



INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO
CARLOS CISNEROS

TECH
• CARLOS CISNEROS •

REVISTA DE INVESTIGACIÓN,
DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN

NÚMERO 5
DICIEMBRE 2025
ISNN 2737-6036
RIOBAMBA ECUADOR

latindex



Oficina Editorial

INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO

CARLOS CISNEROS

Coordinación de Investigación

Ecuador - Riobamba

Campus Principal, Calles Antonio Santillán y Evangelino Calero

Teléfono: 032 944 818

e-mail: revistatech@istcarloscisneros.edu.ec

ISSN: 2737-6036



Esta obra está bajo una

Licencia de Creative Commons

Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Edición No. 05

RIOBAMBA - ECUADOR 2025

Publicación Anual

Revista Digital

- Los trabajos firmados son de responsabilidad de cada autor.
- Prohibida la reproducción total o parcial de esta revista, por cualquier medio, sin permiso expreso de la oficina editorial.
- Se puede acceder a una versión en PDF en

<https://revistatech.istcarloscisneros.edu.ec/index.php/tech/issue/view/OpenJournalTechN5>



EQUIPO EDITORIAL

EDITORES

Editor & Chief

Ing. Roberto Alejandro Larrea Luzuriaga PhD

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-1568-5113>

Director Editorial

Ing. Cristina Alejandra Orozco Cazco M_Eng

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-1896-1590>

CONSEJO EDITORIAL

Mgs. Irlanda Beatriz Aroca Castillo

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0009-0005-3583-726X>

Mgs. Mónica Alexandra Carrión Cevallos

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-0928-1307>

PhD. Edgar Enrique Orozco Inca

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-1748-7866>

Mgs. Fabián Eduardo Vilema Chuiza

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0002-1201-3592>

Mgs. Luis Alberto Zabala Aguiar

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-3858-0621>

Mgs. Carlos Julio Lliguay Guanga

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0009-0004-7883-6833>

Mgs. Leticia Aureolina Zabala Barragán

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0009-0007-3889-9110>

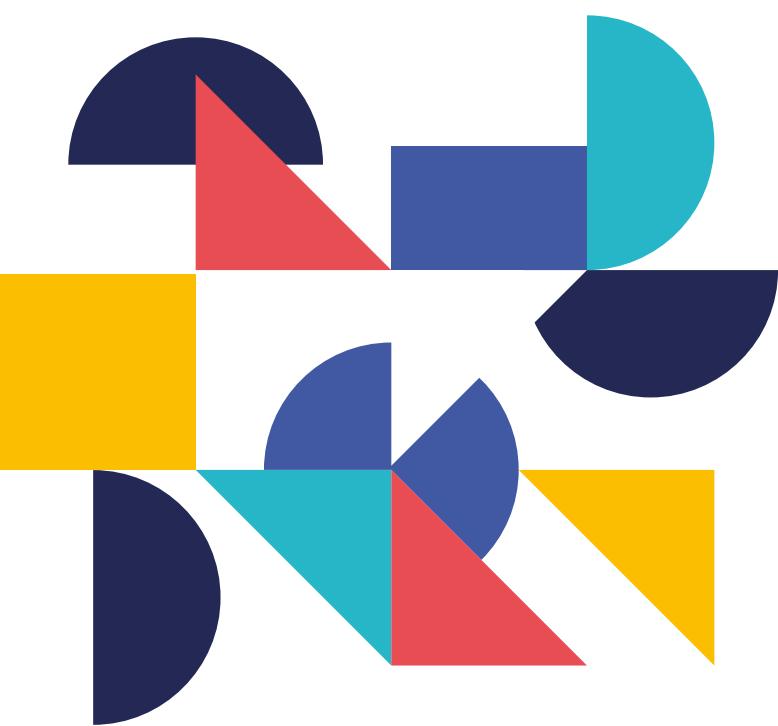
PhD. Luis Miguel Prócel

Universidad San Francisco de Quito, Quito -Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0001-6189-5184>

PhD. Ulises Ruiz Corona

Instituto Nacional de Astrofísica, Puebla-México



TRADUCTOR

Lic. Gabriela Illicachi

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Ing. Fernando Garzón C.

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

EQUIPO TÉCNICO

Ing. Jorge Chávez Mgs.

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

Ing. Renny Montalvo Mgs.

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

COMITÉ CIENTÍFICO & EVALUADORES EXTERNOS



Mgs. Ana Congacha

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Armando Díaz Concepción

Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, La Habana -Cuba

Mgs. Carlos Izurieta Recalde

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Christian Núñez

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Cristian Germán Santiana

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

M_Eng. Cristian Rocha

Universidad de Sevilla, Sevilla-España

PhD. David Moreno

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Edgard Brossard

Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Riobamba-Ecuador

Mgs. Edison Marcelo Castillo

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Eduardo Hernández

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Edwin Pozo

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Edwin Rodolfo Pozo Safla

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

MSc. Enrique Quevedo García

Universidad de Pamplona, Colombia

M_Eng. Fabricio Santacruz

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

M_Eng. Fausto Cabrera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Fernando Molina

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Franklin Eduardo Samaniego Riera

Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador

M_Eng. Gastón Chamba

Universidad Nacional de Loja, Loja -Ecuador

PhD. Gustavo Orozco

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

M_Eng. John Germán Vera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Jorge Hernández Ambato

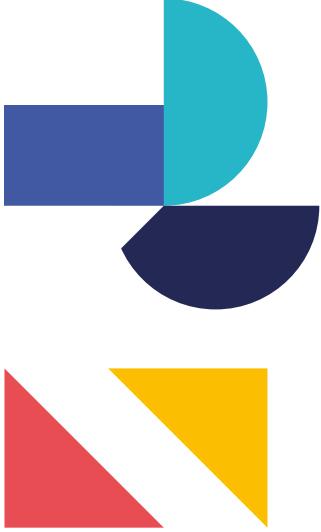
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. José Bolívar García López

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Juan Carlos Cepeda

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador



Mgs. Juan Fernando Auquilla Díaz
Universidad Nacional de Educación, Azogues-Ecuador

Mgs. Kléber Augusto Jaramillo Galarza
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Leonardo Rentería
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Lorena Paulina Molina
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

M_Eng. Luis Chuquimarca
Universidad de la Península de Santa Elena, Santa Elena-Ecuador

Mgs. Luis David Jiménez Jumbo
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

PhD. Luis Fernando Arboleda Álvarez
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Luis Fernando Buenaño
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Luis Patricio Tello
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Marcel Paredes
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Marco Antonio Ordoñez
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Marco Vinicio Guevara Granizo
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Margarita Mayacela
Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador

PhD. María Belén Bravo
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Marta Lucía Ávalos
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Michelle Estefanía Arias Sinchi
Universidad Nacional de Educación, Azogues-Ecuador

Mgs. Nora Tahírí Mejía Cabezas
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Patricio Humanante
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Paul Ricaurte
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Paula Moreno
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Rosa Mayelin Guerra
Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, La Habana -Cuba

PhD. Rosita Graciela Espinoza Gavilanez
Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador

Mgs. Sócrates Miguel Aquino
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Vanessa Vásconeza
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Ximena Aldaz
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

ÍNDICE

- pg. 10** VINCULACIÓN COMUNITARIA Y PERCEPCIÓN DE SEGURIDAD: UN ESTUDIO GEOESPAZIAL SOBRE LA INSTALACIÓN DE ALARMAS COMUNITARIAS EN RIOBAMBA, ECUADOR
- pg. 20** RASPBERRY PI COMO SERVIDOR WEB: UN ENFOQUE PRÁCTICO PARA ENTORNOS EDUCATIVOS
- pg. 32** IMPACTO DE LA PANDEMIA DE COVID-19 EN LA FACTURACIÓN MÉDICA DE UN HOSPITAL PÚBLICO ECUATORIANO DE ACUERDO CON LOS INGRESOS APROBADOS, OBJETADOS Y GENERADOS (2019-2022)
- pg. 42** REVISIÓN DE ESTRATEGIAS NUTRICIONALES, TECNOLÓGICAS Y DE MANEJO PARA MITIGAR LAS EMISIONES DE METANO EN RUMIANTES
- pg. 52** PROTOTIPO FUNCIONAL DE BAJO COSTO PARA LA REHABILITACIÓN PASIVA EN PACIENTES CON SÍNDROME DEL TÚNEL CARPIANO
- pg. 61** ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE CALIDAD SEGÚN LA NORMA ISO 21001 EN LA GESTIÓN EDUCATIVA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO MARTHA BUCARAM
- pg. 72** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN PARA LA DETECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE LIMITACIÓN DE VELOCIDAD
- pg. 84** VALIDACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE EN UN BIODIGESTOR CASERO TIPO BATCH ALIMENTADO CON RESIDUOS PORCINOS
- pg. 93** DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN PRELIMINAR DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO PARA LA ENSEÑANZA DE INGLÉS EN EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA DEL ECUADOR
- pg. 110** DIGITALIZACIÓN EN LA TRANSPARENCIA FISCAL: PRÁCTICAS DE REPORTE Y CUMPLIMIENTO DEL IMPUESTO A LA RENTA 2024, RIOBAMBA ECUADOR
- pg. 121** EFECTO ANTAGÓNICO IN VITRO DE UNA CEPA NATIVA DE TRICHODERMA FRENTA AL PATÓGENO SCLEROTIUM CEPIVORUM
- pg. 132** VARIACIÓN DEL PH DE UN SUELO ÁCIDO MEDIANTE ENMIENDAS CALCÁREAS EN LA PARROQUIA 27 DE SEPTIEMBRE, CARCHI
- pg. 140** SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN PARA ROBOTS MÓVILES EN INTERIORES EMPLEANDO LIFI



PREFACIO



La quinta edición de la revista de divulgación científica TECH Carlos Cisneros representa un nuevo avance en el compromiso institucional por promover la investigación multidisciplinaria de calidad y la difusión del conocimiento con impacto social. En esta ocasión, nos es grato destacar que la revista continúa indexada en el sistema de información académica LatIndex 2.0, una distinción que reafirma el cumplimiento de rigurosos estándares editoriales y fortalece la visibilidad de los trabajos publicados. Esta indexación constituye un elemento fundamental que proyecta a la revista en escenarios locales, nacionales e internacionales, permitiendo que los resultados de investigación aquí difundidos alcancen a comunidades científicas diversas y amplíen su alcance más allá del espacio institucional.

El carácter multidisciplinario de TECH Carlos Cisneros se manifiesta nuevamente en la variedad temática de las contribuciones seleccionadas para esta edición. Las líneas de investigación representadas convergen en un objetivo común: aportar al desarrollo científico y tecnológico mediante la generación de conocimiento fundamentado, pertinente y orientado a la solución de problemáticas contemporáneas. En este sentido, los artículos publicados abarcan áreas vinculadas con la ingeniería, las ciencias de la salud, las tecnologías educativas, la producción agropecuaria sostenible, la robótica, la bioenergía, la gestión institucional, el análisis social y territorial, entre otras. Esta diversidad reafirma que la investigación científica y la innovación tecnológica constituyen pilares para comprender y transformar los desafíos que enfrentan las sociedades modernas.

Expresamos un reconocimiento especial a los autores cuyos trabajos integran esta edición. Su esfuerzo, rigurosidad metodológica y compromiso con la divulgación científica permiten consolidar el prestigio de esta revista. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a los revisores externos que conforman el comité científico, cuya labor objetiva y desinteresada asegura la calidad académica de los artículos publicados. Su participación es esencial para sostener un proceso editorial transparente, ético y con altos estándares.

Finalmente, invitamos a la comunidad académica, investigativa y profesional a continuar enviando sus manuscritos para consideración en futuras ediciones. Mantener un flujo constante de producción científica abierta es fundamental para fortalecer los procesos de investigación y contribuir a la construcción de conocimiento de alto impacto que responda a los desafíos actuales de la sociedad.

A todos nuestros lectores, autores y colaboradores, les agradecemos por ser parte de esta nueva edición.

Con aprecio académico,

Roberto Larrea L.
Editor & Chief Revista TECH

EDITORIAL



La construcción del conocimiento científico depende de la aplicación sistemática del método científico como herramienta fundamental para comprender, analizar y transformar los fenómenos que caracterizan la realidad contemporánea. En el contexto actual, marcado por desafíos sociales, ambientales, económicos y tecnológicos, la investigación rigurosa se presenta como un pilar para el desarrollo sostenible y la formulación de soluciones verificables que permitan mejorar la calidad de vida de las comunidades. Esta edición de la revista TECH Carlos Cisneros reafirma ese compromiso, destacando la relevancia de la investigación multidisciplinaria como fuente de innovación y progreso.

La ciencia, al sustentarse en la observación, la experimentación y la verificación empírica, proporciona los cimientos necesarios para la producción de conocimiento confiable. A su vez, la innovación tecnológica actúa como un catalizador que permite trasladar ese conocimiento a entornos reales, generando avances en sectores clave como la salud, la educación, la ingeniería, la producción agrícola y la gestión pública. En un mundo donde los cambios se aceleran y las demandas sociales se diversifican, la articulación entre ciencia e innovación se convierte en un proceso estratégico para enfrentar problemáticas complejas y promover el desarrollo integral de las sociedades.

En este contexto, la divulgación científica adquiere una importancia decisiva. Difundir el conocimiento en formatos abiertos y accesibles democratiza el acceso a los resultados de la investigación, permite que los avances científicos no queden restringidos a espacios académicos cerrados y fortalece la capacidad de investigadores, docentes, estudiantes, y emprendedores para integrar información científica en sus prácticas.

En esta quinta edición se presentan trece artículos que ejemplifican la diversidad científica y la pertinencia social de las investigaciones desarrolladas. El primer artículo aborda el uso de la Raspberry Pi como servidor web en entornos educativos, demostrando su potencial como herramienta didáctica accesible y de bajo costo. El segundo artículo analiza el impacto de la pandemia de COVID-19 en la facturación médica de un hospital público ecuatoriano, proporcionando evidencia relevante para la gestión financiera del sector salud. Un tercer trabajo presenta una revisión de estrategias nutricionales, tecnológicas y de manejo para mitigar emisiones de metano en rumiantes, temática clave para la sostenibilidad agropecuaria y la mitigación del cambio climático. El cuarto artículo desarrolla un prototipo funcional de bajo costo para la rehabilitación pasiva de pacientes con síndrome del túnel carpiano, aportando soluciones accesibles para la rehabilitación física.

En el ámbito educativo, un quinto estudio examina los indicadores de calidad establecidos en la norma ISO 21001 y su aplicación en la gestión institucional del Instituto Tecnológico Martha Bucaram, contribuyendo al análisis de políticas académicas orientadas a la mejora continua. La sexta contribución presenta la implementación de una aplicación para la detección y reconocimiento de señales de limitación de velocidad, integrando



técnicas de visión computacional con aplicaciones de seguridad vial. El séptimo artículo valida el rendimiento de biogás y biofertilizante en un biodigestor casero tipo batch alimentado con residuos porcinos, aportando evidencia sobre alternativas energéticas sostenibles a pequeña escala. El octavo artículo expone el diseño y la validación preliminar de un prototipo robótico para la enseñanza del inglés en educación general básica, mostrando el potencial de la robótica educativa como herramienta de aprendizaje.

La novena investigación analiza los procesos de reporte y cumplimiento del impuesto a la renta en Riobamba durante 2024, destacando la relevancia de la digitalización en la transparencia fiscal. El décimo artículo evalúa el efecto antagonista *in vitro* de una cepa nativa de *Trichoderma* frente al patógeno *Sclerotium cepivorum*, ofreciendo aportes biotecnológicos para el manejo fitosanitario. El estudio número once examina la variación del pH en suelos ácidos mediante enmiendas calcáreas en la parroquia 27 de septiembre, proporcionando información útil para prácticas agrícolas de mejora de suelos. El duodécimo artículo propone un sistema de geolocalización para robots móviles en interiores basado en tecnología LiFi, integrando avances en comunicaciones ópticas y robótica móvil. Finalmente, el décimo tercer artículo presenta un análisis geoespacial de la percepción de seguridad en comunidades donde se han instalado alarmas comunitarias, ofreciendo evidencia para políticas locales de seguridad ciudadana.

La integración de estos artículos demuestra que la producción científica contemporánea requiere perspectivas diversas, metodologías rigurosas y un enfoque orientado a la innovación. Asimismo, evidencia la pertinencia de generar conocimiento aplicable a diferentes sectores, fortaleciendo la relación entre academia, industria, comunidad y gestión pública. La revista TECH Carlos Cisneros reafirma así su propósito de servir como plataforma de acceso abierto para la difusión del conocimiento científico multidisciplinario.

En este marco, invitamos a la comunidad científica a continuar fortaleciendo sus procesos de investigación, cooperación y divulgación. La ciencia, cuando se comparte de manera abierta, rigurosa y responsable, se convierte en un motor fundamental para el desarrollo social y tecnológico, y constituye un elemento indispensable para construir sociedades más informadas, innovadoras y resilientes.

