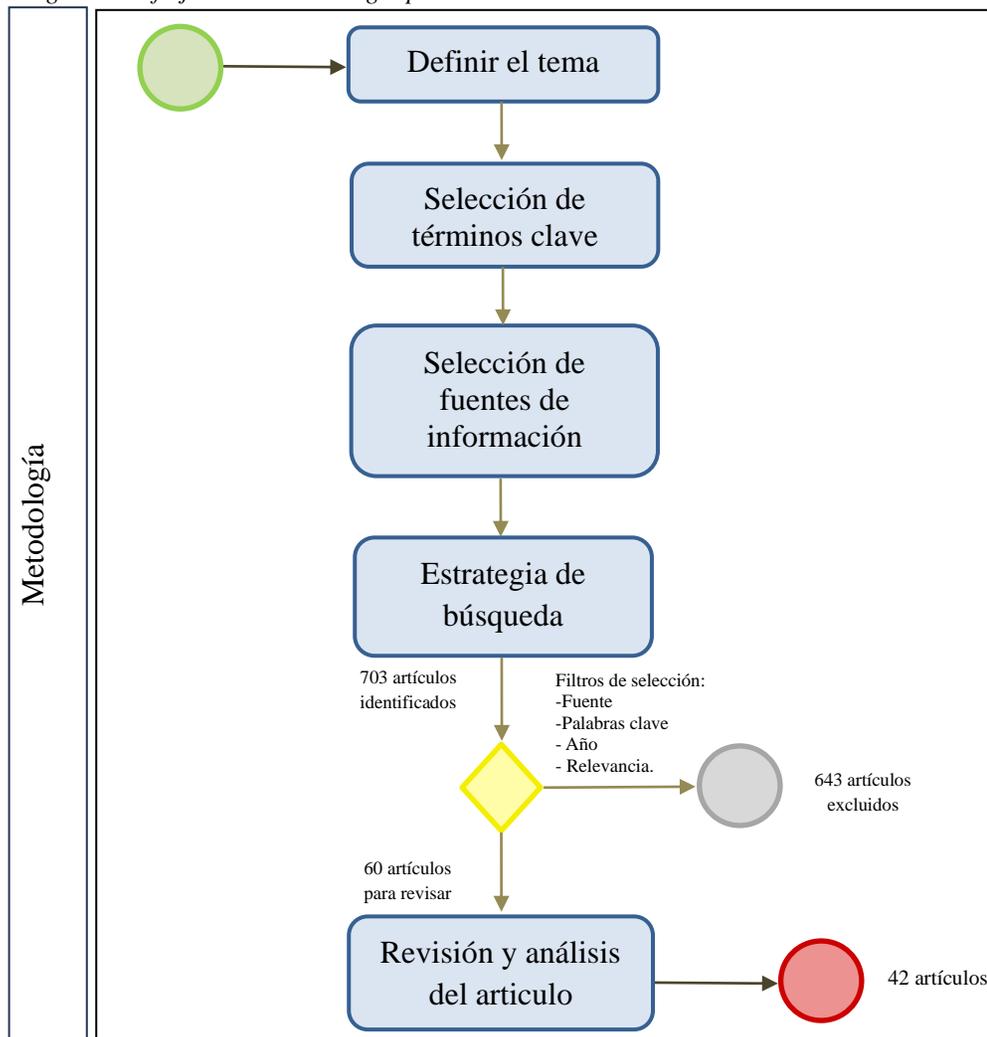
## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se realizó mediante una revisión sistemática de la literatura científica enfocada en el uso de residuos agrícolas y fibras naturales en la elaboración de concreto. El estudio se llevó a cabo en el ámbito de la Ingeniería civil y la Tecnología Materiales, abarcando publicaciones comprendidas entre los años 2017 y 2025. Para la búsqueda y recopilación de información, se emplearon bases de datos académicas, principalmente Scopus, utilizando términos clave como: “properties of concrete”, “agricultural ash”, “natural fibers”, “cellulose fibers” and “cement replacement”. Los criterios de selección incluyeron la relevancia temática, la calidad metodológica de los estudios, y la publicación en idiomas inglés o español. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se identificaron 60

artículos, de los cuales se seleccionaron 42 para un análisis más detallado. Estos estudios abordaron aspectos como la composición química de los residuos agrícolas, los porcentajes de sustitución del cemento, y el impacto de las fibras naturales en la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto. Los datos recopilados fueron organizados en categorías clave, evaluando la influencia de estos materiales en las propiedades del concreto. Esto permitió construir un panorama integral sobre los avances en el uso de alternativas sostenibles y renovables en la construcción, resaltando su potencial para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental de los materiales convencionales.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo de la metodología para una revisión literaria*



*Nota.* El gráfico resume la metodología adoptada para el desarrollo de este artículo de revisión.

## Residuos Agrícolas

Se presenta una tabla que resume los parámetros clave de estos materiales en comparación con el cemento, considerando su gravedad específica, color y tamaño de partícula. Esta información es

esencial para entender cómo estas características físicas influyen en las propiedades y el rendimiento del concreto.