. Cristina Orozco C.
Director Editorial Revista TECH



INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO
CARLOS CISNEROS

TECH

• CARLOS CISNEROS •

REVISTA DE INVESTIGACIÓN,
DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN

latindex



**VINCULACIÓN COMUNITARIA Y PERCEPCIÓN DE SEGURIDAD: UN
ESTUDIO GEOESPECIAL SOBRE LA INSTALACIÓN DE ALARMAS
COMUNITARIAS EN RIOBAMBA, ECUADOR**

**COMMUNITY ENGAGEMENT AND PERCEPTION OF SECURITY: A
GEOSPATIAL STUDY OF COMMUNITY ALARM INSTALLATION IN
RIOBAMBA, ECUADOR**

VINCULACIÓN COMUNITARIA Y PERCEPCIÓN DE SEGURIDAD: UN ESTUDIO GEOESPACIAL SOBRE LA INSTALACIÓN DE ALARMAS COMUNITARIAS EN RIOBAMBA, ECUADOR

COMMUNITY ENGAGEMENT AND PERCEPTION OF SECURITY: A GEOSPATIAL STUDY OF COMMUNITY ALARM INSTALLATION IN RIOBAMBA, ECUADOR

¹Palacios Naranjo Enrique Javier

²Carrillo López Franklin Hernán

³Pazmiño Armijos Ernesto Vinicio

⁴Cantuña Adriano Guido Hernán.

¹Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, javier.palacios@istcarloscisneros.edu.ec

²Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, franklin.carrillo@istcarloscisneros.edu.ec

³Instituto Superior tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, ernesto.pazmino@istcarloscisneros.edu.ec

⁴Instituto Superior tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, guido.cantuna@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

El presente estudio evaluó el impacto multidimensional y la sostenibilidad de la instalación de alarmas comunitarias en Riobamba, Ecuador, como parte de proyectos de vinculación con la comunidad ejecutados por el Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros. Mediante un diseño cuantitativo, descriptivo y transversal, se aplicó un muestreo aleatorio simple ($n=129$; $N=192$; confianza 95%, error 5%) y una encuesta tipo Likert validada ($\alpha=0,89$), procesada con ArcGIS Survey123, Dashboard y SPSS, integrando análisis descriptivos, correlacionales (Spearman) y geoespaciales. Los resultados mostraron una alta satisfacción ciudadana en todas las fases del proyecto (formulación 42,33%, ejecución 43,88%, resultados 43,61%), destacando la capacitación comunitaria (50,39%) como factor clave. Se identificó una correlación positiva significativa ($\rho=0,63$; $p<0,01$) entre participación ciudadana y percepción de seguridad, junto con una mejora percibida en la reducción de delitos (82,17%) y colaboración interinstitucional (81,40%). Estos hallazgos confirman que la tecnología socialmente apropiada, cuando se combina con procesos de vinculación participativa, potencia la sostenibilidad y efectividad de las intervenciones comunitarias. Se concluye que los proyectos de vinculación tecnológica representan una vía eficaz para fortalecer la seguridad, cohesión social y apropiación tecnológica de las comunidades urbanas, contribuyendo a la consolidación de entornos más seguros y resilientes.

Palabras clave: Vinculación comunitaria, alarmas comunitarias, participación ciudadana, percepción de seguridad, innovación social, análisis geoespacial.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the impact of community outreach projects on the installation and sustainability of community alarm systems in the canton of Riobamba, Ecuador, as a technological and social strategy to strengthen public safety. A quantitative, descriptive, and field-based methodology was applied, using a non-experimental, cross-sectional design. The sample consisted of 129 participants selected from a population of 192 beneficiary families, calculated with a 95% confidence level. Data were collected through a Likert-type survey validated by experts and processed using ArcGIS Survey123, Dashboard, and SPSS, integrating descriptive, correlational, and geospatial analyses. The findings revealed a high level of citizen satisfaction in all project phases (formulation 42.33%, implementation 43.88%, and outcomes 43.61%), with community



training (50.39%) standing out as a key factor. A significant positive correlation ($\rho = 0.63$; $p < 0.01$) was found between community participation and perceived safety, along with perceived improvements in crime reduction (82.17%) and interinstitutional collaboration (81.40%). These results confirm that socially appropriate technology, when combined with participatory outreach processes, enhances the sustainability and effectiveness of community-based security initiatives. It is concluded that technological outreach projects are an effective means to strengthen security, social cohesion, and technological appropriation within urban communities, contributing to the development of safer and more resilient environments.

Keywords: Community outreach, community alarms, citizen participation, security perception, social innovation, geospatial analysis.

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La seguridad comunitaria representa un pilar fundamental para el desarrollo social y el bienestar colectivo, particularmente en contextos urbanos donde la incidencia delictiva afecta directamente la calidad de vida de la población [1]. En América Latina, donde las tasas de victimización superan el promedio global, las estrategias de prevención basadas en participación comunitaria han demostrado una efectividad superior a los enfoques puramente tecnocráticos [2].

Las alarmas comunitarias emergen como mecanismos híbridos que combinan tecnología accesible con organización social, representando intervenciones de bajo costo y alta participación ciudadana [3]. Sin embargo, la instalación de dispositivos técnicos sin procesos de apropiación social conduce invariablemente al fracaso implementado [4]. La teoría de la coproducción de servicios públicos postula precisamente que la efectividad de las intervenciones estatales aumenta significativamente cuando los ciudadanos participan activamente en su diseño e implementación [5].

En Ecuador, específicamente en el cantón Riobamba, la implementación de alarmas comunitarias mediante proyectos de vinculación del Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros" constituye un laboratorio natural para estudiar estos fenómenos. No obstante, persisten vacíos críticos en la literatura respecto a: (a) cómo las dinámicas participativas afectan la sostenibilidad técnica de los sistemas; (b) qué factores perceptuales median entre la instalación tecnológica y la percepción de seguridad; y (c) cómo la georreferenciación puede optimizar la focalización de intervenciones [6].

Este estudio busca llenar estos vacíos mediante un análisis multidimensional que articula dimensiones técnicas, sociales y perceptuales. Las hipótesis que guían la investigación son: (H1) La participación comunitaria en proyectos de vinculación se correlaciona positivamente con la percepción de seguridad; (H2) La capacitación técnica comunitaria incide en la sostenibilidad de los sistemas de alarmas; y (H3) La distribución espacial de la satisfacción ciudadana muestra patrones territoriales específicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de investigación

Se adoptó un diseño de investigación cuantitativo, descriptivo y transversal, adecuado para estudios que buscan medir características y percepciones en poblaciones específicas [7]. El enfoque cuantitativo permitió la medición numérica de las variables de estudio, mientras que el diseño transversal resultó eficiente para evaluar la percepción post-implementación del proyecto [8].

2.2. Población y muestra

La población de estudio estuvo constituida por la totalidad de 192 familias beneficiarias de los proyectos de instalación de alarmas comunitarias ejecutados entre 2022 y 2023 en 115 barrios del cantón Riobamba. Se aplicó un muestreo aleatorio simple para garantizar que cada familia tuviera la misma probabilidad de ser seleccionada, minimizando así los sesgos de selección [9]. El tamaño de la muestra se calculó en 129 participantes (uno por familia) mediante la aplicación de la fórmula (1) para poblaciones finitas, con un nivel de confianza del 95% ($Z=1.96$) y un error muestral del 5%. La elección de esta fórmula asegura la representatividad estadística de los resultados y su capacidad de inferencia sobre la población total. La tasa de respuesta fue del 100%, obtenida mediante visitas domiciliarias programadas y seguimiento telefónico.

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{[(e^2 N - 1)) + (Z^2 \times p \times q)]}$$

donde:

- $N=192$ ($N=192$ (tamaño poblacional)),
- $Z=1.96$ ($Z=1.96$ (nivel de confianza del 95%)),
- $p=0.5$ ($p=0.5$ (máxima variabilidad)),
- $e=0.05$ ($e=0.05$ (error muestral)).

2.3. Instrumentos y validación

Para el estudio se estableció como instrumento principal una encuesta estructurada con 32 ítems basados en una escala Likert de 5 puntos (1 = Muy insatisfecho a 5 = Muy satisfecho). El cuestionario fue organizado en cuatro dimensiones validadas: (a) formulación del proyecto (5 ítems), (b) ejecución (8 ítems), (c) resultados (6 ítems) y (d) impacto comunitario (13 ítems). La validación del instrumento se realizó en dos fases:

1. Se realizó la validez del instrumento mediante juicio de 3 expertos en ciencias



- sociales y tecnología, obteniendo un coeficiente V de Aiken > 0.8 , lo que confirma la relevancia y claridad de los ítems [12].
2. Se realizó un piloto en 15 familias no incluidas en la muestra final, calculando un alfa de Cronbach de 0.89, lo que indica una consistencia interna excelente para la escala [13].

Adicionalmente, se integraron variables sociodemográficas (género, edad, rol en la comunidad) para un análisis segmentado. La recolección de datos se realizó mediante la aplicación ArcGIS Survey123, permitiendo la georreferenciación automática de cada encuesta y la captura de datos en tiempo real.

2.4. Procedimiento y consideraciones éticas

El proceso de recolección de datos se llevó a cabo durante el primer trimestre de 2024. A todos los participantes se les leyó un consentimiento informado que explicaba los objetivos del estudio, el uso confidencial de la información y su derecho a retirarse en cualquier momento. El consentimiento fue obtenido de forma verbal y escrita, cumpliendo con los principios éticos estipulados en la Declaración de Helsinki [14].

3. RESULTADOS

El análisis de los datos se realizó mediante [15],[16]:

- Un análisis descriptivo
- Análisis inferencial
- Análisis geoespacial.

El estudio contó con la participación de 129 personas, representantes de familias beneficiarias del proyecto. El perfil sociodemográfico mostró una distribución equilibrada por género, con predominio femenino (54.26% mujeres vs 45.74% hombres). En cuanto a la distribución etaria, se identificó que el 53.49% correspondía a personas mayores de 36 años, el 41.86% se ubicaba en el rango de 26-35 años, y solo el 4.65% eran menores de 25 años. Respecto al rol en la comunidad, el 95.35% se identificó como beneficiario directo, mientras que el 4.65% restante ejercía funciones de liderazgo comunitario.

3.1. Procedimiento y consideraciones éticas

Tabla 1. Resultados fase formulación del proyecto

Ítems	% satisfactorio
Los trámites administrativos para la formulación	41,86%
1. Identificación clara de las necesidades	42,64%
2. Diseño colaborativo del proyecto	44,19%
3. Definición clara de compromisos y responsabilidades	41,09%
4. Claridad en objetivos y actividades	41,86%
Promedio	42,33%

De la tabla 1, se evidencia que obtuvo un nivel de satisfacción promedio del 42.33%, siendo el diseño colaborativo el aspecto mejor evaluado (44.19%), mientras que la definición de compromisos y responsabilidades registró la valoración más baja (41.09%).

Tabla 2. Niveles de satisfacción en la fase de ejecución del proyecto

Ítems	% satisfactorio
Cumplimiento del cronograma establecido	41,86%
Asignación de recursos materiales y humanos	41,09%
Participación activa de la comunidad en la instalación y mantenimiento	42,64%
Solución de dificultades durante la implementación	43,41%
Capacitación de la comunidad	50,39%
Promedio	43,88%

La Tabla 2 muestra una satisfacción promedio del 43.88%, con la capacitación comunitaria como el elemento destacado (50.39%). Este resultado representa el valor más alto de satisfacción entre todas las dimensiones evaluadas.

Tabla 3. Niveles de satisfacción en la fase de resultados del proyecto



Ítems	% satisfactorio
Cumplimiento de los objetivos del proyecto	44,96%
Colaboración interinstitucional en la implementación	45,74%
Sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de alarmas	42,64%
Calificación general del proyecto	41,09%
Promedio	43,61%

En la Tabla 3, se observa un promedio de satisfacción del 43.61%, donde la colaboración interinstitucional obtuvo la máxima valoración (45.74%), mientras que la calificación general del proyecto registró el nivel más bajo (41.09%).

3.2. Indicadores de impacto del proyecto

En la figura 1 Percepción sobre reducción en la tasa de delitos. El 82.17% de los encuestados (106 de 129) manifestó niveles entre satisfactorio y totalmente satisfactorio respecto a la reducción de delitos en áreas con alarmas comunitarias instaladas. Este resultado representa el indicador de impacto más positivo del proyecto.

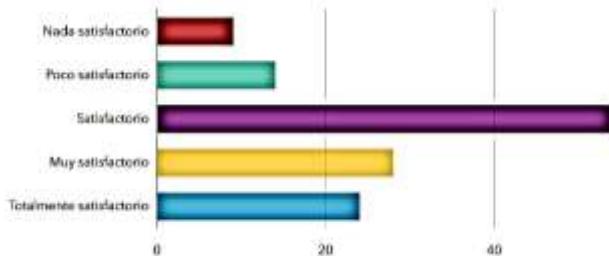


Figura1: Percepción de reducción en la tasa de delitos.

Respecto a la Figura 2. Percepción de seguridad de los residentes muestra concordancia con el indicador anterior, 106 encuestados (82.17%) reportaron niveles satisfactorios y totalmente satisfactorios en su percepción de seguridad, validando la efectividad del proyecto desde la perspectiva de los beneficiarios

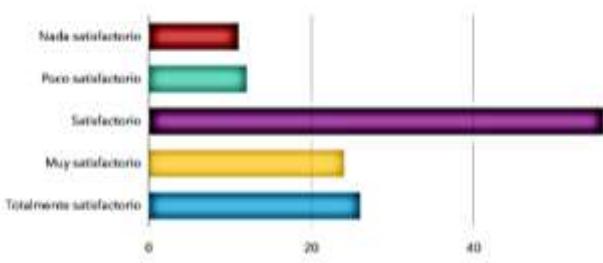


Figura2: Percepción de seguridad de los residentes

El incremento en la colaboración entre el Instituto, instituciones y organizaciones locales para el desarrollo de este tipo de proyectos de vinculación con la comunidad obtuvo el 81.40% de respuestas entre satisfactorio y totalmente satisfactorio, como se muestra en la Figura 3

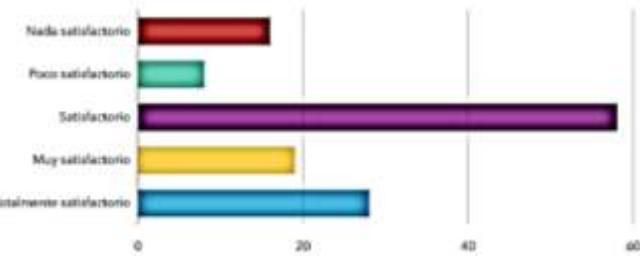


Figura 3: Colaboración Interinstitucional.

En la Figura 4. Mejora en la calidad de vida se evidencia que el 72.09% de los encuestados percibió mejoras en su calidad de vida como resultado de la implementación de las alarmas comunitarias. Si bien este porcentaje es menor en comparación con otros indicadores, representa una valoración positiva considerando la subjetividad del constructo evaluado

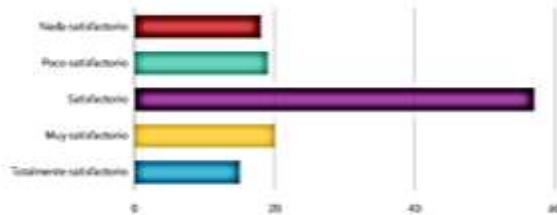


Figura 4: Mejora en la calidad de vida

3.3. Análisis estadísticos y geoespaciales

El análisis de correlación de Spearman reveló una asociación positiva significativa entre participación ciudadana y percepción de seguridad ($\rho = 0.63$; $p < 0.01$), indicando que a mayor involucramiento comunitario en el proyecto, mayor fue la percepción de seguridad reportada.

El análisis geoespacial mediante ArcGIS Dashboard permitió identificar patrones territoriales específicos, mostrando clusters de alta satisfacción en los sectores noroccidentales del cantón Riobamba. Estos sectores coincidieron con las áreas donde se realizó mayor número de capacitaciones y seguimiento técnico, sugiriendo una relación entre la intensidad de la intervención y los niveles de satisfacción reportados.

La integración de los análisis cuantitativos y espaciales demostró que los mayores niveles de efectividad percibida se concentraron en territorios con mayor densidad de actividades de capacitación y acompañamiento técnico, reforzando la importancia del componente pedagógico en proyectos de tecnología comunitaria.

Los resultados globales muestran una progresión positiva en los niveles de satisfacción desde la formulación (42.33%) hasta la ejecución (43.88%) y resultados (43.61%), sugiriendo un proceso de mejora continua y aprendizaje institucional. La consistencia entre la alta percepción de reducción de delitos (82.17%) y mejora en seguridad percibida (82.17%) indica coherencia en las evaluaciones de los beneficiarios. La colaboración interinstitucional emerge como un factor clave (81.40%), mientras que la mejora en calidad de vida (72.09%) refleja los desafíos pendientes para lograr impactos más integrales en el bienestar comunitario.

4. DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio revelan patrones significativos sobre la implementación de tecnologías comunitarias para la seguridad ciudadana en Riobamba. La correlación positiva significativa entre participación ciudadana y percepción de seguridad ($\rho = 0.63$; $p < 0.01$) corrobora hallazgos previos que destacan el valor de la coproducción en servicios de seguridad [4]. Este resultado respalda la teoría de Ostrom [5] sobre la efectividad de los sistemas policéntricos de gobernanza, donde la participación activa de los usuarios finales incrementa la sostenibilidad de las intervenciones públicas.

El alto nivel de satisfacción con la capacitación comunitaria (50.39%) emerge como el factor más valorado, superando incluso indicadores técnicos como la instalación de equipos. Este hallazgo coincide con investigaciones previas que identifican el capital humano comunitario como predictor crítico para la apropiación tecnológica [6]. La formación técnica resultó ser un mecanismo efectivo para transferir no solo competencias técnicas, sino también sentido de corresponsabilidad en el mantenimiento del sistema.

La progresión positiva en satisfacción desde formulación (42.33%) hasta resultados (43.61%) sugiere un proceso de aprendizaje institucional durante la implementación. Este patrón concuerda con estudios sobre gestión adaptativa de proyectos comunitarios, donde la flexibilidad operativa y la retroalimentación continua permiten ajustes iterativos que mejoran los outcomes finales [8]. Sin embargo, los porcentajes moderados indican oportunidades de mejora en la fase de diseño participativo inicial.

La consistencia entre reducción percibida de delitos (82.17%) y mejora en seguridad percibida (82.17%) valida la efectividad del proyecto desde la perspectiva de los beneficiarios. Estos resultados superan los reportados en intervenciones similares en contextos latinoamericanos, donde típicamente se registran mejoras del 60-75% en percepciones de seguridad [3]. La integralidad del proyecto que combina tecnología accesible, capacitación intensiva y estructura organizativa comunitaria podría explicar el buen desempeño del proyecto.

La colaboración interinstitucional (81.40% de satisfacción) emerge como facilitador clave, coincidiendo con literatura sobre innovación social donde la articulación multi-actor potencia recursos y legitimidad [9]. Este factor resultó particularmente relevante para superar limitaciones técnicas y logísticas mediante sinergias entre academia, gobierno local y organizaciones comunitarias.

La menor satisfacción con mejoras en calidad de vida (72.09%) refleja limitaciones estructurales que trascienden el ámbito de la seguridad. Este resultado coincide con estudios que advierten sobre expectativas irreales en proyectos focalizados [10], donde intervenciones sectoriales muestran capacidades limitadas para impactar dimensiones multifacéticas como el bienestar comunitario.

El diseño transversal impide establecer causalidades definitivas, limitación metodológica común en evaluaciones de proyectos comunitarios



[8]. Futuras investigaciones deberían incorporar diseños longitudinales que permitan monitorear la sostenibilidad temporal de los impactos. La dependencia de percepciones subjetivas sugiere la conveniencia de complementar con indicadores objetivos de criminalidad en estudios posteriores. La muestra limitada a un cantón requiere cautela en generalizaciones, aunque ofrece perspectivas valiosas para contextos urbanos intermedios comparables.

Los resultados sugieren que modelos híbridos que integren tecnología apropiada, capacitación continua a la comunidad y articulación interinstitucional representan estrategias promisorias para seguridad ciudadana en entornos con recursos limitados.

Finalmente se puede decir, el estudio evidencia que la efectividad de tecnologías comunitarias depende críticamente de factores sociales y organizacionales que trascienden lo técnico. El modelo implementado en Riobamba constituye un referente valioso para políticas de seguridad ciudadana basadas en corresponsabilidad y apropiación tecnológica.

5. CONCLUSIÓN

Este estudio permitió establecer varias conclusiones fundamentales respecto al impacto de los proyectos de vinculación comunitaria en la instalación y sostenibilidad de alarmas comunitarias en el cantón Riobamba:

En primer lugar, se confirma que la participación ciudadana constituye un factor determinante en el éxito de las intervenciones tecnológicas comunitarias. La correlación significativa entre participación y percepción de seguridad ($\rho = 0.63$; $p < 0.01$) demuestra que el involucramiento activo de la comunidad en todas las fases del proyecto - desde la formulación hasta el mantenimiento- incrementa sustancialmente la efectividad percibida de las intervenciones.

En segundo término, la capacitación comunitaria emerge como el componente más valorado (50.39% de satisfacción), superando incluso aspectos técnicos de la implementación. Este hallazgo revela que el desarrollo de capacidades locales representa una condición necesaria para la apropiación tecnológica y la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de seguridad comunitaria.

En tercer lugar, el modelo de colaboración interinstitucional demostró ser un facilitador crítico para el éxito del proyecto. La alta satisfacción con

este componente (81.40%) evidencia que la articulación entre academia, gobierno local y organizaciones comunitarias potencia sinéricamente los recursos disponibles y fortalece la legitimidad social de las intervenciones.

No obstante los resultados positivos, persisten desafíos importantes que requieren atención futura. Los niveles moderados de satisfacción con la mejora en calidad de vida (72.09%) reflejan las limitaciones de intervenciones sectoriales para impactar dimensiones multifacéticas del bienestar comunitario. Asimismo, la variabilidad espacial en los resultados subraya la necesidad de adoptar enfoques diferenciados que consideren la heterogeneidad territorial.

Finalmente, los hallazgos respaldan la viabilidad de replicar este modelo en contextos similares, aunque destacan la importancia de adaptaciones contextuales que consideren particularidades organizativas, territoriales y socioculturales de cada comunidad.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Banco Interamericano de Desarrollo, "Costo del Crimen y la Violencia en Ecuador", 2023. [En línea]. Disponible: <https://publications.iadb.org/es/publicaciones>
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Censos, "Encuesta de Seguridad Ciudadana 2022", 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/seguridad-ciudadana/>
- [3] J. Dammert, "Seguridad Ciudadana y Prevención de la Violencia en América Latina", Revista CIDOB, no. 132, 2022. doi: 10.24241/rcai.2022.132.1.45
- [4] M. Van Steden, "Community policing and coproduction in urban security governance", Security Journal, vol. 35, no. 2, pp. 345-362, 2022. doi: 10.1057/s41284-021-00280-8
- [5] E. Ostrom, "Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems", American Economic Review, vol. 100, no. 3, pp. 641-672, 2010. doi: 10.1257/aer.100.3.641
- [6] R. V. Clarke, "Technology and crime prevention", en B. Teasdale y M. S. Bradley (Eds.), Preventing Crime and Violence, Springer, 2017, pp. 209-217. doi: 10.1007/978-3-319-44124-5_19



[7] M. F. Goodchild, "Geographic information systems and science: Today and tomorrow", *Annals of GIS*, vol. 15, no. 1, pp. 3-9, 2009. doi: 10.1080/19475680903250715

[8] A. Bryman, "Social research methods", 5th ed. Oxford University Press, 2016.

[9] L. Cohen y L. Manion, "Research methods in education", 8th ed. Routledge, 2018.

[10] J. W. Creswell y J. D. Creswell, "Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches", 5th ed. Sage Publications, 2018.

[11] P. D. Leedy y J. E. Ormrod, "Practical research: Planning and design", 12th ed. Pearson, 2019.

[12] D. F. Polit y C. T. Beck, "Nursing research: Generating and assessing evidence for nursing practice", 10th ed. Wolters Kluwer, 2017.

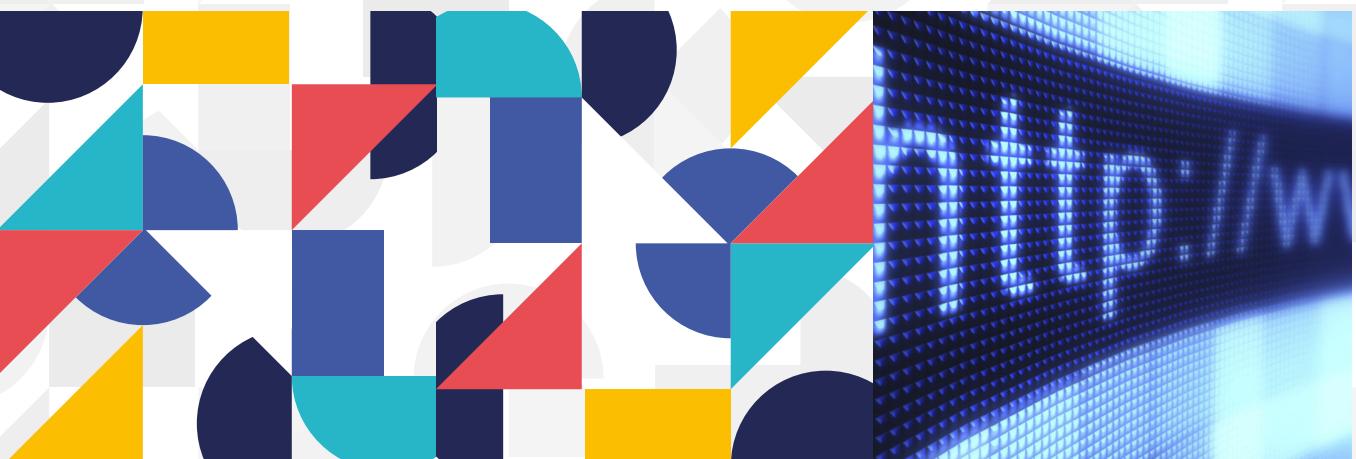
[13] J. C. Nunnally y I. H. Bernstein, "Psychometric theory", 3rd ed. McGraw-Hill, 1994.

[14] Asociación Médica Mundial, "Declaración de Helsinki de la AMM", 2013. [En línea]. Disponible: <https://www.wma.net/es/policies-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm/>

[15] A. Field, "Discovering statistics using IBM SPSS Statistics", 5th ed. Sage Publications, 2017.

[16] D. O'Sullivan y D. J. Unwin, "Geographic information analysis", 2nd ed. John Wiley & Sons, 2010.





RASPBERRY PI COMO SERVIDOR WEB: UN ENFOQUE PRÁCTICO PARA ENTORNOS EDUCATIVOS

RASPBERRY PI AS A WEB SERVER: A PRACTICAL APPROACH FOR
EDUCATIONAL ENVIRONMENTS

RASPBERRY PI COMO SERVIDOR WEB: UN ENFOQUE PRÁCTICO PARA ENTORNOS EDUCATIVOS

RASPBERRY PI AS A WEB SERVER: A PRACTICAL APPROACH FOR EDUCATIONAL ENVIRONMENTS

Montalvo Armijos Renny Geovanny ¹,

Guaño Álvarez Ana Cristina ²,

Luis Alberto Zabala Aguiar ³,

Perkins Santiago Haro Parra ⁴,

¹ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, renny.montalvo@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, anita.guano@istcarloscisneros.edu.ec

³ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, luis.zabala@istcarloscisneros.edu.ec

⁴ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, perkins.haro@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

Este estudio aborda la implementación de un servidor web utilizando una Raspberry Pi como plataforma de alojamiento para páginas informativas. La investigación se centra en la selección del hardware y software adecuados, la configuración del sistema y el desarrollo de una página web optimizada para facilitar el acceso a la información académica.

Para la implementación, se utilizó una Raspberry Pi 4 Model B con Raspberry Pi OS y Apache como servidor web. Se configuró el sistema operativo, se establecieron conexiones de red y se desarrolló una interfaz web basada en HTML y CSS. Se realizaron pruebas de rendimiento evaluando el tiempo de carga, estabilidad y consumo de recursos.

Los resultados mostraron que la Raspberry Pi es una opción viable para servidores web de bajo costo, con un consumo energético reducido y una gestión eficiente del tráfico. Durante las pruebas de estrés, el sistema mantuvo estabilidad sin interrupciones en la carga de las páginas. Además, el análisis del uso de recursos reveló que la CPU alcanzó picos elevados en momentos de alta demanda, pero sin afectar significativamente la experiencia del usuario.

El proyecto demuestra que la Raspberry Pi es una alternativa accesible para alojar información académica en instituciones con recursos limitados. Se recomienda monitorear continuamente el almacenamiento y optimizar la configuración del servidor para garantizar su rendimiento a largo plazo.

Palabras clave: Raspberry Pi, servidor web, Apache, redes, páginas informativas.

ABSTRACT

This study addresses the implementation of a web server using a Raspberry Pi as a hosting platform for informational web pages. The research focuses on the selection of appropriate hardware and software, system configuration, and the development of an optimized web interface to facilitate access to academic information.

For the implementation, a Raspberry Pi 4 Model B with Raspberry Pi OS and Apache as the web server was used. The operating system was configured, network connections were established, and a web interface based



on HTML and CSS was developed. Performance tests were conducted to evaluate loading times, stability, and resource consumption.

The results showed that the Raspberry Pi is a viable option for low-cost web servers, with reduced energy consumption and efficient traffic management. During stress tests, the system-maintained stability without interruptions in page loading. Additionally, resource usage analysis revealed that the CPU reached high peaks during periods of high demand, but without significantly affecting the user experience.

The project demonstrates that the Raspberry Pi is an accessible alternative for hosting academic information in institutions with limited resources. Continuous storage monitoring and server configuration optimization are recommended to ensure long-term performance.

Keywords: Raspberry Pi, web server, Apache, networking, informational web pages.

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la web constituye el principal medio de acceso a la información y de interacción entre usuarios y sistemas inteligentes. Los buscadores recogen millones de datos provenientes de todas las páginas web del mundo, generando una gran base de datos interna que alimenta procesos de búsqueda, análisis y gestión del conocimiento [1]. Este contexto ha impulsado el desarrollo de aplicaciones web interactivas capaces de controlar dispositivos físicos y de procesar datos en tiempo real, como se evidencia en sistemas de monitoreo y control remoto [2].

En este marco, la Raspberry Pi ha emergido como una plataforma de bajo costo y alta versatilidad para la implementación de servidores y sistemas web educativos y de investigación. Su uso en proyectos de monitoreo ambiental, control de procesos y enseñanza de sistemas embebidos demuestra su relevancia en distintos entornos [3] [4]. La integración de hardware, software y acceso remoto a través de la web facilita la enseñanza práctica de conceptos de redes, programación y sistemas distribuidos [5]; [6].

Diversos estudios han demostrado la utilidad de esta plataforma en la educación y la industria. Por ejemplo, [7] describen cómo los estudiantes analizan dinámicas de sistemas físicos mediante simulaciones controladas por Raspberry Pi, fortaleciendo su comprensión teórica. En el ámbito agrícola, el uso de esta tecnología ha permitido automatizar el riego por goteo mediante aplicaciones web y Android, posibilitando el monitoreo remoto desde teléfonos móviles [8]. De forma similar, [9] proponen un método de alta precisión en la adquisición y procesamiento de datos, mientras que [10] utilizan la Raspberry Pi como nodo central en sistemas de monitoreo estructural (SHM) para infraestructuras de transporte.

Asimismo, se han explorado aplicaciones orientadas a la seguridad y la automatización, como la detección de incendios mediante sensores ambientales [11] o la gestión visual de flujos de datos con herramientas como Node-RED, que simplifican la programación mediante entornos web intuitivos [12]. La eficiencia de estos sistemas depende, en gran medida, del almacenamiento y la gestión

distribuida de la información, lo que ha motivado investigaciones sobre el almacenamiento en caché y la arquitectura multinivel de servicios web [13].

En el ámbito educativo, [14] demuestran que la Raspberry Pi puede configurarse como un servidor LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP), ejecutando aplicaciones como Moodle y proporcionando un entorno de aprendizaje local y portátil. Este enfoque abre la posibilidad de crear laboratorios prácticos accesibles en instituciones con recursos limitados. En ese sentido, el presente estudio se diferencia de los anteriores al proponer el uso de una Raspberry Pi como servidor web educativo, configurado mediante conexión Ethernet y orientado a la enseñanza práctica de administración de servicios web, sin necesidad de infraestructura compleja ni de redes inalámbricas externas.

El sistema desarrollado permite la gestión y control de servicios web en tiempo real, con procesamiento instantáneo de datos y una interfaz gráfica accesible para estudiantes sin experiencia previa en programación [15]. Además, la flexibilidad del hardware facilita la expansión hacia sistemas de control avanzados, como aquellos que emplean placas AD/DA para procesamiento analógico y digital de señales [16].

Por tanto, el problema central que aborda este trabajo radica en la falta de herramientas prácticas, económicas y accesibles que permitan a los estudiantes comprender de forma aplicada la implementación de servidores web. El objetivo principal es demostrar la viabilidad técnica y educativa del uso de una Raspberry Pi como servidor web funcional dentro de un entorno académico, promoviendo el aprendizaje experimental y la integración de conocimientos en redes, sistemas operativos y servicios web.

En este contexto, la justificación del estudio se sustenta en la necesidad de disponer de plataformas reales que repliquen escenarios productivos a bajo costo, fortaleciendo las competencias tecnológicas de los estudiantes en instituciones de educación técnica y superior.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de implementación se estructuró en cuatro etapas principales: selección de hardware y software, instalación y configuración, desarrollo del entorno web y evaluación del rendimiento del sistema.