**Tabla 1**

*Características físicas del cemento y diversos residuos agrícolas*

Autor	Parámetro			
	Residuos agrícolas	Gravedad específica	Color	Tamaño de partícula
(Maglad et al., 2023)	Cemento	3.15	Gris	22.5-28 $\mu\text{m}$
(Ramakrishna y Gopi, 2023)	Ceniza de cáscara de arroz	1.375	Gris	25 $\mu\text{m}$
(Bheel, et al., 2024a)	Cenizas de paja de trigo	2.21	Gris	75 $\mu\text{m}$
(Maglad et al., 2023)	Cenizas de bagazo de caña de azúcar	2.38	Negro	75 $\mu\text{m}$
(Jha et al., 2021)	Cenizas de bagazo de caña de azúcar	2.16	Negro	75 $\mu\text{m}$
(Salem et al., 2022)	Ceniza de tallo de maíz	2.15	Gris claro	75 $\mu\text{m}$
(Gavioli et al., 2024)	Ceniza de hoja de bambú	2.62	Gris	14.59 $\mu\text{m}$

*Nota.* Los residuos agrícolas, debido a su color gris, similar al cemento, mejoran la uniformidad visual del concreto. Su alta gravedad específica y finura contribuyen en aumentar la densidad, resistencia, y a funcionar como sustitutos eficientes del cemento.

### Composición Química

La tabla 2 muestra la composición química de los residuos agrícolas en comparación con el cemento, destacando que su contenido en dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) es superior al 70%, lo cual los clasifica como puzolanas de alta calidad de acuerdo con las normas ASTM C 618-08 y NTP 334.104. Los elevados niveles de silicio en los residuos agrícolas les otorgan propiedades puzolánicas, lo que contribuye a mejorar la adhesión y la resistencia mecánica del concreto, como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 2**

*Composición química del cemento y diversos residuos agrícolas*

Autores	Residuos Agrícolas	Silicio ( $\text{SiO}_2$ )	Cal ( $\text{CaO}$ )	Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	Óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	Magnesio ( $\text{MgO}$ )	Trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ )	Oxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	Oxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ )
(Maglad et al., 2023)	Cemento	20	62.34	6.25	3.55	2.12	2.42	0.81	0.75
(Abellan-Garcia et al., 2023)	Ceniza de cáscara de arroz	88.59	0.74	0.31	0.21	0.66	0	0.21	2.46
(Zareei et al., 2017)	Ceniza de cáscara de arroz	86.73	0.39	0.04	0.61	0.08	1.32	9.76	0.01
(Bheel, et al., 2024b)	Cenizas de paja de trigo	67.34	10.6	6.44	4.36	0	1.85	0.47	0
(Maglad et al., 2023)	Cenizas de bagazo de caña de azúcar	75	7.5	3.9	2	2.6	0	0.4	3.1
(Salem et al., 2022)	Ceniza de tallo de maíz	52.3	5.4	16.29	2.42	3.7	0	0.5	6.2

(Nduka et al., 2022)	Ceniza de hoja de bambú	75.1	4.22	3.55	1.34	4.04	0	0	0
----------------------	-------------------------	------	------	------	------	------	---	---	---

*Nota.* Los residuos agrícolas contienen un mayor contenido de silicio y menor de cal en comparación con el cemento. Esta diferencia en composición contribuye a su capacidad para mejorar la compatibilidad y la unión en el concreto.

**Tabla 3**

*Propiedades mecánicas de residuos agrícolas*

Autor	Residuo Agrícola (Material)	Proporción (%)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la flexión (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)
(Ramakrishna y Gopi, 2023)	Ceniza de cáscara de arroz	20%	37.75	4.89	3.74
(Zareei et al., 2017)	Ceniza de cáscara de arroz	20%	93.28	–	6.52
(Bheel, et al., 2024a)	Cenizas de paja de trigo	10%	68.00	5.98	4.25
(Bheel, et al., 2024b)	Cenizas de paja de trigo	10%	33.00	5.16	3.55
(Salem et al., 2022)	Ceniza de tallo de maíz	10%	23.20	4.2	2.5
(Jha et al., 2021)	Cenizas de bagazo de caña de azúcar	10%	35.38	–	2.70

*Nota.* Las propiedades mecánicas de cada residuo agrícola varían según el tipo y la proporción utilizada. La finura y el contenido de silicio son factores que influyen para maximizar su contribución a la resistencia del concreto.

## Fibras Naturales

Se expone una tabla que resume las propiedades mecánicas de diversos tipos de fibras naturales utilizadas en el concreto, resaltando el impacto de cada fibra en las propiedades mecánicas del material.