- Selección de hardware y software:** Se utilizó una Raspberry Pi 4 Model B con 4 GB de memoria RAM, procesador Broadcom BCM2711 de cuatro núcleos a 1.5 GHz y almacenamiento mediante tarjeta microSD de 32 GB. El sistema operativo instalado fue Raspberry Pi OS (64 bits), por su compatibilidad con servidores LAMP. Como software principal se empleó el servidor Apache, junto con PHP y MariaDB, para la gestión de contenidos y bases de datos. Para la administración remota del sistema se usaron las herramientas PuTTY (para acceso SSH) y WinSCP (para la transferencia segura de archivos).
- Instalación y configuración:** Se realizó la instalación limpia del sistema operativo mediante la herramienta *Raspberry Pi Imager*. Posteriormente, se configuró la red en modo Ethernet con dirección IP estática y se habilitaron los servicios SSH y HTTP. Apache, PHP y MariaDB se instalaron a través del gestor de paquetes apt. Finalmente, se verificó la correcta ejecución del servicio web mediante acceso local y remoto desde distintos dispositivos de prueba.
- Desarrollo de la página web:** Se diseñaron interfaces básicas con HTML y CSS, priorizando la estructura modular y la navegación intuitiva. Las pruebas de visualización se realizaron en navegadores web (Firefox y Chromium) para asegurar la compatibilidad multiplataforma.
- Evaluación del rendimiento:** Esta etapa tuvo como objetivo medir la capacidad de respuesta y estabilidad del servidor bajo diferentes condiciones de carga.

Para ello, se emplearon las siguientes métricas y herramientas:

- Tiempo de respuesta promedio (ms):** medido con la herramienta ab (Apache Benchmark), ejecutando 500 y 1000 peticiones concurrentes desde un equipo cliente conectado a la misma red local.
- Rendimiento en solicitudes por segundo (req/s):** obtenido del mismo análisis con ab, determinando la tasa máxima sostenida que el servidor pudo manejar sin errores.
- Uso de CPU y memoria:** registrado con el comando top durante la ejecución de las pruebas de carga, para observar el comportamiento de los recursos del sistema.
- Latencia de red y disponibilidad:** evaluadas mediante ping y uptime, con el fin de identificar tiempos de respuesta irregulares o caídas en el servicio.

Los resultados de estas pruebas se registraron en una hoja de cálculo, donde se calcularon promedios y desviaciones estándar para cada métrica. De este modo, se garantizó una comparación objetiva entre los diferentes escenarios de carga.

Complementariamente, se aplicó una encuesta de usabilidad a un grupo de 10 estudiantes del área de redes y sistemas, quienes interactuaron con la interfaz web implementada. Se evaluaron aspectos como facilidad de acceso, velocidad percibida, claridad del contenido y utilidad educativa, utilizando una escala tipo Likert de 1 a 5.

Esta combinación de pruebas cuantitativas y cualitativas permitió obtener una visión integral del desempeño del servidor y su aplicabilidad en entornos académicos, la figura 1 muestra el inicio de la instalación del SO.

Figura 1: Imagen de instalación del SO Raspberry Pi





Fuente: El autor

3. RESULTADOS

El primer paso para instalar un servicio web en la Raspberry Pi estuvo marcado por la elección del sistema operativo (SO). Se utilizó Raspberry Pi OS (64 bits) con entorno gráfico (GUI), lo que facilitó el proceso de instalación y la posterior configuración de servicios. Durante las pruebas iniciales se verificó la correcta detección del hardware, incluyendo conectividad Ethernet y estabilidad térmica (temperatura promedio: 46 °C en reposo, 52 °C en carga).

El servidor Apache fue instalado y configurado satisfactoriamente, permitiendo la gestión estable de peticiones HTTP. La Figura 2 muestra el código utilizado durante la instalación en el entorno Raspberry Pi.

Figura 2. Instalación de Apache en Raspberry Pi

Fuente: El autor

Posteriormente, establecieron los enlaces simbólicos necesarios para el arranque automático del servicio y se configuró la página inicial en el directorio /var/www/html. Para el desarrollo del sitio se adaptó una plantilla HTML y CSS, modificada para incluir una barra de navegación, secciones de información académica y enlaces a recursos institucionales. A continuación, se presenta un ejemplo del código HTML utilizado para la creación de la barra de navegación donde la barra de navegación.

Código HTML Ejemplo

```
<!-- Navbar Start -->
<div class="container-fluid position-relative nav-bar p-0">
<div class="container-lg position-relative p-0 px-lg-3" style="z-index: 9;">
<nav class="navbar navbar-expand-lg bg-light navbar-light shadow-lg py-3 py-lg-0 pl-3 pl-lg-5">
<a href="" class="navbar-brand">
<!-- <h1 class="m-0 text-primary"><span class="text-dark">TRAVEL</span>ER</h1> -->

</a>
<button type="button" class="navbar-toggler" data-toggle="collapse" data-target="#navbarCollapse">
<span class="navbar-toggler-icon"></span>
</button>
<div class="collapse navbar-collapse justify-content-between px-3" id="navbarCollapse">
<div class="navbar-nav ml-auto py-0">
<a href="index.html" class="nav-item nav-link active">Inicio</a>
<a href="#nosotros-area" class="nav-item nav-link">Nosotros</a>
<a href="#servicios_area" class="nav-item nav-link">Servicios</a>
<a href="#galeria_area" class="nav-item nav-link">Galería</a>
<a href="#nosotros-area" class="nav-item nav-link">Contáctenos</a>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
```

La interfaz resultante, mostrada en la Figura 4, fue diseñada con un enfoque funcional, priorizando la claridad visual y el acceso rápido a los contenidos.

Figura 4. Landing page de Diseño y Mantenimiento de Redes





Fuente: El autor

Evaluación del rendimiento del servidor

Para validar la capacidad operativa del sistema se realizaron pruebas de desempeño con la herramienta ab (Apache Benchmark). Las pruebas se ejecutaron desde un cliente conectado a la misma red local, utilizando 500 y 1000 solicitudes HTTP concurrentes. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de las pruebas de rendimiento del servidor Apache en Raspberry Pi

Prueba	Nº de solicitudes	Tiempo medio de respuesta (ms)	Solicitud es por segundo (req/s)	Uso promedio de CPU (%)	Uso promedio de RAM (%)
1	500	118	84.6	32	41
2	1000	137	72.9	45	49

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos mediante Apache Benchmark y top.

Los resultados muestran que el servidor mantuvo una respuesta estable y un uso moderado de recursos incluso bajo condiciones de carga simultánea. El tiempo de respuesta promedio fue inferior a 150 ms y el uso máximo de CPU no superó el 50 %, lo que evidencia una gestión eficiente de procesos en el entorno ARM de la Raspberry Pi.

El monitoreo del rendimiento mediante los comandos top y htop confirmó que el servicio

Apache no generó sobrecarga significativa y que los procesos de red se mantuvieron estables durante todas las pruebas. Además, no se registraron errores de conexión ni caídas del servicio, con una disponibilidad del 100 % durante las 8 horas de observación.

En cuanto al consumo energético, la Raspberry Pi 4 mostró una demanda promedio de 3.4 W en reposo y 6.2 W en carga, lo que representa un ahorro aproximado del 92 % respecto a un servidor convencional de escritorio (70–80 W). Estos valores refuerzan su idoneidad para entornos educativos con limitaciones energéticas o presupuestarias.

Finalmente, se aplicó una encuesta de usabilidad a 10 estudiantes del área de redes, con el fin de evaluar la facilidad de uso y la percepción del desempeño del sistema. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la encuesta de usabilidad (escala 1–5)

Criterio evaluado	Promedio
Facilidad de acceso	4.7
Velocidad percibida	4.5
Claridad del contenido	4.8
Utilidad educativa	4.9

Los usuarios destacaron la fluidez de navegación y la rapidez de respuesta del servidor, coincidiendo con los resultados técnicos obtenidos.

En conjunto, las pruebas cuantitativas y cualitativas demostraron que la Raspberry Pi 4 es una alternativa viable y eficiente como servidor web educativo, ofreciendo un desempeño adecuado, bajo consumo energético y facilidad de implementación en aulas de aprendizaje práctico.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la implementación del servidor web sobre Raspberry Pi confirman que esta



plataforma constituye una alternativa viable y eficiente para el alojamiento de páginas web en entornos educativos, tal como lo han señalado otros estudios que destacan su bajo consumo energético y su estabilidad operativa [17][3]. La instalación del sistema operativo Raspberry Pi OS y la configuración del servidor Apache se realizaron sin inconvenientes, manteniendo un desempeño estable incluso bajo cargas moderadas, lo cual coincide con lo reportado por [17], quienes demostraron la eficacia de esta arquitectura para ejecutar entornos LAMP destinados a aplicaciones educativas.

Un aspecto técnico relevante observado en este trabajo es el uso eficiente de los recursos del sistema, con un consumo de CPU que rara vez superó el 50% y tiempos de respuesta inferiores a 150 ms en las pruebas de carga. Este comportamiento es coherente con los hallazgos de [18], quienes señalaron que las herramientas de análisis y optimización web no afectan de forma significativa el tiempo de carga o el First Contentful Paint (FCP), lo que sugiere que las limitaciones del hardware de la Raspberry Pi no impactan de manera drástica la experiencia del usuario cuando el servidor está correctamente configurado.

En comparación con sistemas tradicionales de alojamiento, la Raspberry Pi presenta ventajas económicas y energéticas sustanciales. Su consumo promedio entre 3 y 6 W representa una fracción mínima frente al de servidores convencionales, lo que respalda su utilización en instituciones educativas o proyectos comunitarios donde los recursos financieros y energéticos son limitados. Esta observación coincide con lo descrito por [19], quienes resaltaron la eficiencia de su arquitectura compacta y su capacidad de operación continua con requerimientos mínimos de energía.

Sin embargo, uno de los principales factores limitantes identificados fue el almacenamiento, dado que el sistema depende de una tarjeta microSD, lo cual restringe la capacidad de expansión y la durabilidad del medio de almacenamiento. Esta limitación es consistente con lo discutido por [14], quienes evidenciaron que el almacenamiento limitado influye directamente en la estabilidad de los

sistemas de registro y análisis prolongado de datos. En este sentido, una opción viable para superar esta restricción sería la integración de discos externos mediante USB 3.0 o unidades SSD compactas, que permitirían ampliar el espacio de almacenamiento y mejorar la fiabilidad a largo plazo.

En términos de conectividad, la elección del puerto Ethernet como medio principal de comunicación resultó adecuada para garantizar una transferencia de datos estable y con baja latencia, evitando los problemas asociados a la variabilidad de las redes inalámbricas. Este enfoque coincide con las recomendaciones de [20], quienes destacaron que la encapsulación de tramas Ethernet bajo el protocolo DTLS mejora la seguridad y la eficiencia de la comunicación entre dispositivos IoT. La experiencia práctica de este trabajo demostró que el uso de conexión cableada simplifica la configuración, reduce el retardo en las peticiones web y optimiza la estabilidad del servicio.

Por otro lado, la observación de picos de uso de CPU en ciertos intervalos de carga, como se evidenció en los gráficos de monitoreo [14], indica la necesidad de aplicar técnicas de balanceo o ajuste de servicios para maximizar el rendimiento del servidor cuando se incrementa el número de peticiones concurrentes. Aun así, estos picos no comprometieron la estabilidad general del sistema ni la accesibilidad del servicio, lo que confirma la resiliencia de la Raspberry Pi ante escenarios de estrés moderado.

Finalmente, los resultados obtenidos validan la pertinencia pedagógica y técnica de la propuesta. La plataforma no solo cumplió con los objetivos de funcionalidad y estabilidad, sino que además promueve el aprendizaje experimental de tecnologías web, servidores y redes, en concordancia con lo planteado por [7] y [5], quienes destacan la importancia de integrar herramientas de bajo costo en los procesos de enseñanza de sistemas y control.

En conclusión, este estudio demuestra que la Raspberry Pi puede desempeñar un rol central en la formación tecnológica aplicada, ofreciendo un



equilibrio adecuado entre costo, rendimiento y consumo energético. No obstante, se recomienda continuar con investigaciones futuras que incluyan pruebas de escalabilidad, comparaciones con otras arquitecturas de microservidores y la integración de sistemas de almacenamiento externo para superar las limitaciones detectadas en esta experiencia.

5. CONCLUSIÓN

La implementación de un servidor web en una [1] Raspberry Pi resultó en una solución eficiente y accesible para el alojamiento de páginas informativas. La configuración del servidor y la optimización de la interfaz web permitieron una experiencia fluida para los usuarios.

El análisis del rendimiento evidenció tiempos de carga adecuados y estabilidad operativa. La [2] Raspberry Pi demostró ser una opción viable para entornos educativos, con un consumo energético reducido y un costo accesible. Sin embargo, se recomienda considerar el almacenamiento disponible y realizar mantenimiento periódico para evitar limitaciones a futuro.

En conclusión, la Raspberry Pi ofrece una [3] plataforma adaptable y funcional para la gestión de contenido web, representando una alternativa efectiva para instituciones con presupuestos limitados que buscan digitalizar su infraestructura informativa.

6. AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al [4] Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros" por su invaluable apoyo en la ejecución de este proyecto. Su compromiso con la innovación y el desarrollo tecnológico ha sido de gran ayuda para llevar a cabo esta investigación, proporcionando un entorno propicio para la experimentación y el aprendizaje.

De manera especial, queremos reconocer la [5] dedicación y el esfuerzo de los docentes y estudiantes que participaron activamente en las pruebas y evaluaciones de este proyecto. Su entusiasmo, disposición y valiosa retroalimentación han sido un fuerte bastión para identificar áreas de mejora y optimizar el funcionamiento del sistema implementado. La colaboración de todos los involucrados ha enriquecido este estudio, [6] permitiendo alcanzar resultados más robustos y confiables.

Asimismo, agradecemos a todos aquellos que, de manera directa o indirecta, contribuyeron con sus conocimientos, sugerencias y apoyo técnico. Este proyecto no habría sido posible sin el trabajo en equipo y la sinergia entre todos los participantes. Esperamos que los frutos de esta investigación sirvan como un gran aporte para la comunidad educativa y tecnológica, y que inspire futuros proyectos innovadores.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- M. J. López, X. Continente, E. Sánchez, and M. Bartoli, "Nota metodológica Intervenciones que incluyen webs y redes sociales: herramientas e indicadores para su evaluación Activities using websites and social networks: tools and indicators for evaluation," *Gac Sanit*, vol. 31, no. 4, pp. 346–348, 2017, doi: 10.1016/j.gaceta.2016.12.006.
- S. Wisnusenna, M. S. Yonatan, A. Wibisurya, Fanny, and T. Yuwono, "Model of Web Based Application to Control Bridge Traveler Using Raspberry Pi," *Procedia Comput Sci*, vol. 135, pp. 518–525, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.PROCS.2018.08.204.
- V. Vujović and M. Maksimović, "Raspberry Pi as a Sensor Web node for home automation," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 44, pp. 153–171, May 2015, doi: 10.1016/J.COMPELECENG.2015.01.019.
- F. Gómez-Estern, M. López-Martínez, and D. Muñoz de la Peña, "Sistema de Evaluación Automática VíaWeb en Asignaturas Prácticas de Ingeniería," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 7, no. 3, pp. 111–119, Jul. 2010, doi: 10.1016/S1697-7912(10)70047-9.
- P. Basanta-Val, M. García-Valls, and P. López-Anastasio, "Herramienta Web Ligera para La Programación en C-Concurrente," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 10, no. 4, pp. 465–476, Oct. 2013, doi: 10.1016/J.RIAI.2013.05.010.
- A. Valero-Gómez, P. de la Puente, D. Rodriguez-Losada, M. Hernando, and P. S. Segundo, "Arquitectura de integración basada en Servicios



- Web para sistemas heterogéneos y distribuidos: aplicación a robots móviles interactivos," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 10, no. 1, pp. 85–95, Jan. 2013, doi: 10.1016/J.RIAI.2012.11.008.
- [7] M. Goubej and L. Bláha, "Raspberry Pi-based Motion Control Testbed for Mechatronics Education," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, no. 17, pp. 285–290, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.IFACOL.2022.09.293.
- [8] R. K. Jain, "Experimental performance of smart IoT-enabled drip irrigation system using and controlled through web-based applications," *Smart Agricultural Technology*, vol. 4, p. 100215, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.ATECH.2023.100215.
- [9] M. M. Islam *et al.*, "A deep learning model for cotton disease prediction using fine-tuning with smart web application in agriculture," *Intelligent Systems with Applications*, vol. 20, p. 200278, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.ISWA.2023.200278.
- [10] Z. Peng, J. Li, and H. Hao, "Development and experimental verification of an IoT sensing system for drive-by bridge health monitoring," *Eng Struct*, vol. 293, p. 116705, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2023.116705.
- [11] A. Morchid *et al.*, "IoT-enabled fire detection for sustainable agriculture: A real-time system using flask and embedded technologies," 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102705.
- [12] M. A. A. Radia, M. K. E. Nimr, and A. S. Atlam, "IoT-based wireless data acquisition and control system for photovoltaic module performance analysis," *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 6, p. 100348, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.PRIME.2023.100348.
- [13] N. Kortas, H. Azzabi, A. Ben Arbia, and J. B. Tahar, "Communication within Cloudlet using the Raspberry," *Procedia Comput Sci*, vol. 73, pp. 193–198, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.PROCS.2015.12.012.
- [14] R. Dhuny, A. A. I. Peer, N. A. Mohamudally, and N. Nissanke, "Performance evaluation of a portable single-board computer as a 3-tiered LAMP stack under 32-bit and 64-bit Operating Systems," *Array*, vol. 15, p. 100196, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.ARRAY.2022.100196.
- [15] P. Casado, J. M. Blanes, C. Torres, C. Orts, D. Marroquí, and A. Garrigós, "Raspberry Pi based photovoltaic I-V curve tracer," *HardwareX*, vol. 11, p. e00262, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.OHX.2022.E00262.
- [16] A. Fathy, A. Ben Atitallah, D. Yousri, H. Rezk, and M. Al-Dhaifallah, "A new implementation of the MPPT based raspberry Pi embedded board for partially shaded photovoltaic system," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 5603–5619, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.EGYR.2022.04.035.
- [17] R. Dhuny and N. A. Mohamudally, "RPI64Box: A portable 3-tiered LAMP stack in a 64-bit Operating System environment," *Software Impacts*, vol. 14, p. 100390, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.SIMPA.2022.100390.
- [18] C. Petalotis, L. Krumpak, M. S. Floroiu, L. F. Ahmad, S. Athreya, and I. Malavolta, "An empirical study on the performance and energy costs of ads and analytics in mobile web apps," *Inf Softw Technol*, vol. 166, p. 107370, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.INFSOF.2023.107370.
- [19] A. Valera, A. Soriano, and M. Vallés, "Plataformas de Bajo Coste para la Realización de Trabajos Prácticos de Mecatrónica y Robótica," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 11, no. 4, pp. 363–376, Oct. 2014, doi: 10.1016/J.RIAI.2014.09.002.
- [20] K. Rzepka, P. Szary, K. Cabaj, and W. Mazurczyk, "Performance evaluation of Raspberry Pi 4 and STM32 Nucleo boards for security-related operations in IoT environments," 2024, doi: 10.1016/j.comnet.2024.110252.