**Tabla 4**

*Propiedades mecánicas de fibras naturales en el concreto*

Autor	Nombre de la fibra	Longitud(mm)	Reemplazo (%)	Propiedades mecánicas		
				Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)
(Ali et al., 2024)	Fibra de bambú	25.4	1	42.1	7.56	3.82
	Fibra de basalto	6	0.75			
(Jin et al., 2023)	Fibras de paja de maíz (CSF)	30-40	2	39.2	3	–
(Cogurcu, 2022)	Fibras de aguja de pino rojo	30	0.25 y 0.50	125.73 -129.47	21.95 - 22.46	–
(Singh & Gupta, 2020)	Fibra de celulosa	2.1	0.5	36.21	2.18	–
(Ma et al., 2020)	Fibra de celulosa (CFRC)	5-7	0.9	39.46	3.88	3.03
(Ja'e et al., 2023)	Fibra de kenaf	50	1.50	36.21	9.591	2.51

*Nota.* La tabla muestra como la incorporación de distintas fibras naturales mejora las propiedades mecánicas del concreto, especialmente en resistencia a la compresión y flexión.

## Fibras de celulosa

La tabla 5 detalla una comparación de las propiedades mecánicas de diferentes tipos de fibras de

celulosa. La variabilidad en longitud, diámetro y densidad impacta directamente en su comportamiento en el concreto. Estos factores son decisivos para maximizar su efecto, permitiendo mejorar su durabilidad, resistencia y capacidad de autocuración en aplicaciones específicas.

**Tabla 5**

*Propiedades de fibras de celulosa*

Autor	Tipo de FC	Proporción de FC en (%)	Proporción de FC en (Kg/m <sup>3</sup> )	Longitud promedio	Diámetro promedio	Densidad	Resistencia a la tracción	Modulo Elástico
(Singh & Gupta, 2020a)	Ultra fibra 500	0.5	-	2.1 mm	16 µm	1.10 g/cm <sup>3</sup>	750 Mpa	8.5 GPa
(Ma et al., 2020)	Fibra RS2000	-	0.9	5-7 mm	10-20 µm	1.1 g/cm <sup>3</sup>	600-900 Mpa	8.5 GPa
	CTF 900	-	0.9, 1.2 y 1.5	2.1 mm	16 µm	1.109 g/cm <sup>3</sup>	> 900 Mpa	> 8.5 Gpa
(Wu et al., 2024)	CTF850	-	0.9, 1.2 y 1.5	2.8 mm	19 µm	1.109 g/cm <sup>3</sup>	> 850 Mpa	>8.0 Gpa
	CTF 800	-	0.9, 1.2 y 1.5	2.2 mm	16 µm	1.109 g/cm <sup>3</sup>	>800 Mpa	>8.0 Gpa
(Xu et al., 2020)	CTF 960	-	1.0, 1.2, 1.5 y 1.8	2.1 mm	18 µm	1.109 g/cm <sup>3</sup>	960 Mpa	8.5 GPa
(Singh & Gupta, 2020b)	Ultra fibra 500	0.5	-	2.1 mm	16 µm	1.10 g/cm <sup>3</sup>	750 Mpa	8.5 GPa
(Igbokwe et al., 2024)	Ultra Fiber 500	0.45	-	2.1 mm	18 µm	1.1 g/cm <sup>3</sup>	900 Mpa	-
(Gamage et al., 2024)	CTF 960	1.5	-	2.1mm	18 µm	1.10 g/cm <sup>3</sup>	960 Mpa	8.5 GPa

*Nota.* La tabla detalla las propiedades físicas y mecánicas de las fibras de celulosa, destacando cómo su tipo y proporción influyen en el módulo elástico y la resistencia a la tracción.

## RESULTADOS

Los hallazgos sugieren que estos materiales alternativos no solo mejoran significativamente las propiedades del concreto, sino que además representan una opción sostenible para la industria de la construcción.

### Uso de Residuos Agrícolas

Se analizaron estudios que destacan el uso de cenizas derivadas de residuos agrícolas como adiciones puzolánicas al concreto. Entre los residuos evaluados se encuentran la ceniza de cáscara de arroz, paja de trigo, bagazo de caña de azúcar y tallo de maíz. Las cenizas presentan una proporción de óxidos (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) superior al 70 %, cumpliendo con los criterios para ser considerados materiales puzolánicos.

En cuanto al desempeño mecánico, la ceniza de cascara de arroz sobresale por su alta resistencia a la compresión (93.28 MPa), lo que la posiciona como una de las más efectivas para mejorar la capacidad estructural del concreto. Además, su tamaño de partícula fina (25–75 µm) y color gris favorecen su

integración en la mezcla sin alterar la estética del material. La ceniza de paja de trigo, si bien presenta una menor resistencia a la compresión (33–68 MPa), ofrece buenos resultados en resistencia a la flexión (5,98 MPa), lo cual es relevante en aplicaciones donde el concreto está sometido a esfuerzos combinados. Por otro lado, la ceniza de bagazo de caña de azúcar mostró propiedades mecánicas intermedias, con una resistencia a la compresión de 35.38 MPa y la tracción de 2.7 MPa. No obstante, su color negro puede representar una limitación estética. A pesar de ello, su comportamiento mecánico sigue siendo aceptable. En contraste, la ceniza de tallo de maíz presentó los valores más bajos en los tres parámetros mecánicos (23.2 MPa a compresión, 4.2 MPa a flexión y 2.5 MPa a tracción), lo que podría limitar su uso como complemento parcial en mezclas.

En síntesis, aunque todos los residuos analizados presentan viabilidad como adiciones puzolánicas, existen diferencias significativas en su rendimiento. La ceniza de cáscara de arroz y la de paja de trigo se destacan como las más prometedoras, mientras que las cenizas de bagazo de caña y de tallo de maíz podrían requerir tratamientos adicionales para mejorar su reactividad y propiedades mecánicas.

**Tabla 6**

*Comparación de propiedades físicas, químicas y mecánicas de residuos agrícolas utilizados como adiciones puzolánicas en concreto*

Autor	Residuos agrícolas	Parámetros físicos			Composición química		Propiedades mecánicas		
		Gravedad específica	Color	Tamaño de partícula	Propiedades puzolánicas	Proporción (%)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la flexión (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)
(Ramakrishna y Gopi, 2023)	Ceniza de cáscara de arroz	1.375	Gris	25 $\mu\text{m}$	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$	20%	37.75	4.89	3.74
(Zareei et al., 2017)	Ceniza de cáscara de arroz	–	Gris	75 $\mu\text{m}$	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$	20%	93.28	–	6.52
(Bheel, et al., 2024a)	Cenizas de paja de trigo	2.21	Gris	75 $\mu\text{m}$	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$	10%	68	5.98	4.25
(Bheel, et al., 2024b)	Cenizas de paja de trigo	–	Gris	75 $\mu\text{m}$	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$	10%	33	5.16	3.55
(Jha et al., 2021)	Cenizas de bagazo de caña de azúcar	2.16	Negro	75 $\mu\text{m}$	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$	10%	35.38	–	2.7
(Salem et al., 2022)	Ceniza de tallo de maíz	–	Gris	75 $\mu\text{m}$	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$	10%	23.2	4.2	2.5

*Nota.* Los residuos agrícolas analizados cumplen con las propiedades puzolánicas requeridas para su uso en materiales cementicios y destacan por sus propiedades mecánicas para aplicaciones en concreto.

### Incorporación de Fibras Naturales

Fueron revisados estudios que analizan el uso de fibras naturales como refuerzo en concreto, incluyendo fibras de bambú, basalto, paja de maíz (CSF), aguja de pino rojo, kenaf y celulosa, las

cuales presentan diferencias notables en longitud, dosificación y desempeño mecánico. En términos físicos, la longitud de estas fibras varía considerablemente, desde 2.1 mm hasta 50 mm, lo que influye directamente en la trabajabilidad de la mezcla y, en consecuencia, en las propiedades mecánicas del concreto endurecido.

**Tabla 7***Propiedades físicas y mecánicas de fibras naturales*

Autor	Nombre de la fibra	Longitud (mm)	Reemplazo (%)	Reemplazo (kg/m <sup>3</sup> )	Propiedades mecánicas		
					Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)
(Ali et al., 2024)	Fibra de bambú	25.4	1	-	42.1	7.56	3.82
(Jin et al., 2023)	Fibra de basalto	6	0.75	-	39.2	3	-
(Cogurcu, 2022)	Fibras de paja de maíz (CSF)	30-40	2	-	125.73 -129.47	21.95 - 22.46	-
(Ja'e et al., 2023)	Fibras de aguja de pino rojo	30	0.25 - 0.50	-	36.21	9.591	2.51
(Singh & Gupta, 2020)	Fibra de kenaf	50	1.5	-	36.21	2.18	-
(Ma et al., 2020)	Fibra de celulosa (CFRC)	2.1	0.5	0.9	39.46	3.88	3.03
(Xu et al., 2020)	CTF 960	5-7	-	1.5	63.8	-	4.52

*Nota.* La tabla presenta las propiedades físicas y mecánicas de diferentes fibras naturales, estudiadas por su potencial para mejorar las características del concreto y su desempeño en diversas aplicaciones.

## DISCUSIÓN

### Análisis comparativo de uso de Residuos Agrícolas

La utilización de residuos agrícolas, como la ceniza de cáscara de arroz (RHA), el bagazo de caña de azúcar (SBA), la paja de trigo (WSA), ha demostrado ser una alternativa eficaz para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, especialmente en términos de resistencia a la compresión, flexión y tracción. Según Ramakrishna y Gopi (2023), la incorporación de un 20 % de RHA puede incrementar la resistencia a la compresión en un 30 % en comparación con el concreto convencional. Este efecto se atribuye al alto contenido de sílice amorfa presente en la RHA, que favorece las reacciones puzolánicas, mejorando la cohesión de la matriz y la resistencia del concreto (Mostafa et al., 2022).

Sin embargo, los resultados varían según el tipo de residuo, su método de procesamiento, la granulometría y la composición química del material. En el caso de la RHA, su obtención mediante combustión controlada entre 550 °C y 700 °C durante 6 horas permite alcanzar un contenido de silicio amorfo entre el 85 % y el 90 %, lo que maximiza su reactividad puzolánica. En contraste, la combustión a cielo abierto a temperaturas inferiores a 500 °C suele ser incompleta, lo que se traduce en una mayor cantidad de carbono no quemado y una menor reactividad del material (Zareei et al., 2017).