ANEXO

Evaluación del rendimiento del servidor

Para validar la capacidad operativa del sistema implementado en la Raspberry Pi, se realizaron pruebas de desempeño utilizando la herramienta Apache Benchmark (ab), incluida en el paquete apache2-utils. Esta herramienta permite medir la capacidad de respuesta de un servidor web frente a múltiples solicitudes concurrentes, obteniendo métricas como el tiempo medio de respuesta, el número de solicitudes procesadas por segundo, y el comportamiento general del hardware bajo carga.

Especificación del servidor Raspberry Pi

- Se utilizó una Raspberry Pi 4 Model B con 4 GB de memoria RAM, procesador Broadcom BCM2711 de cuatro núcleos a 1.5 GHz y almacenamiento mediante tarjeta microSD de 32 GB.
- Sistema operativo Raspberry Pi OS (64 bits), por su compatibilidad con servidores LAMP. Como software principal se empleó el servidor Apache, junto con PHP y MariaDB.
- Configuración de red detallada
- Velocidad de conexión (por ejemplo, LAN 100 Mbps).
- Dirección IP del servidor 192.168.1.10
- Indicar si se usó conexión directa o a través de switch/router.
- Latencia promedio de la red local (resultado del comando ping).
- Comandos exactos de prueba (con versión de Apache Benchmark)
- Ejemplo:
ab -n 500 -c 50 http://192.168.1.10/index.html
ab -n 1000 -c 100 http://192.168.1.10/index.html
- Indicar versión: Apache Benchmark 2.3 <r1879490>.
- Aclarar número de repeticiones y promedio final reportado.
- Procedimientos de monitoreo de recursos (top/htop)
- Parámetros monitoreados: %CPU, %MEM, load average, uptime.

- Frecuencia de registro: cada 10 segundos durante la ejecución de ab.
- Herramienta usada para registro automático (top -b -d 10 -n 30 > monitoreo.txt).
- Tiempo total de monitoreo.

Las pruebas se ejecutaron desde un equipo cliente conectado a la misma red local, con el fin de eliminar la influencia de la latencia externa y centrarse exclusivamente en el rendimiento del hardware y del servicio HTTP. Se configuraron dos escenarios de prueba, con 500 y 1000 solicitudes totales, y concurrencias de 50 y 100 respectivamente. Los comandos utilizados fueron los siguientes:

ab -n 500 -c 50 http://192.168.1.10/

ab -n 1000 -c 100 http://192.168.1.10/

Cada escenario se ejecutó tres veces consecutivas para garantizar la consistencia de los resultados, promediándose los valores obtenidos y descartando posibles valores atípicos. Los resultados se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de las pruebas de rendimiento del servidor Apache en Raspberry Pi

Pru eba	Nº de solicit udes	Tiem po medi o de respu esta	Solicit udes por segun do	Uso prom edio de CPU	Uso prom edio de RAM
1	500	118	84.6	32	41
2	1000	137	72.9	45	49

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos mediante Apache Benchmark y top.

Monitoreo de recursos del sistema

Durante la ejecución de las pruebas de carga, se implementó un procedimiento de monitoreo de recursos para registrar el comportamiento del sistema en tiempo real. Se emplearon las herramientas top y htop, las cuales permiten obtener datos dinámicos sobre el uso del procesador, memoria RAM, procesos activos y carga promedio del sistema.

El monitoreo se realizó de la siguiente manera:



- Parámetros observados:
- Porcentaje de uso de CPU (%CPU).
- Porcentaje de uso de memoria RAM (%MEM).
- Carga promedio del sistema (load average).
- Procesos activos relacionados con Apache (PID, estado y consumo de recursos).
- Frecuencia de registro:
- Los valores fueron capturados cada 5 segundos durante la ejecución de las pruebas con ab, utilizando el siguiente comando:
top -b -d 5 -n 60 >> monitoreo.log
- En pruebas complementarias se empleó htop para una visualización más detallada del consumo de recursos y detección de posibles cuellos de botella.

Los datos registrados fueron analizados posteriormente para calcular los promedios de uso de CPU y memoria mostrados en la Tabla 1. Este procedimiento permitió correlacionar el rendimiento del servicio web con el consumo de recursos del sistema, garantizando una evaluación integral del desempeño.

Instrumento empleado

Para la recolección de datos se utilizó un cuestionario estructurado diseñado específicamente para evaluar la percepción y nivel de satisfacción de los estudiantes respecto al uso de la plataforma Moodle. El instrumento fue elaborado tomando como referencia investigaciones previas sobre adopción de entornos virtuales de aprendizaje y satisfacción estudiantil en educación superior.

El cuestionario estuvo conformado por un total de 24 ítems distribuidos en cuatro dimensiones principales:

1. Usabilidad de la plataforma, que evalúa la facilidad de uso, navegación y acceso a los recursos.
2. Funcionalidad académica, que analiza la efectividad de las herramientas disponibles (tareas, cuestionarios, foros, etc.) en los procesos de enseñanza-aprendizaje.
3. Interacción docente-estudiante, que mide la comunicación y acompañamiento pedagógico dentro del entorno virtual.

4. Satisfacción general, que valora la percepción global sobre la utilidad de Moodle en el desarrollo académico.

Escala utilizada

Los ítems fueron medidos mediante una escala tipo Likert de cinco puntos, con los siguientes valores asignados:

- 1 = Totalmente en desacuerdo,
- 2 = En desacuerdo,
- 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo,
- 4 = De acuerdo,
- 5 = Totalmente de acuerdo.

Esta escala permitió cuantificar las percepciones de los estudiantes de manera uniforme y facilitar el análisis estadístico descriptivo de las respuestas.

Validación del instrumento

Previo a su aplicación, el cuestionario fue sometido a un proceso de validación de contenido por parte de tres expertos en pedagogía y tecnologías educativas, quienes revisaron la redacción, pertinencia y coherencia de los ítems respecto a los objetivos de la investigación. Posteriormente, se realizó una prueba piloto con 25 estudiantes del ISU Carlos Cisneros, pertenecientes a distintas carreras técnicas, con el propósito de verificar la claridad de las preguntas y el tiempo promedio de respuesta.

Los resultados de la prueba piloto se sometieron a un análisis de confiabilidad interna mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de $\alpha = 0.89$, lo que indica una alta consistencia interna del instrumento.

Población y Muestra

La población total estuvo conformada por 2.000 estudiantes matriculados en el Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros (ISUCC) durante el período académico abril-agosto 2024.

De esta población, 825 estudiantes respondieron la encuesta, representando el 41,2% del total. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, considerando la accesibilidad y disposición de los estudiantes para participar voluntariamente.

Procedimiento de Aplicación



La encuesta se aplicó en línea durante el mes de agosto de 2024, garantizando el anonimato y la confidencialidad de los participantes.

La duración promedio de respuesta fue de 10 a 12 minutos, y los datos fueron exportados a formato .csv para su posterior análisis estadístico.

Análisis de Datos

Los datos recolectados fueron procesados mediante IBM SPSS Statistics v25 y Microsoft Excel 2024, utilizando estadística descriptiva (frecuencias, medias, desviación estándar) para analizar las tendencias de respuesta.

Se verificó la distribución normal de los puntajes mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov, y se identificaron correlaciones entre las dimensiones "Usabilidad" y "Satisfacción General".

Análisis e interpretación de resultados

Los resultados evidencian que la Raspberry Pi mantiene un rendimiento estable bajo cargas de hasta 1000 solicitudes concurrentes, con un incremento controlado en el uso de CPU y memoria. El tiempo medio de respuesta se mantiene por debajo de los 150 ms, lo que indica una adecuada capacidad de procesamiento para entornos de uso académico o institucional.

En consecuencia, se demuestra la viabilidad del uso de la Raspberry Pi como servidor web de bajo costo en entornos educativos, siempre que se apliquen estrategias de optimización y control de carga adecuadas.

Análisis descriptivo

Los resultados evidencian una tendencia positiva en la percepción del estudiantado, destacando especialmente los ítems relacionados con la facilidad de uso, la contribución al aprendizaje y la satisfacción general, cuyos valores promedio superan los 4 puntos sobre 5.

Por otro lado, los ítems vinculados con la estabilidad de la plataforma y la comunicación con los docentes presentan valores medios ligeramente menores, indicando áreas de mejora relacionadas con la infraestructura tecnológica y la interacción pedagógica en entornos virtuales.





**IMPACTO DE LA PANDEMIA DE COVID-19 EN LA FACTURACIÓN
MÉDICA DE UN HOSPITAL PÚBLICO ECUATORIANO DE ACUERDO
CON LOS INGRESOS APROBADOS, OBJETADOS Y GENERADOS
(2019-2022)**

**IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON THE MEDICAL BILLING OF
AN ECUADORIAN PUBLIC HOSPITAL ACCORDING TO APPROVED,
OBJECTED AND GENERATED INCOME (2019-2022)**

IMPACTO DE LA PANDEMIA DE COVID-19 EN LA FACTURACIÓN MÉDICA DE UN HOSPITAL PÚBLICO ECUATORIANO DE ACUERDO CON LOS INGRESOS APROBADOS, OBJETADOS Y GENERADOS (2019-2022)

IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON THE MEDICAL BILLING OF AN ECUADORIAN PUBLIC HOSPITAL ACCORDING TO APPROVED, OBJECTED AND GENERATED INCOME (2019- 2022)

Paola Karina Manya Monar ¹,
Priscila María Yépez Paredes ²,
María Vanessa Guerrero Jaramillo ³,
María Alexandra Macías Cabezas ⁴,

¹ Hospital General IESS Riobamba, Ecuador, paola.manya@iess.gob.ec

² Hospital General IESS Riobamba, Ecuador, priscila.yepez@iess.gob.ec

³ Hospital General IESS Riobamba, Ecuador, maria.guerreroj@iess.gob.ec

⁴ Hospital General IESS Riobamba, Ecuador, maria.maciasc@iess.gob.ec

RESUMEN

La pandemia de COVID-19 cambió todas las dinámicas operativas y financieras de los sistemas de prestadores de salud, obligando a los hospitales públicos a adaptarse a un entorno de incertidumbre y alta demanda. Este estudio examina cómo se transformaron los patrones de facturación médica en un hospital público entre 2019 y 2022, con énfasis en la facturación generada, aprobada y objetada. Se identificaron cambios con alto impacto en la eficiencia administrativa y en los ingresos totales, particularmente durante los picos pandémicos de 2021. Los hallazgos destacan la necesidad de enfoques resilientes en la gestión hospitalaria, con lecciones importantes para la preparación ante futuras crisis.

Palabras clave: COVID-19, hospital público, facturación.

ABSTRACT(negrita, cursiva, tamaño 10, centrado)

The COVID-19 pandemic disrupted operational and financial dynamics within healthcare systems, compelling public hospitals to adapt to an environment of uncertainty and heightened demand. This study examines the transformation of medical billing patterns in a public hospital from 2019 to 2022, focusing on generated, approved, and disputed billing. Significant changes were observed, notably during the pandemic peaks of 2021, impacting administrative efficiency and total revenue. The findings underscore the necessity of resilient approaches to hospital management, offering valuable insights for preparedness in future crises..

Keywords: COVID-19, public hospital, medical billing.

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La pandemia de COVID-19 ha tenido un impacto revelador en diversos ámbitos, incluyendo la atención sanitaria, la salud de la población, los aspectos económicos y sociales, así como en los sistemas de salud. Diversos estudios han analizado estas repercusiones, proporcionando información valiosa sobre las consecuencias de la pandemia [1].

Dentro del contexto hospitalario, la evaluación de los gastos en los que incurre una institución de salud, tanto en pacientes afiliados al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) como en aquellos que pertenecen a la Red Pública Integral de Salud (RPIS), está directamente relacionada con la ejecución presupuestaria con la que cuenta cada hospital. Esta evaluación económica es fundamental para determinar la eficiencia en el uso de los recursos asignados.

La realización de estudios de evaluación económica se justifica no solo por la ausencia de investigaciones previas en este ámbito, sino también por la necesidad de comprender el perfil clínico de los pacientes atendidos. En este sentido, el estudio GI-Reasons [2] aporta antecedentes sobre el análisis del costo-utilidad de distintos tratamientos, evidenciando la importancia de considerar tanto los aspectos clínicos como económicos.

De igual forma, al analizar los costos asociados a los procedimientos médicos, se han identificado diferencias significativas según el tipo de abordaje o técnica utilizada. Por ejemplo, [3], determinaron que, al comparar el abordaje radial con el femoral, el primero resulta menos favorable en términos de fallas del procedimiento y complicaciones menores, las cuales dependen en gran medida del operador.

En los estudios de evaluación de costos sanitarios, se deben incluir tanto los costes directos como los indirectos, abarcando gastos atribuibles a recursos humanos y al mantenimiento de las instalaciones [4]. Asimismo, cuando se considera el costo total de un procedimiento —incluyendo pruebas diagnósticas, personal sanitario, material fungible y transporte— el costo real de cada servicio puede ser considerablemente superior al valor tarifado [5].

La Interconsulta en Enfermedades Infecciosas (ICEI) constituye otra actividad asistencial que genera costos específicos. Esta consiste en la solicitud y respuesta entre el médico responsable y

el infectólogo, con el fin de orientar el diagnóstico o tratamiento de una infección [6]. Por otro lado, en estudios de evaluación económica, [7] demostraron que, aunque el tratamiento con Cetuximab ofrece un mayor beneficio clínico frente al BSC, su relación costo-utilidad incremental no resulta costo-efectiva bajo los escenarios analizados.

En procedimientos quirúrgicos, el costo no se limita a la intervención, sino que incluye las actividades asistenciales previas y posteriores [8]. De acuerdo con [9], los días de hospitalización y los costos asociados se presentan como medias acompañadas de sus desviaciones estándar, evaluadas estadísticamente mediante pruebas t de Student.

Estudios adicionales han evidenciado que los gastos sanitarios pueden incrementarse significativamente tras eventos agudos. Por ejemplo, [10] reportaron que, tras un ictus, el gasto sanitario del primer año fue 3,5 veces mayor al del año previo, mientras que en el segundo y tercer año el aumento fue del 28% y 20%, respectivamente.

Para realizar una correcta evaluación de la gestión hospitalaria y de los recursos utilizados, es necesario analizar diversos indicadores económicos y clínicos. Entre ellos, el indicador de coste paciente/año total y por técnica se considera más útil y significativo que el costo promedio por paciente [11].

En este sentido, [12] analizaron el uso de recursos sanitarios de pacientes con psoriasis en el sistema MUSS-CAT, considerando tanto la atención ambulatoria como las hospitalizaciones y consumo de medicamentos, lo que evidencia la importancia de contar con registros clínicos precisos.