De forma similar, residuos como la WSA, SBA, CTM y BLA han sido tratados mediante combustión controlada en rangos de temperatura entre 500 °C y 750 °C, incluyendo procesos de secado y lavado previos para eliminar impurezas orgánicas y mejorar su desempeño como materiales cementantes suplementarios. Entre ellos, la RHA destaca por ofrecer los mayores beneficios mecánicos debido a su elevada concentración de sílice reactiva. En cambio, otros residuos como la CTM muestran una mayor variabilidad en sus resultados, atribuida a una pérdida por ignición del 9,1 %, indicativa de la presencia de carbono no quemado, lo que puede reducir la eficacia de la reacción puzolánica (Salem et al., 2022). Además, se ha observado que estos residuos presentan bajos contenidos de cal (CaO), lo cual puede mejorar la durabilidad del concreto frente a condiciones ambientales adversas.

Según las normas de la ASTM C618-08 y NTP 334.104, estos residuos pueden clasificarse como puzolanas de alta calidad si su actividad puzolánica supera el 70 %. Sin embargo, su variabilidad requiere una caracterización físico-química detallada para garantizar su eficacia. Factores como el mecanismo de molienda, que influye en la finura del material, y las condiciones de combustión, que afectan la composición química, pueden modificar significativamente el comportamiento del residuo en el concreto (Salem et al., 2022). Una evaluación integral de estos parámetros permitirá establecer rangos óptimos de sustitución y reducir la incertidumbre en los resultados, lo cual es esencial para su implementación a escala industrial.

### **Comparación y Análisis sobre Fibras Naturales**

La incorporación de fibras naturales, como bambú, paja de maíz, agujas de pino rojo y fibras de celulosa, ha demostrado efectos positivos en las propiedades del concreto, especialmente en su resistencia mecánica e impermeabilidad. Entre ellas, las fibras de celulosa destacan por su buena adherencia a la matriz del concreto, atribuida a su longitud y capacidad de absorción de agua, que mejoran la cohesión del material. La longitud y dosificación de las fibras influyen directamente en su efectividad.

Las fibras con longitudes entre 12 y 24 mm han mostrado mejores resultados mecánicos, mientras que aquellas superiores a 50 mm tienden a reducir la trabajabilidad del concreto y generar una distribución no uniforme. Asimismo, dosis de hasta un 2 % en volumen pueden mejorar el desempeño mecánico, pero cantidades mayores pueden provocar dificultades en la mezcla y pérdida de rendimiento (Pham, 2025). Estos hallazgos coinciden con Wang et al. (2024), quienes señalan que las propiedades del concreto fresco y endurecido dependen estrechamente del tipo, tamaño y proporción óptima de fibra utilizada. Esto resalta la necesidad de adaptar estos parámetros a las condiciones estructurales específicas y al entorno de aplicación, ya que no existe una fórmula única aplicable a todos los casos.

El tratamiento previo de las fibras también influye significativamente en su comportamiento dentro del concreto. Según Akinyemi et al. (2020), Gao et al. (2022) y Hasan et al. (2023), técnicas como la impregnación alcalina o el desgomado son esenciales para eliminar compuestos como lignina y hemicelulosa y otros compuestos que afectan la durabilidad del material, ya que disminuyen la compatibilidad química y reducen la durabilidad del compuesto. La omisión de estos tratamientos puede generar biodegradación prematura o una débil adherencia fibra-matriz.

En términos de funcionalidad, las macrofibras como las agujas de pino rojo, fibras de kenaf, paja de maíz, bambú y fibras de basalto son efectivas en el control del ancho de grietas y la prevención de su propagación. A pesar de sus ventajas en resistencia a tracción y módulos elásticos de hasta 303 GPa, estas fibras presentan limitaciones asociadas a su baja durabilidad a largo plazo y su débil adherencia con la matriz del concreto. Por su parte, las microfibras contribuyen a una distribución más homogénea de las tensiones internas y al control de presiones térmicas y de vapor en condiciones extremas (Pham, 2025).

Diversos estudios experimentales refuerzan estos hallazgos. Singh y Gupta (2020) reportaron que la adición de 0.5% de fibra de celulosa reduce la penetración de agua en un 24% y el coeficiente de permeabilidad en un 42% , mejorando la durabilidad del concreto en ambientes húmedos. De manera complementaria, Ma et al. (2020) destacaron que estas fibras también mejoran el comportamiento tensión-deformación en climas fríos, como se evidencia en la presa de la central hidroeléctrica de Nazixia.

Por otro lado, Igbokwe et al. (2024), documentaron una reducción del 85% en el ancho de grietas por contracción plástica, atribuyendo este efecto a la capacidad de las fibras de celulosa de retener agua , facilitando un curado interno y controlando las grietas en etapas tempranas . Estos hallazgos coinciden con los reportes de Wu et al. (2024) quienes destacan las ventajas de las fibras naturales en aplicaciones de alta durabilidad.