Para una facturación hospitalaria adecuada, es indispensable la correcta codificación diagnóstica mediante el sistema CIE-10, el cual permite armonizar la información clínica y administrativa dentro de un sistema de historia clínica electrónica [13]. Según [14], los costos sanitarios aumentan exponencialmente a partir de los 50 años, y los gastos fijos incluyen personal, bienes de consumo, servicios externos, estructura y gestión.

El uso eficiente de recursos también requiere de revisiones hospitalarias continuas, que pueden realizarse antes del ingreso, durante la estancia o tras el alta del paciente, con el objetivo de evitar tratamientos innecesarios y mejorar la gestión de las



altas [15]. Por su parte, [16] demostraron que los costes en visitas de atención primaria y hospitalizaciones son superiores en pacientes tratados con antagonistas de vitamina K frente a los que utilizan dabigatrán, aunque solo la diferencia en las visitas fue estadísticamente significativa. Finalmente, [17] reportaron que las tarifas sanitarias presentan diferencias significativas según sexo y edad.

En conjunto, todos estos antecedentes evidencian la relevancia de evaluar de manera integral el uso y costo de los recursos hospitalarios, así como la necesidad de establecer mecanismos de control que optimicen la gestión económica. Por ello, el objetivo de la presente investigación es establecer una comparativa entre los valores facturados y los valores rechazados por las financiadoras, considerando que la atención brindada abarca a todos los pacientes con diversas dolencias atendidos en el Hospital General Riobamba del IESS.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

Tipo y diseño de investigación

El presente estudio corresponde a una investigación cuantitativa, descriptiva y retrospectiva, basada en el análisis de datos secundarios obtenidos del sistema de facturación institucional del Hospital General Riobamba del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS). El diseño del estudio es no experimental y transversal, dado que se analizaron los datos históricos correspondientes a un período definido, sin manipulación de variables.

Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por todas las facturas generadas por el Hospital General Riobamba del IESS entre los años 2019 y 2022, tanto de pacientes afiliados al IESS como de la Red Pública Integral de Salud (RPIS).

Se trabajó con un muestreo censal, es decir, se incluyó la totalidad de los registros disponibles y validados en la base de datos institucional hasta el año 2022.

Criterios de inclusión y exclusión

- **Criterios de inclusión:**
 - Registros de facturación emitidos entre enero de 2019 y diciembre de 2022.

- Datos que contengan información completa sobre los valores presentados, aprobados, objetados y RPIS.
- **Criterios de exclusión:**
 - Registros con información incompleta, duplicada o sin validación oficial.
 - Facturación perteneciente a procesos administrativos no relacionados con atención hospitalaria directa.

Fuentes de información

Los datos fueron obtenidos directamente de los reportes oficiales de facturación del Hospital General Riobamba del IESS, disponibles en los archivos administrativos y validados hasta el año 2022.

Validación y tratamiento de datos

Antes del análisis estadístico, se realizó una validación de la base de datos para identificar registros inconsistentes, incompletos o duplicados. Los valores extremos (outliers) se detectaron mediante inspección gráfica y el cálculo de puntuaciones z estandarizadas, considerándose atípicos aquellos que excedieron ± 3 desviaciones estándar respecto a la media. Estos casos fueron revisados individualmente para confirmar si correspondían a errores de registro o a eventos reales de alta magnitud.

Los registros con datos faltantes en variables en estudio (valores presentados, aprobados, objetados o RPIS) fueron excluidos del análisis, mientras que los campos no determinantes se dejaron en blanco sin imputación. Este proceso garantizó la validez interna de los datos y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Procedimiento de análisis

Los registros recopilados fueron organizados y depurados en Microsoft Excel LTSC Professional Plus 2024, verificando la coherencia y consistencia de los valores reportados en cada año del período de estudio. Posteriormente, la información fue analizada con el software IBM SPSS Statistics versión 25, aplicando estadística descriptiva para obtener medidas de tendencia central y dispersión, principalmente media, desviación estándar y porcentajes.

Métodos estadísticos



Se utilizó la desviación estándar como medida de dispersión para evaluar la variabilidad de los valores facturados en los distintos años del estudio. Este análisis permitió identificar fluctuaciones, estabilidad y posibles anomalías en los montos presentados, aprobados, objetados y provenientes del RPIS. Los resultados se presentan en la Tabla 1, mientras que la Figura 1 muestra la evolución temporal de la facturación total, permitiendo visualizar las tendencias a lo largo del período analizado.

Dado que el estudio incluyó la totalidad de los registros de facturación institucional disponibles (muestreo censal), no se aplicaron pruebas de inferencia estadística. En lugar de ello, se emplearon medidas descriptivas que permiten caracterizar el comportamiento real de la población analizada. Esta decisión metodológica evita la estimación de parámetros poblacionales mediante inferencia, al no tratarse de una muestra representativa, sino del universo completo de observaciones válidas durante el período 2019–2022.

Tabla 1. Resultados de facturación anual de 2019 a 2022

AÑO	PRESENTADOS	APROBADOS	OBJETADOS	RPIS
2019	24475899,5	484760,51	23991139	426810,18
2020	15543407,9	14921163,2	622244,71	524077,74
2021	20028789,7	19130496,6	898293,04	559221,78
2022	18090854,2	17478092,5	612761,71	402211,95

Para la construcción de la figura 1, se ha considerado la desviación estándar como una medida de dispersión, lo que facilita la identificación de fluctuaciones y estabilidad en los valores reportados durante el período analizado. Este enfoque permite evaluar la consistencia de la facturación anual y detectar posibles anomalías o patrones significativos en los datos.



Figura 1. Evolución de la Facturación presentada

3. RESULTADOS

Durante el período comprendido entre 2019 y 2022, los valores de facturación del Hospital General Riobamba del IESS presentaron variaciones significativas. La media de facturación anual fue de 19.08 millones de dólares, con una desviación estándar de 3.91 millones, lo que refleja una fluctuación importante entre los años analizados.

El año 2019 registró la mayor facturación, con 24.47 millones de dólares, mientras que el 2020 presentó el valor más bajo (15.54 millones), evidenciando una disminución del 36.5% respecto al año anterior. Este descenso fue particularmente pronunciado entre abril y mayo de 2020, cuando la reducción mensual alcanzó valores cercanos al 70%, en comparación con el mismo período de 2019 (Figura 2).

El año 2021 mostró una recuperación progresiva, con un incremento anual del 28.8% frente a 2020, alcanzando una facturación de 20.02 millones de dólares. Finalmente, en 2022, los valores disminuyeron nuevamente en un 9.9% respecto al año anterior, situándose en 18.09 millones de dólares.



Figura 2: Datos de facturación presentada

Los valores aprobados presentaron un comportamiento ascendente entre 2019 y 2021, seguido de una ligera reducción en 2022 (Figura 3).

En términos absolutos, el valor aprobado pasó de 484,760 USD en 2019 a 19.13 millones USD en 2021, lo que representa un crecimiento acumulado del 3,848%. Este incremento refleja una mejora sustancial en los procesos de auditoría y en la precisión de los registros de facturación.

Entre 2021 y 2022 se observó una reducción del 3.6%, con una aprobación total de 17.47 millones USD. Aun así, el promedio de aprobación anual entre 2020 y 2022 se mantuvo muy superior al de 2019, indicando una tendencia de consolidación en los mecanismos de validación interna y de control documental.



Figura 3: Datos de facturación aprobada

Los valores objetados por las financiadoras disminuyeron progresivamente a lo largo del período analizado (Figura 4).

En 2019, las objeciones representaron aproximadamente el 97.9% del total facturado, evidenciando deficiencias en los procedimientos administrativos y de registro. En 2020, esta proporción descendió al 4.0%, en 2021 al 4.5%, y en 2022 al 3.4%, lo que refleja una mejora sostenida en la gestión documental y en la precisión del registro de atenciones.

El promedio de valores objetados durante el cuatrienio fue de 1.03 millones USD, con una desviación estándar de 0.14 millones, lo que denota un comportamiento estable tras la implementación de medidas correctivas.



Figura 4: Datos de valores objetados

Los valores facturados a la Red Pública Integral de Salud (RPIS) muestran una tendencia variable, con un aumento notable en 2020 y 2021, seguido de una reducción en 2022 (Figura 5).

En 2020, la facturación RPIS alcanzó 524,077 USD, registrando un incremento del 22.7% frente a 2019. En 2021, el valor aumentó un 6.7% adicional, situándose en 559,221 USD. Finalmente, 2022 reflejó una reducción del 28%, con 402,211 USD, lo que indica un retorno a niveles previos a la pandemia y una estabilización del flujo de atenciones derivadas.



Figura 5: Datos de facturación de la Red Pública Integral de Salud

La figura presenta los valores auditados a la Red Pública Integral de Salud (RPIS) en los períodos objeto del presente estudio

En 2019 no se registran datos para los primeros meses, pero a partir de 2020 los ingresos se estabilizan con ligeras disminuciones en 2022, posiblemente debido a la reducción de demanda tras las campañas de vacunación contra el virus SARS COV 2.

El 2020 está marcado por un aumento en los ingresos debido al inicio de la pandemia. A pesar de las variaciones mensuales, la facturación RPIS general muestra un incremento.

El 2021 mantiene el promedio de facturación más alta, lo cual podría estar relacionado con una segunda ola de la pandemia y una mayor utilización de servicios de salud por parte de la población.

Tabla2. Desviación estándar de Facturación.

Indicador	2019	2020	2021	2022	Media
Facturación total (USD)	24,475,899	15,543,407	20,028,789	18,090,854	19,034,237
Facturación aprobada (USD)	484,760	14,921,163	19,130,496	17,478,092	13,503,628
Valores objetados (USD)	23,991,139	622,244	898,293	612,761	6,531,609
RPIS (USD)	426,810	524,078	559,221	402,212	478,080

4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

El análisis de la facturación hospitalaria entre 2019 y 2022 muestra un comportamiento heterogéneo, con un descenso marcado en 2020, un repunte en 2021 y una nueva disminución en 2022. Este patrón refleja el impacto directo de la pandemia de COVID-19 sobre la dinámica asistencial y administrativa del Hospital General Riobamba del IESS, un fenómeno que también ha sido observado en otros contextos sanitarios a nivel internacional.

De acuerdo con [18], la adecuada planificación presupuestaria y la distribución eficiente de los recursos constituyen elementos esenciales para garantizar la sostenibilidad del sistema de salud. En concordancia con ello, los resultados de este estudio muestran que la gestión financiera del hospital ha experimentado ajustes significativos, probablemente orientados a optimizar la asignación de fondos en respuesta a la crisis sanitaria.

La disminución observada en la facturación del año 2020 podría explicarse por la suspensión de atenciones programadas y la priorización de recursos para la atención de pacientes con COVID-19. Este comportamiento coincide con los hallazgos de [19], quienes identifican que la estancia hospitalaria representa una de las principales fuentes de costos en los sistemas sanitarios, lo cual tiende a concentrar los recursos durante los períodos de emergencia.

El incremento registrado en 2021 refleja una recuperación de la actividad asistencial, similar a lo señalado por [20], quienes destacan que, ante un aumento de la demanda de atención, los costos financieros globales tienden a incrementarse de forma proporcional, aunque los costos unitarios por paciente pueden reducirse debido a la eficiencia adquirida con la experiencia acumulada.

En cuanto a la disminución progresiva de los valores objetados entre 2020 y 2022, este resultado sugiere una mejora en la calidad de los procesos administrativos y de control, alineándose con lo planteado por [21], quienes enfatizan la necesidad de fortalecer la gestión farmacoeconómica y administrativa para lograr una mayor eficiencia en la facturación y auditoría hospitalaria.

Por otro lado, el estudio de [22] sobre los costos de dispositivos médicos resalta la importancia de optimizar los procedimientos administrativos para reducir gastos innecesarios. Esta perspectiva guarda relación con la tendencia observada en el hospital, donde la precisión documental y la estandarización de procesos habrían contribuido a una menor proporción de valores objetados.

[23] señalan que la facturación por servicios médicos especializados debe analizarse bajo criterios de costo-beneficio y racionalización del gasto. En este sentido, la disminución observada en los ingresos por la Red Pública Integral de Salud (RPIS) en 2022 puede interpretarse como un proceso de ajuste hacia la eficiencia económica y la priorización de servicios esenciales.

Asimismo, [24] evidencian que las decisiones clínicas y administrativas no siempre se guían exclusivamente por criterios de costo, sino también por la efectividad y seguridad de las intervenciones. Esto se refleja en la continuidad de ciertos servicios de alta demanda en el hospital, incluso en períodos de restricción presupuestaria.

En conjunto, los hallazgos de este estudio evidencian que la facturación hospitalaria constituye un indicador indirecto de la capacidad de respuesta institucional ante crisis sanitarias, al reflejar tanto la dinámica asistencial como la eficiencia administrativa. La tendencia observada entre 2019 y 2022 sugiere un proceso de aprendizaje organizacional, donde la gestión financiera y documental del hospital evolucionó para adaptarse a los desafíos impuestos por la pandemia, optimizando la relación entre atención brindada y recursos disponibles.

5. CONCLUSIÓN

El análisis de la facturación hospitalaria entre 2019 y 2022 permite evidenciar que la pandemia de COVID-19 tuvo un impacto determinante en la dinámica financiera del Hospital General Riobamba del IESS. La disminución inicial en 2020, seguida por un incremento en 2021 y una posterior reducción en 2022, refleja la capacidad de adaptación institucional frente a un contexto sanitario excepcional.

A partir de 2020 se observa una mejora progresiva en la calidad de los procesos de facturación y en la gestión de objeciones, lo que sugiere la implementación de mecanismos más rigurosos de

control documental, capacitación del personal y fortalecimiento de los sistemas de información administrativa. Esta evolución contribuyó a incrementar la proporción de valores aprobados y a reducir significativamente los montos objetados, demostrando una mayor eficiencia en la gestión hospitalaria.

La alta tasa de objeciones registrada en 2019 puede interpretarse como una consecuencia de la falta de estandarización en los procedimientos de registro y auditoría, situación que se corrigió en los años siguientes. La experiencia adquirida durante la pandemia actuó como un catalizador para la modernización de los procesos internos y la consolidación de una cultura administrativa orientada a la transparencia y la calidad.

En cuanto a la Red Pública Integral de Salud (RPIS), los valores de facturación evidencian una fase de expansión en 2020–2021 y una etapa de estabilización en 2022, lo que indica una normalización progresiva del sistema tras la emergencia sanitaria. Esta tendencia resalta la necesidad de fortalecer los mecanismos de planificación y control presupuestario interinstitucional para garantizar la sostenibilidad del sistema público de salud.

Finalmente, los resultados de este estudio subrayan la importancia de integrar los procesos financieros y clínicos mediante sistemas de gestión basados en evidencia. Futuras investigaciones deberían profundizar en el análisis estadístico y comparativo de los factores que inciden en la eficiencia de la facturación hospitalaria, incluyendo variables como complejidad del caso, tipo de servicio, duración de estancia y costos indirectos. Un abordaje más robusto en este sentido permitirá generar modelos predictivos que optimicen la toma de decisiones y fortalezcan la gestión económica del sistema de salud.

6. AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que brindaron su apoyo y colaboración para la realización de esta investigación. Su contribución ha sido muy grande para el desarrollo y culminación de este trabajo, proporcionando conocimientos, recursos y



orientación que enriquecieron de muy grata manera el proceso.