### **Implicaciones y Sostenibilidad**

Los resultados de este estudio refuerzan el valor de utilizar residuos agrícolas y fibras naturales como sustitutos parciales del cemento y adiciones complementarias, ya que no solo contribuyen a reducir el consumo de recursos no renovables y la huella de carbono (CO<sub>2</sub>) asociada a la producción de concreto, sino que también mejoran sus propiedades mecánicas y de durabilidad (Thomas et al., 2021). En este contexto, resulta especialmente relevante considerar que la fabricación de una tonelada de cemento Portland (PC) emite entre 1 y 1,25 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y demanda aproximadamente 1,60

MWh de energía, lo que representa un proceso intensivo en recursos y con alto impacto ambiental (Bheel et al., 2024a). La valorización de residuos como material cementante alternativo se presenta, por tanto, como una estrategia sostenible clave frente a los desafíos climáticos y energéticos actuales.

### **Limitaciones y Recomendaciones Futuras**

Pese a los avances reportados, la evidencia disponible presenta limitaciones relevantes. Muchos estudios presentan una falta de uniformidad en los métodos de procesamiento, caracterización y dosificación, lo que dificulta la comparación entre resultados. En particular, residuos como la ceniza de tallo de maíz han mostrado un desempeño mecánico inferior -especialmente con sustituciones del 10 %, debido a su alta pérdida por ignición (9,1 %), indicativa de una elevada presencia de carbono no quemado. En consecuencia, se evidencia la necesidad de optimizar los procesos de calcinación y parámetros de finura, ya que su eficacia se restringe a bajos porcentajes de reemplazo.

Asimismo, la mayoría de las investigaciones se enfocan en ensayos de laboratorio, sin considerar aspectos como la durabilidad a largo plazo, la interacción con ambientes agresivos o el comportamiento estructural a escala real. Se recomienda promover estudios comparativos con protocolos estandarizados, ampliar el análisis a nuevas combinaciones de residuos y fibras naturales, e impulsar evaluaciones a escala piloto e industrial que permitan validar su viabilidad técnica, económica y ambiental para aplicaciones prácticas.

### **CONCLUSIONES**

Los resultados revisados confirman que el uso de residuos agrícolas con propiedades puzolánicas, adecuadamente procesados, permite reducir la demanda de cemento; disminuyendo así las emisiones de CO<sub>2</sub> y promoviendo el aprovechamiento eficiente de desechos agrícolas. Esta estrategia mejora el desempeño del concreto, y al mismo tiempo, representa una alternativa viable en términos ambientales y económicos.

En particular, la ceniza de cáscara de arroz, utilizada como sustituto parcial del cemento en proporciones del 20%, ha logrado mejoras destacables en resistencias a la compresión de hasta 93,28 MPa y resistencia a la tracción de 6,52 MPa, superando incluso al concreto convencional. Por el contrario, la ceniza de tallo de maíz, a una dosificación del 10%, presentó valores mecánicos inferiores -atribuibles a su elevada pérdida por ignición-, situación que evidencia la necesidad de optimizar sus procesos de calcinación y molienda. Respecto a las fibras naturales, los estudios indican que proporciones entre 0.5% y 2% en volumen, con longitudes entre 2.1 mm y 50 mm, son eficaces para mejorar la resistencia a la compresión y flexión del concreto. No obstante, se requiere un tratamiento

alcalino previo para eliminar lignina y componentes corrosivos, con el fin de asegurar una mejor adherencia a la matriz y una mayor durabilidad del material.

Entre las fibras analizadas, las de celulosa destacan por su capacidad para mejorar la resistencia a la tracción, reducir la permeabilidad en un 42% y controlar el ancho de grietas hasta en un 85%, además de favorecer el curado interno gracias a su capacidad de retención de agua. Estas propiedades las posicionan como un refuerzo eficiente y sostenible para aplicaciones en climas húmedos o fríos.

En conjunto, los hallazgos respaldan el uso de residuos agrícolas y fibras naturales como alternativas sostenibles en la fabricación de concreto, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y fomentando prácticas constructivas ambientalmente responsables. Sin embargo, se requiere continuar con investigaciones estandarizadas a escala piloto e industrial para validar estos resultados en condiciones reales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, J. A., Hawileh, R. A., Bahurudeen, A., Jyothsna, G., Sofi, A., Shanmugam, V., & Thomas, B. (2023). A comprehensive review on the use of natural fibers in cement/geopolymer concrete: A step towards sustainability. *Case Studies In Construction Materials*, 19, e02244. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02244>
- Abellan-Garcia, J., Martinez, D. M., Khan, M. I., Abbas, Y. M., & Pellicer-Martínez, F. (2023). Environmentally friendly use of rice husk ash and recycled glass waste to produce ultra-high-performance concrete. *Journal Of Materials Research And Technology*, 25, 1869-1881. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.041>
- Ahmad, J., Arbili, M. M., Alabduljabbar, H., & Deifalla, A. F. (2023). Concrete made with partially substitution corn cob ash: A review. *Case Studies In Construction Materials*, 18, e02100. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02100>
- Ahsan, M. B., & Hossain, Z. (2018). Supplemental use of rice husk ash (RHA) as a cementitious material in concrete industry. *Construction And Building Materials*, 178, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.101>
- Akinyemi, A. B., Omoniyi, E. T., & Onuzulike, G. (2020). Effect of microwave assisted alkali pretreatment and other pretreatment methods on some properties of bamboo fibre reinforced cement composites. *Construction And Building Materials*, 245, 118405. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118405>
- Ali, D. M., Chin, S. C., Bao, C., & Gimbin, J. (2024). Enhancement of reinforced concrete durability and performance by bamboo and basalt fibres. *Physics And Chemistry Of The Earth Parts A/B/C*, 103572. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103572>
- Basu, P., Kumar, R., & Das, M. (2023). Natural and manmade fibers as sustainable building materials. *Materials Today Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.222>