A todos aquellos que, de manera directa o indirecta, aportaron su tiempo, experiencia y compromiso, les extendemos nuestra gratitud y reconocimiento.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[7]

- [1] C. F. Barragán Quizhpe, E. M. Vilcacundo Chamorro, R. F. Jaramillo Villafuerte, and C. Espinosa Ruiz, "View of COVID-19 Pandemic's Economic Impact on the Healthcare Sector: A Case Study of Guaranda Basic Hospital (IESS) from 2020 [8] to 2022." Accessed: Nov. 19, 2023. [Online]. Available: <https://remittancesreview.com/menu-script/index.php/remittances/article/view/770/409>
- [2] A. De Lossada, Oteo-Álvaro, S. Giménez, I. Oyagüez, and J. Rejas, "Análisis coste-efectividad [9] de celecoxib frente a antiinflamatorios no esteroideos no selectivos en el tratamiento de la artrosis en España: una perspectiva actual," *SEMERGEN - Medicina de Familia*, vol. 42, no. 4, pp. 235–243, May 2016, doi: 10.1016/J.SEMERG.2015.04.008.
- [3] H. Borja Romero, Y. Gil-Rojas, J. M. Senior, C. Castañeda-Cardona, and D. Rosselli, "Costo- [10] efectividad del abordaje radial comparado con el femoral en la arteriografía coronaria diagnóstica e intervencionista," *Revista Colombiana de Cardiología*, vol. 25, no. 5, pp. 297–304, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.RCCAR.2018.03.007.
- [4] T. Martínez-Menchón, P. Sánchez-Pedreño, J. Martínez-Escribano, R. Corbalán-Vélez, and E. Martínez-Barba, "Cost analysis of sentinel lymph node biopsy in melanoma," *Actas Dermosifiliogr*, vol. 106, no. 3, pp. 201–207, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.adengl.2015.01.018. [11]
- [5] J. Darba and G. Restovic, "Coste real de las transfusions sanguíneas en España," *Med Clin (Barc)*, vol. 130, no. 1, pp. 37–38, Jan. 2008, doi: 10.1157/13114547.
- [6] J. M. Cisneros, J. Palomino-Nicás, and J. Pachón-Díaz, "La interconsulta de enfermedades [13]
- infecciosas es una actividad clave para los servicios y unidades de enfermedades infecciosas y para el hospital," *Enferm Infecc Microbiol Clin*, vol. 32, no. 10, pp. 671–675, Dec. 2014, doi: 10.1016/J.EIMC.2013.03.019.
- A. Perea-Bello and D. Rosselli, "Análisis Costo-Utilidad Del Manejo Integral De Las Pacientes Con Carcinoma De Seno Tratadas Con Reconstrucción De Seno Inmediata Vs. Diferida En Colombia," *Value in Health*, vol. 18, no. 7, p. A823, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.JVAL.2015.09.273.
- Á. Hernández Martín, A. Núñez Reiz, M. Sáiz Martínez, and J. Rovirosa i Juncosa, "Coste por proceso en el tratamiento quirúrgico del cáncer de piel," *Gac Sanit*, vol. 20, no. 4, pp. 273–279, Jul. 2006, doi: 10.1157/13091141.
- R. Luengo-Fernandez, L. E. Silver, S. A. Gutnikov, A. M. Gray, and P. M. Rothwell, "Hospitalization resource use and costs before and after TIA and stroke: Results from a population-based cohort study (OXVASC)," *Value in Health*, vol. 16, no. 2, pp. 280–287, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.jval.2012.10.013.
- A. Ribera, E. Vela, A. García-Altés, M. Clèries, and S. Abilleira, "Evolución del gasto en servicios sanitarios antes y después del ictus isquémico: análisis de base poblacional," *Neurología*, vol. 37, no. 1, pp. 21–30, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.NRL.2018.11.002.
- J. L. Conde Olasagasti *et al.*, "Análisis de costes del programa integrado de tratamiento renal sustitutivo en la provincia de Toledo (2012-2013)," *Nefrología*, vol. 37, no. 3, pp. 285–292, May 2017, doi: 10.1016/J.NEFRO.2016.11.016.
- L. Puig *et al.*, "Carga de la psoriasis en Cataluña: datos epidemiológicos, comorbilidades asociadas, uso de recursos sanitarios e incapacidad laboral," *Actas Dermosifiliogr*, vol. 112, no. 5, pp. 425–433, May 2021, doi: 10.1016/J.AD.2020.11.017.
- F. Suárez-Obando and J. Camacho Sánchez, "Estándares en informática médica: generalidades y



- aplicaciones," *Rev Colomb Psiquiatr*, vol. 42, no. 3[20] pp. 295–302, 2013, doi: 10.1016/S0034-7450(13)70023-4.
- [14] A. Aguado, D. Rodríguez, F. Flor, A. Sicras, A. Ruiz, and A. Prados-Torres, "Distribución del gasto sanitario en atención primaria según edad y sexo: un análisis retrospectivo," *Aten Primaria*, vol. 44, no. 3, pp. 145–152, Mar. 2012, doi: [21] 10.1016/J.APRIM.2011.01.011.
- [15] E. Moreno Millán, J. M. G. Torrecillas, and M. C. L. Pereira, "Variación de la estancia preoperatoria en España según grupos de edad, sexo y modo de acceso hospitalario (urgente o programado)," *Revista de Calidad Asistencial*, vol. 23, no. 5, pp. 222–229, Oct. 2008, doi: 10.1016/S1134-282X(08)72611-3. [22]
- [16] M. Giner-Soriano, M. Casajuana, A. Roso-Llorach, C. Vedia, and R. Morros, "Efectividad, seguridad y costes de la prevención tromboembólica en fibrilación auricular. Estudio de cohortes apoyado por Propensity score," *Aten Primaria*, vol. 52, no. 3, pp. 176–184, Mar. 2020, doi: [23] 10.1016/J.APRIM.2019.06.002.
- [17] Martin-Gorgojo A., Garcia-Doval I., and Del Río de la Torre E., "Encuesta sobre las características y honorarios de la práctica dermatológica privada española en 2018 | 10.1016/j.ad.2018.09.005," 2018. Accessed: Nov. 19, 2023. [Online]. Available [24] <https://sci-hub.3800808.com/10.1016/j.ad.2018.09.005>
- [18] E. Vela, M. Clèries, V. A. Vella, C. Adroher, and A. García-Altés, "Análisis poblacional del gasto en servicios sanitarios en Cataluña (España): ¿qué y quién consume más recursos?," *Gac Sanit*, vol. 33, no. 1, pp. 24–31, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.GACETA.2017.05.017.
- [19] D. González-Martín *et al.*, "Artículo traducido] Impacto económico de las fracturas periprotésicas de cadera," *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*, vol. 66, no. 6, pp. T59–T66, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.RECOT.2022.07.019.
- C. Kilchemmann Fuentes, C. Vallejos Vallejos, and A. Román Navarro, "Costo efectividad y análisis de impacto presupuestario del óxido nítrico inhalatorio neonatal en un hospital, desde la perspectiva del sistema público de salud," *Rev Chil Pediatr*, vol. 87, no. 6, pp. 463–467, Nov. 2016, doi: 10.1016/J.RCHIPE.2016.05.002.
- M. Pérez-Encinas, A. Lozano-Blázquez, J. García-Pellicer, I. Torre-Lloveras, J. L. Poveda-Andrés, and M. Á. Calleja-Hernández, "Encuesta Nacional de la SEFH-2019: cartera de servicios, actividad asistencial, docencia e investigación en los Servicios de Farmacia Hospitalaria en España," *Farmacia Hospitalaria*, vol. 45, no. 1, pp. 32–40, Jan. 2021, doi: 10.7399/FH.11611.
- A. M. Gomez *et al.*, "Clinical and economic benefits of integrated pump/CGM technology therapy in patients with type 1 diabetes in Colombia," *Endocrinología y Nutrición (English Edition)*, vol. 63, no. 9, pp. 466–474, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.endoen.2016.10.009.
- A. Macaya-Pascual, R. López-Canós, S. López-Piquer, and S. Gómez, "Análisis de los motivos de consulta y de su coste en la asistencia dermatológica en un centro de Atención Primaria," *Actas Dermosifiliogr*, vol. 97, no. 9, pp. 569–572, Nov. 2006, doi: 10.1016/S0001-7310(06)73467-6.
- E. Trillo Sallán, E. Rubio Aranda, F. Castaño Lasaosa, and E. Rubio Calvo, "Depresión en atención primaria: ¿cuál es su gasto farmacéutico?," *Aten Primaria*, vol. 35, no. 3, p. 165, Feb. 2005, doi: 10.1157/13071945.





REVISIÓN DE ESTRATEGIAS NUTRICIONALES, TECNOLÓGICAS Y DE MANEJO PARA MITIGAR LAS EMISIONES DE METANO EN RUMIANTES

*Review of Nutritional, Technological, and Management Strategies
to Mitigate Methane Emissions in Ruminants*

REVISIÓN DE ESTRATEGIAS NUTRICIONALES, TECNOLÓGICAS Y DE MANEJO PARA MITIGAR LAS EMISIONES DE METANO EN RUMIANTES

Review of Nutritional, Technological, and Management Strategies to Mitigate Methane Emissions in Ruminants

González-Puetate Iván Roberto
Moya-Palacios Katherine Alejandra
Cedeño-Reyes Pedro Pablo
Benítez-Abarca Gloria María

¹ Universidad de Guayaquil, Ecuador, ivan.gonzalezp@ug.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, katherine.moya@istcarloscisneros.edu.ec

³ Universidad de Guayaquil, Ecuador, pedro.cedenor@ug.edu.ec

⁴ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, gloria.benitez@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

La mitigación de las emisiones de metano entérico en rumiantes representa un desafío crucial para la sostenibilidad ambiental y productiva de la ganadería. Este estudio tuvo como objetivo revisar estrategias nutricionales, tecnológicas y de manejo con potencial para reducir dichas emisiones sin comprometer el rendimiento animal. La investigación se desarrolló mediante una revisión bibliográfica exhaustiva de literatura científica actualizada, enfocándose en alternativas como el uso de compuestos bioactivos en especies forrajeras, aditivos dietéticos, tecnologías de precisión y prácticas de manejo sostenible. Los resultados evidencian que especies como Gliricidia sepium, Leucaena leucocephala y Guazuma ulmifolia contienen taninos y saponinas que modulan la fermentación ruminal y reducen la producción de metano. Asimismo, el uso de probióticos, bacterias homoacetogénicas y el manejo eficiente de residuos agroindustriales emergen como herramientas prometedoras. La implementación de sistemas silvopastoriles y tecnologías digitales permite mejorar la productividad y disminuir el impacto ambiental. Se concluye que la adopción de estrategias integrales y multidisciplinarias, articuladas con políticas públicas y formación técnica, es clave para avanzar hacia una ganadería más resiliente y climáticamente responsable.

Palabras clave: metano entérico, rumiantes, Metanogénesis, fermentación entérica, sistemas silvopastoriles, bioaumentación, biotecnología ruminal, ganadería de precisión.



ABSTRACT

The mitigation of enteric methane emissions in ruminants represents a critical challenge for the environmental and productive sustainability of livestock farming. This study aimed to review nutritional, technological, and management strategies with the potential to reduce these emissions without compromising animal performance. The research was conducted through an exhaustive bibliographic review of updated scientific literature, focusing on alternatives such as the use of bioactive compounds in forage species, dietary additives, precision technologies, and sustainable management practices. The results show that species such as Gliricidia sepium, Leucaena leucocephala, and Guazuma ulmifolia contain tannins and saponins that modulate ruminal fermentation and reduce methane production. Additionally, the use of probiotics, homoacetogenic bacteria, and the efficient management of agro-industrial residues emerge as promising tools. The implementation of silvopastoral systems and digital technologies helps improve productivity and reduce environmental impact. It is concluded that the adoption of integral and multidisciplinary strategies, articulated with public policies and technical training, is key to advancing toward a more resilient and climate-responsible livestock sector.

Keywords: *Enteric methane, Ruminants, Methanogenesis, Enteric fermentation, Silvopastoral systems, Bioaugmentation, Rumen biotechnology, Precision livestock farming.*

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La producción de metano (CH_4) en rumiantes, particularmente en bovinos, es un proceso biológico natural generado en el rumen como resultado de la fermentación entérica, llevada a cabo por microorganismos metanogénicos que degradan los carbohidratos de la dieta. Aunque forma parte del ciclo biogeoquímico del carbono, este proceso representa un desafío doble: por un lado, implica una pérdida energética para el animal entre el 2 % y el 12 % de la energía bruta consumida se pierde como CH_4 y, por otro, representa un importante contribuyente al cambio climático, ya que el metano posee un potencial de calentamiento global muy superior al del dióxido de carbono [1].

A escala global, la ganadería es responsable de aproximadamente el 37 % de las emisiones antropogénicas de metano, siendo la fermentación entérica la principal fuente [2]. En este contexto, la reducción de estas emisiones se ha convertido en una prioridad para la sostenibilidad del sector. Una alternativa prometedora radica en el aprovechamiento de residuos agrícolas, los cuales presentan un alto potencial para ser utilizados en alimentación animal, producción de biocombustibles, compostaje y elaboración de bioproductos de alto valor [3]. En países en desarrollo, donde la agricultura y la agroindustria son pilares económicos, la generación de residuos agroindustriales es inevitable. No obstante, su adecuada gestión permite integrarlos en modelos de economía circular y sostenibilidad productiva [4].

La inadecuada disposición de estos residuos suele provocar su acumulación en sitios no autorizados, generando lixiviados y emisiones de gases de efecto invernadero [5]. En India, por ejemplo, se ha reportado que los residuos agrícolas pueden generar hasta 583 toneladas métricas de material particulado (PM10), con efectos nocivos sobre la salud humana y el ambiente [6]. A pesar de su potencial, la falta de conocimiento, políticas adecuadas y tecnología limita su aprovechamiento eficiente, incrementando el impacto ambiental [7].

Desde el punto de vista nutricional, se ha demostrado que la calidad de los forrajes incide directamente en la producción de metano. En bovinos, esta puede representar entre el 5.5 % y el 6.5 % de la energía ingerida, llegando hasta un 18 % cuando la dieta se basa en forrajes de baja

calidad; sin embargo, estas pérdidas podrían reducirse hasta un 7 % mediante ajustes nutricionales [8]. Los ácidos grasos volátiles (AGV), como el acetato, propionato y butirato, productos principales de la fermentación ruminal, influyen directamente en la metanogénesis [9]. Dietas ricas en forrajes promueven la producción de acetato asociado a mayores emisiones, mientras que las dietas con concentrados incrementan el propionato, favoreciendo una menor generación de CH_4 [10].

Recientes investigaciones han explorado el uso de compuestos bioactivos presentes en las algas marinas, como flavonoides y polifenoles, los cuales modifican la microbiota ruminal y disminuyen la producción de metano [11]. Asimismo, la inclusión de concentrados incrementa la tasa de pasaje y reduce el pH ruminal, generando cambios microbianos que disminuyen la proporción de protozoarios y modifican la relación acetato:propionato. Estas alteraciones promueven una menor producción entérica de metano y una mejor eficiencia digestiva, especialmente cuando se suministran partículas finas de alimento [12].

De forma complementaria, la implementación de tecnologías digitales ha cobrado importancia en la ganadería moderna. Los sistemas de producción de precisión permiten monitorear el comportamiento, salud y consumo del ganado, facilitando decisiones basadas en datos. Estos sistemas han demostrado mejorar la productividad en un 15 %, reducir el consumo energético en un 35 %, disminuir el desperdicio de alimento en un 75 % y reducir el potencial de calentamiento global hasta en un 5,83 % [13].

Además, estrategias basadas en el uso de extractos vegetales con compuestos fenólicos han mostrado efectos positivos al interferir con enzimas involucradas en la digestión de fibra y metabolismo de aminoácidos, reduciendo significativamente la producción de CH_4 [14]. A estas medidas se suman prácticas de manejo como el tratamiento del estiércol, la mejora de la conversión alimenticia y el aprovechamiento de subproductos agroindustriales, todas dirigidas a minimizar la huella ambiental de la ganadería.

La implementación de medidas de mitigación de la metanogénesis se vuelve urgente, dado el impacto acelerado que generan estos gases tanto en el clima global como en la eficiencia productiva del sistema ganadero [15]. En este contexto, el presente trabajo



tiene como objetivo revisar la literatura científica disponible sobre estrategias actuales para la reducción de emisiones de metano en rumiantes. Se analizarán intervenciones nutricionales, aplicaciones tecnológicas y prácticas de manejo innovadoras, evaluando su eficacia desde una perspectiva dual: el incremento de la productividad y la sostenibilidad ambiental. Frente al reto global de garantizar la seguridad alimentaria y enfrentar el cambio climático, estas estrategias representan oportunidades clave para transformar la ganadería en un modelo más resiliente y responsable.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

Enfoque de investigación:

Este estudio adoptó un enfoque cualitativo, basado en una revisión de la literatura científica, con el propósito de diagnosticar y analizar las estrategias más efectivas para reducir las emisiones de metano en la ganadería tropical, con un énfasis particular en los sistemas silvopastoriles. Se buscó comprender cómo diversas prácticas relacionadas con la alimentación animal, el manejo de pastos y forrajes, así como el uso de aditivos nutricionales (como extractos vegetales, aceites esenciales y probióticos), impactan la fermentación ruminal y la generación de metano.

Asimismo, se integró el análisis de estrategias emergentes como la alimentación de precisión, la cual permite ajustar la calidad y cantidad de la dieta en función de las necesidades específicas del animal, mejorando la eficiencia alimentaria y reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero. Esta perspectiva permitió abordar de manera integral las interacciones entre nutrición, microbiota ruminal y producción de metano, considerando la complejidad de los sistemas productivos tropicales.

Diseño de estudio

El diseño del estudio se fundamentó en una revisión documental de tipo integrativo, orientada a la recolección, selección crítica y análisis comparativo de información científica publicada en los últimos cinco años. Se incluyeron artículos revisados por pares, informes técnicos, documentos institucionales y reportes de organismos nacionales e internacionales, con el fin de construir una visión amplia y actualizada sobre las prácticas de mitigación del metano entérico.

Además del enfoque en alimentación y sistemas silvopastoriles, se consideró el papel de los subproductos agroindustriales y residuos de cosecha en la nutrición animal y su potencial como herramientas sostenibles para reducir emisiones. En este sentido, se evaluaron experiencias en el aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de energía, fertilización de suelos y como insumos alternativos en la dieta de rumiantes.