- Bheel, N., Chohan, I. M., Alwetaishi, M., Waheeb, S. A., & Alkhattabi, L. (2024a). Sustainability assessment and mechanical characteristics of high strength concrete blended with marble dust powder and wheat straw ash as cementitious materials by using RSM modelling. *Sustainable Chemistry And Pharmacy*, 39, 101606. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101606>
- Bheel, N., Kumar, S., Kirgiz, M. S., Ali, M., Almujiabah, H. R., Ahmad, M., & Gonzalez-Lezcano, R. A. (2024b). Effect of wheat straw ash as cementitious material on the mechanical characteristics and embodied carbon of concrete reinforced with coir fiber. *Heliyon*, 10(2), e24313. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24313>
- Cogurcu, M. T. (2022). Investigation of mechanical properties of red pine needle fiber reinforced self-compacting ultra high performance concrete. *Case Studies In Construction Materials*, 16, e00970. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00970>
- Gamage, N., Patrisia, Y., Gunasekara, C., Law, D. W., Houshyar, S., & Setunge, S. (2024). Shrinkage induced crack control of concrete integrating synthetic textile and natural cellulosic fibres: Comparative review analysis. *Construction And Building Materials*, 427, 136275. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136275>
- Gao, X., Zhu, D., Fan, S., Rahman, M. Z., Guo, S., & Chen, F. (2022). Structural and mechanical properties of bamboo fiber bundle and fiber/bundle reinforced composites: a review. *Journal Of Materials Research And Technology*, 19, 1162-1190. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.05.077>
- Gavioli, L. M., Mármol, G., Lima, C. G., Teixeira, R. S., & Rossignolo, J. A. (2024). Comparative Performance of M-S-H Cement vs. Portland Cement in Fiber Cement Incorporating Bamboo Leaf Ash and Cellulosic Fibers. *Journal Of Building Engineering*, 91, 109644. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109644>
- Gouda, K. N., Babu, S. V., & Syed, A. B. (2023). Concrete making using salt water instead of fresh water. *Materials Today Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.409>
- Gudainiyan, J., & Kishore, K. (2023). A review on cement concrete strength incorporated with agricultural waste. *Materials Today Proceedings*, 78, 396-402. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.179>
- Hasan, K. F., Champramary, S., Hasan, K. N. A., Indic, B., Ahmed, T., Pervez, M. N., Horváth, P. G., Bak, M., Sándor, B., Hofmann, T., Tolvaj, L., Horváth, A., Kóczán, Z., Sipos, G., Alpár, T., & Bejő, L. (2023). Eco-friendly production of cellulosic fibers from Scots pine wood and sustainable nanosilver modification: A path toward sustainability. *Results In Engineering*, 19, 101244. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101244>
- Hasan, N. M. S., Shaurdho, N. M. N., Basit, M. A., Paul, S. C., Sobuz, M. H. R., & Miah, M. J. (2023). Assessment of the rheological and mechanical properties of palmyra fruit mesocarp fibre reinforced eco-friendly concrete. *Construction And Building Materials*, 407, 133530. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133530>
- Ja'e, I. A., Salih, A. R., Syamsir, A., Min, T. H., Itam, Z., Amaechi, C. V., Anggraini, V., & Sridhar, J. (2023). Experimental and predictive evaluation of mechanical properties of kenaf-polypropylene fibre-reinforced concrete using response surface methodology. *Developments In The Built Environment*, 16, 100262. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100262>
- Jha, P., Sachan, A., & Singh, R. (2021). Agro-waste sugarcane bagasse ash (ScBA) as partial replacement of binder material in concrete. *Materials Today Proceedings*, 44, 419-427. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.751>

- Jin, Z., Mao, S., Zheng, Y., & Liang, K. (2023). Pre-treated corn straw fiber for fiber-reinforced concrete preparation with high resistance to chloride ions corrosion. *Case Studies In Construction Materials*, 19, e02368. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02368>
- Kareem, M., Raheem, A., Oriola, K., & Abdulwahab, R. (2022). A review on application of oil palm shell as aggregate in concrete - Towards realising a pollution-free environment and sustainable concrete. *Environmental Challenges*, 8, 100531. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100531>
- Ma, W., Qin, Y., Li, Y., Chai, J., Zhang, X., Ma, Y., & Liu, H. (2020). Mechanical properties and engineering application of cellulose fiber-reinforced concrete. *Materials Today Communications*, 22, 100818. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100818>
- Maglad, A. M., Amin, M., Zeyad, A. M., Tayeh, B. A., & Agwa, I. S. (2023a). Engineering properties of ultra-high strength concrete containing sugarcane bagasse and corn stalk ashes. *Journal Of Materials Research And Technology*, 23, 3196-3218. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.197>
- Meng, C., Li, W., Cai, L., Shi, X., & Jiang, C. (2020). Experimental research on durability of high-performance synthetic fibers reinforced concrete: Resistance to sulfate attack and freezing-thawing. *Construction And Building Materials*, 262, 120055. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120055>
- Mostafa, S. A., Tayeh, B. A., & Almeshal, I. (2022). Investigation the properties of sustainable ultra-high-performance basalt fibre self-compacting concrete incorporating nano agricultural waste under normal and elevated temperatures. *Case Studies In Construction Materials*, 17, e01453. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01453>
- Nduka, D. O., Olawuyi, B. J., Ajao, A. M., Okoye, V. C., & Okigbo, O. M. (2022). Mechanical and durability property dimensions of sustainable bamboo leaf ash in high-performance concrete. *Cleaner Engineering And Technology*, 11, 100583. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100583>
- Padavala, S. S. A. B., Dey, S., Veerendra, G., & Manoj, A. V. P. (2024). Experimental study on concrete by partial replacement of cement with fly ash and coarse aggregates with palm kernel shells (Pks) and with addition of hybrid fibers. *Chemistry Of Inorganic Materials*, 2, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.cinorg.2024.100033>
- Paul, S. C., Mbewe, P., Kong, S., & Šavija, B. (2019). Agricultural Solid Waste as Source of Supplementary Cementitious Materials in Developing Countries. *Materials*, 12(7), 1112. <https://doi.org/10.3390/ma12071112>
- Pham, T. M. (2025). Fibre-reinforced concrete: state-of-the-art-review on bridging mechanism, mechanical properties, durability, and eco-economic analysis. *Case Studies In Construction Materials*, e04574. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04574>
- Rajkohila, A., Chandar, S. P., & Ravichandran, N. P. T. (2024). Assessing the effect of natural fiber on mechanical properties and microstructural characteristics of high strength concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, 102666. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102666>
- Ramakrishna, J., & Gopi, R. (2023). Experimental investigation on partial replacement of cement and coarse aggregate by rice husk ash and steel slag in concrete. *Materials Today Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.340>
- Roselló, J., Soriano, L., Santamarina, M. P., Akasaki, J. L., Monzó, J., & Payá, J. (2017). Rice straw ash: A potential pozzolanic supplementary material for cementing systems. *Industrial Crops And Products*, 103, 39-50. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.030>

- Salem, S., Hamdy, Y., Abdelraouf, E., & Shazly, M. (2022). Towards sustainable concrete: Cement replacement using Egyptian cornstalk ash. *Case Studies In Construction Materials*, 17, e01193. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01193>
- Singh, H., & Gupta, R. (2020a). Cellulose fiber as bacteria-carrier in mortar: Self-healing quantification using UPV. *Journal Of Building Engineering*, 28, 101090. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101090>
- Singh, H., & Gupta, R. (2020b). Influence of cellulose fiber addition on self-healing and water permeability of concrete. *Case Studies In Construction Materials*, 12, e00324. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00324>
- Thomas, B. S., Yang, J., Mo, K. H., Abdalla, J. A., Hawileh, R. A., & Ariyachandra, E. (2021). Biomass ashes from agricultural wastes as supplementary cementitious materials or aggregate replacement in cement/geopolymer concrete: A comprehensive review. *Journal Of Building Engineering*, 40, 102332. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102332>
- Wang, X., Jin, Y., Ma, Q., & Li, X. (2024). Performance and mechanism analysis of natural fiber-reinforced foamed concrete. *Case Studies In Construction Materials*, 21, e03476. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03476>
- Wei, Y., Song, C., Chen, B., & Ahmad, M. R. (2019). Experimental investigation on two new corn stalk biocomposites based on magnesium phosphate cement and ordinary Portland cement. *Construction And Building Materials*, 224, 700-710. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.100>
- Wu, H., Shen, A., Ren, G., He, Z., Wang, W., & Ma, B. (2024). An experimental investigation and optimization of the properties of concrete containing cellulose fiber based on system theory. *Construction And Building Materials*, 411, 134463. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134463>
- Xu, H., Shao, Z., Wang, Z., Cai, L., Li, Z., Jin, H., & Chen, T. (2020). Experimental study on mechanical properties of fiber reinforced concrete: Effect of cellulose fiber, polyvinyl alcohol fiber and polyolefin fiber. *Construction And Building Materials*, 261, 120610. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120610>
- Zareei, S. A., Ameri, F., Dorostkar, F., & Ahmadi, M. (2017). Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: Evaluating durability and mechanical properties. *Case Studies In Construction Materials*, 7, 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.05.001>



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE JAÉN**

 **¡Hola Revista PAKAMUROS!**

-  pakamuros@unj.edu.pe
-  <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros>
-  Carretera Jaén – San Ignacio Km24 – sector Yanuyacu – Jaén  
Módulo de Ing. Civil – 4° piso