Fuentes de información y criterios de selección

La búsqueda de información se realizó utilizando bases de datos científicas reconocidas como Scopus, Web of Science, Google Scholar, SciELO y PubMed, empleando palabras clave como: metano entérico, rumiantes, silvopastoreo, nutrición animal, fermentación ruminal, aditivos naturales, alimentación de precisión, y mitigación de gases de efecto invernadero.

Los criterios de inclusión para los documentos seleccionados fueron: publicaciones entre 2018 y 2024, relevancia temática en el contexto de la ganadería tropical, rigor metodológico y aplicabilidad de las estrategias propuestas. Se excluyeron estudios que no contaran con revisión por pares o cuya información no estuviera alineada con el objetivo del presente análisis.

3. RESULTADOS

El sector agropecuario enfrenta múltiples desafíos en el contexto actual, influenciado por factores económicos, ambientales y sociales. Según Lara Haro et al. [16], la crisis sanitaria del COVID-19 impactó significativamente este sector en Ecuador, afectando las ventas debido a restricciones en el transporte, reducción de la demanda y contracción del comercio internacional. En este sentido, la implementación de estrategias sostenibles, como los sistemas silvopastoriles, cobra especial relevancia para mitigar tanto los impactos ambientales como económicos. A largo plazo, el crecimiento del PIB agropecuario está influenciado por variables como el PIB nacional, las exportaciones y el financiamiento; sin embargo, en el corto plazo, el comercio internacional puede ejercer una influencia negativa [17].

Dentro de las alternativas sostenibles, la incorporación de especies arbóreas forrajeras como Gliricidia sepium, Leucaena leucocephala y Guazuma ulmifolia en la alimentación de rumiantes



ha demostrado un efecto positivo para reducir las emisiones de metano. Estas especies contienen taninos y saponinas, metabolitos secundarios que modulan la fermentación ruminal, reduciendo la actividad de las arqueas metanogénicas y redirigiendo el hidrógeno hacia la producción de ácido propiónico. Además, su aporte de proteína de sobrepasso mejora el aprovechamiento del nitrógeno, incrementando la eficiencia productiva y fomentando sistemas ganaderos más sostenibles [18].

El crecimiento exponencial de la población mundial ha incrementado la demanda alimentaria, lo que ha derivado en una mayor generación de residuos de cosecha y subproductos agroindustriales. En 2022, la producción mundial de carne alcanzó los 274,274 miles de toneladas, de las cuales aproximadamente el 95 % se destinó al consumo, representando cerca del 8 % del total de la masa alimentaria global [19]. En este contexto, la mitigación de emisiones de metano en el sector agropecuario es fundamental, promoviendo prácticas como el manejo eficiente del ganado, el uso de sistemas silvopastoriles, la optimización de la alimentación animal y el tratamiento adecuado de residuos orgánicos. Estas acciones contribuyen a la lucha contra el cambio climático y fortalecen la competitividad del sector en mercados globales.

Por otro lado, el cambio climático y las actividades humanas adversas afectan la fertilidad del suelo, provocando escasez de alimentos y pérdida de biodiversidad. Shehzad y Khan [20] destacan que la financiación para la conservación de la biodiversidad puede fortalecer el sector agrícola y contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 15 (vida terrestre), ODS 2 (hambre cero) y ODS 13 (acción por el clima).

Para reducir las emisiones de metano en la ganadería, se han desarrollado múltiples estrategias. Vargas-Ortiz et al. [21] evidencian que la inclusión de *Acacia mearnsii* en las dietas de rumiantes, en niveles del 20 % y 40 %, especialmente en este último, disminuye la producción de metano al limitar la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos metanogénicos gracias a los taninos presentes. Sin embargo, niveles elevados pueden afectar la digestibilidad de la materia seca y orgánica, disminuyendo la eficiencia digestiva y la producción animal.

Complementariamente, se han explorado prácticas como el uso de aceites esenciales, taninos y

probióticos. Króliczewska et al. [22] indican que los probióticos modulan la microbiota ruminal para favorecer la producción de ácido propiónico en lugar de metano, reduciendo significativamente las emisiones de CH₄. De manera similar, un estudio reciente con ovinos criollos alimentados con un 20 % de *Acacia mearnsii* mostró una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero y una mejora en la digestibilidad in vivo de la materia seca y orgánica, favoreciendo así una ganadería más sostenible [23].

La bioaumentación con bacterias homoacetogénicas surge como una estrategia innovadora para mitigar la producción de metano. Karekar y Ahring [24] demostraron que cepas como *Acetobacterium woodii* y un consorcio bacteriano aislado de heces de crías de canguro compiten con los metanógenos por el hidrógeno, desviando el flujo hacia la acetogénesis y reduciendo la generación de CH₄. Esta técnica aumentó la fermentación y la producción de ácidos grasos volátiles, especialmente acetato, sin comprometer la digestión ruminal.

Finalmente, la adopción de sistemas de ganadería de precisión facilita el monitoreo y análisis del comportamiento, consumo y salud del ganado, permitiendo decisiones informadas que mejoran la productividad y disminuyen las emisiones de metano. Papadopoulos et al. [13] reportan incrementos en productividad del 15 %, reducciones en el consumo energético del 35 % y disminución del desperdicio de alimentos en un 75 %, traduciéndose en una reducción del potencial de calentamiento global hasta en un 5,83 %.

En conclusión, la reducción de las emisiones de metano del ganado es esencial para mitigar el impacto ambiental del sector. El estudio sobre accesibilidad vial de sistemas silvopastoriles en Manabí revela que, si bien el 45% de las áreas se concentra cerca de las carreteras, la sostenibilidad ganadera requiere combinar mejoras en conectividad con tecnologías adaptativas. Esta integración es crucial para reducir las emisiones de metano y desarrollar una producción ganadera resiliente al cambio climático. [25].

Tabla 1. Principales estrategias para la reducción de metano en sistemas agropecuarios.



Estrategia	Características Principales	Método	Autor
Sistemas silvopastoriles	Integración de árboles forrajeros para reducir emisiones de metano y mejorar eficiencia productiva.	Incorporación de especies arbóreas en sistemas ganaderos.	Narváez J.P.. (2018) [18].
Inclusión de <i>Acacia mearnsii</i> (AM) en la dieta	Disminución de metano por efecto de los taninos sobre la microbiota ruminal.	Suplementación con AM en dietas de rumiantes (20-40%).	Córdoba F. S. et al. (2025) [23].
Uso de probióticos	Modulación de microbiota ruminal para reducir metano y mejorar digestibilidad.	Inclusión de probióticos en la alimentación animal.	Króliczewska et al. (2023) [22].
Bioamplificación con bacterias homocetogénicas	Competencia con metanógenos para reducir metano en rumiantes.	Introducción de <i>Acetobacterium woodii</i> y consorcios bacterianos	Karekari y Ahring (2023) [24].
Sistemas de precisión en ganadería	Optimización del manejo del ganado mediante monitoreo y análisis de datos.	Uso de sensores y análisis de datos para mejorar eficiencia.	Papadopoulos et al. (2025) [13].

La Tabla 1 presenta diversas estrategias para mitigar las emisiones de metano en la ganadería, incluyendo sistemas silvopastoriles, manejo eficiente del ganado, incorporación de pastos y forrajes de calidad, así como la implementación de sistemas de precisión. Estas prácticas no solo

mejoran la eficiencia productiva, sino que también contribuyen significativamente a reducir el impacto ambiental del sector.

4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

Los resultados de esta revisión evidencian que la mitigación del metano entérico en la ganadería requiere un enfoque integral que aborde simultáneamente los desafíos ambientales, económicos y sociales del sector. En contextos como el ecuatoriano, donde la vulnerabilidad del sector agropecuario se vio acentuada por la crisis sanitaria del COVID-19, se vuelve imperativo fortalecer sistemas resilientes que aseguren la sostenibilidad productiva. En este sentido, los sistemas silvopastoriles emergen como una estrategia eficaz, no solo para reducir emisiones de metano, sino también para diversificar la producción, mejorar el bienestar animal y contribuir a la estabilidad económica de los productores.

La incorporación de especies forrajeras con compuestos bioactivos, como taninos y saponinas, en la dieta de rumiantes, ha demostrado ser una herramienta prometedora para la modulación de la fermentación ruminal. Plantas como *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* han mostrado efectos positivos en la reducción de metano sin comprometer significativamente la productividad animal. Sin embargo, como lo demuestran estudios con *Acacia mearnsii*, es necesario encontrar un equilibrio adecuado en la inclusión de estas especies para evitar efectos adversos en la digestibilidad de la fibra y la eficiencia energética de la dieta.

Asimismo, el aumento en la demanda mundial de carne y la generación de subproductos agroindustriales ofrecen oportunidades para integrar residuos orgánicos como insumos nutricionales. Este enfoque no solo disminuye el desperdicio, sino que también puede contribuir a mitigar las emisiones de metano si se implementan estrategias adecuadas de formulación y manejo.

Desde la perspectiva biotecnológica, la suplementación con probióticos, levaduras y bacterias homocetogénicas representa un avance en la manipulación de la microbiota ruminal. Estas prácticas permiten redirigir los flujos de hidrógeno hacia rutas no metanogénicas, manteniendo una fermentación eficiente y estable. Su integración con prácticas tradicionales de manejo alimenticio



representa una vía prometedora hacia sistemas más sostenibles.

Por otro lado, las tecnologías de precisión están revolucionando el monitoreo y la gestión del ganado. El uso de sensores y plataformas digitales permite la recolección y análisis en tiempo real de parámetros clave, optimizando decisiones nutricionales y sanitarias. Estas herramientas contribuyen a reducir la huella ambiental de la ganadería al mejorar la eficiencia del sistema productivo, y al mismo tiempo, permiten individualizar estrategias de mitigación.

En conjunto, los hallazgos subrayan la necesidad de articular la nutrición, la biotecnología y la digitalización en la implementación de estrategias de mitigación. No obstante, la efectividad de estas acciones dependerá en gran medida de su aceptación por parte de los productores, la disponibilidad de incentivos y políticas públicas que promuevan su adopción, y la capacitación técnica que asegure su correcta implementación. En este sentido, es crucial que futuras investigaciones y programas de extensión incluyan componentes socioeconómicos y de transferencia tecnológica que garanticen la escalabilidad y sostenibilidad de estas prácticas en diferentes contextos ganaderos.

5. CONCLUSIÓN

La ganadería enfrenta el desafío urgente de reducir sus emisiones de metano sin comprometer la productividad animal. Esta revisión evidencia que la mitigación efectiva requiere un enfoque integral que combine estrategias nutricionales, tecnológicas y de manejo.

Desde el punto de vista nutricional, la inclusión de especies forrajeras con compuestos bioactivos como taninos y saponinas demuestra un alto potencial para modular la fermentación ruminal y reducir la generación de metano. Sin embargo, su aplicación debe considerar cuidadosamente el equilibrio entre la eficiencia digestiva y la reducción de emisiones. De igual forma, la suplementación con concentrados, el uso de aditivos como probióticos y la manipulación del tamaño de partícula de los alimentos ofrecen alternativas viables para mejorar la eficiencia alimentaria y disminuir las pérdidas energéticas por metano.

A nivel tecnológico, la implementación de herramientas de ganadería de precisión permite monitorear parámetros productivos y ambientales en

tiempo real, facilitando la toma de decisiones informadas y sostenibles. Esta innovación resulta esencial para optimizar el rendimiento y reducir el impacto ecológico del sector.

Por su parte, los sistemas silvopastoriles destacan como una estrategia integral al combinar beneficios ecológicos, económicos y sociales. Estos sistemas no solo favorecen la captura de carbono y la biodiversidad, sino que también fortalecen la resiliencia de los sistemas productivos ante escenarios adversos como los evidenciados durante la pandemia de COVID-19.

Finalmente, se concluye que la integración de prácticas sostenibles debe ir acompañada de políticas públicas inclusivas, incentivos económicos, y programas de capacitación técnica para los productores. Solo a través de una acción coordinada entre ciencia, tecnología y gestión del conocimiento será posible avanzar hacia una ganadería climáticamente inteligente, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al equipo de investigadores por su valiosa contribución en el desarrollo de este trabajo, así como por el compromiso demostrado durante el proceso de revisión y análisis. Asimismo, se reconoce el respaldo institucional brindado a través de la alianza estratégica entre la Universidad de Guayaquil y el Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, la cual ha sido fundamental para el fortalecimiento de la investigación y la generación de conocimiento aplicado en beneficio del sector agropecuario.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. C. Ku-Vera, O. A. Castelán-Ortega, F. A. Galindo-Maldonado, J. Arango, N. Chirinda, R. Jiménez-Ocampo, S. S. Valencia-Salazar, E. J. Flores-Santiago, M. D. Montoya-Flores, I. C. Molina-Botero, A. T. Piñeiro-Vázquez, J. I. Arceo-Castillo, C. F. Aguilar-Pérez, L. Ramírez-Avilés, and F. J. Solorio-Sánchez, "Review: Strategies for enteric methane mitigation in cattle fed tropical forages," *Animal*, vol. 14, Suppl. 3, pp. s453–s463, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731120001780>

- [2] K. P. Tigmasa Paredes, "Contribución de las emisiones de gas metano producidas por el ganado



bovino al cambio climático”, *Rías*, vol. 5, p. e215, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e215>

[3] A. Georganas, P. Kyriakaki, E. Giamouri, A. Mavrommatis, E. Tsiplakou, and A. C. Pappas, “Mediterranean agro-industrial by-products and food waste in pig and chicken diets: Which way forward?”, *Livest. Sci.*, vol. 289, p. 105584, 2024, ISSN: 1871-1413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2024.105584>

[4] F. Miranda, “Gestión sostenible de residuos agroindustriales y economía circular en países en desarrollo,” *Revista Latinoamericana de Economía Circular*, vol. 5, no. 1, pp. 45-59, 2022. DOI: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2477-90752022000100001

[5] K. Sokal and M. Kachel, “Impacto de la agricultura en las emisiones de gases de efecto invernadero: una revisión,” *Energies*, vol. 18, no. 9, p. 2272, 2025. [Online]. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18092272>

[6] B. K. Thirunagari, R. Kumar, and S. H. Kota, “Assessing and mitigating India's agricultural emissions: A regional and temporal perspective on crop residue, tillage, and livestock contributions,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 488, p. 137407, 2025, ISSN: 0304-3894. [Online]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137407>

[7] E. D. C. Cavalcanti, E. C. G. Aguiéiras, M. F. S. Mota, P. R. da Silva, R. Fernandez-Lafuente, A. M. de Castro, and D. M. G. Freire, “Use of Rhizomucor miehei fermented babassu cake (an agro-product residue) as efficient biocatalyst for macaúba acid oil deacidification in solvent-free medium: Transforming a non-edible crop product in a favourable biodiesel feedstock,” *Process Biochem.*, vol. 148, pp. 176–182, 2025, ISSN: 1359-5113. [Online]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.11.018>

[8] J. C. Carmona, D. M. Bolívar, and L. A. Giraldo, “El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo,” *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.*, vol. 18, no. 1, pp. 49–63, 2005. DOI: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902005000100006

[9] J. L. Lerma-Lasso, P. P. Bacca-Acosta, B. G. Obando-Enríquez, E. Castro-Rincón, and J. L. Cardona-Iglesias, “Sistemas silvopastoriles: una opción para la sostenibilidad de los sistemas ganaderos de alta montaña,” *Pastos y Forrajes*, vol. 46, pp. 1–9, 2023. DOI: <https://www.redalyc.org/journal/2691/269176991015/>

[10] J.A. Alayón, “Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería,” *Agro Productividad*, vol. 11, no. 2, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i2.112>

[11] Y. Choi, S. J. Lee, H. S. Kim, J. S. Eom, S. U. Jo, L. L. Guan, T. Park, J. Seo, Y. Lee, D. Bae, and S. S. Lee, “Red seaweed extracts reduce methane production by altering rumen fermentation and microbial composition in vitro,” *Front. Vet. Sci.*, vol. 9, Art. no. 985824, 2022. [Online]. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.985824>

[12] Ramos J.O. Condiciones de alimentación en ganado bovino para disminuir las emisiones de Metano en el contexto nariñense. [online]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/25168>.

[13] G. Papadopoulos, M.-Z. Papantonatou, H. Uyar, O. Kriezi, A. Mavrommatis, V. Psirokis, A. Kasimati, E. Tsiplakou, and S. Fountas, “Economic and environmental benefits of digital agricultural technological solutions in livestock farming: A review,” *Smart Agricultural Technology*, vol. 10, p. 100783, 2025, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100783>

[14] E. Giamouri, F. Zisis, C. Mitsiopoulou, C. Christodoulou, A. C. Pappas, P. E. Simitzis, C. Kamilaris, F. Galliou, T. Manios, A. Mavrommatis, and E. Tsiplakou, “Estrategias sostenibles para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la cría de pequeños rumiantes,” *Sustainability*, vol. 15, no. 5, p. 4118, 2023, DOI: <https://doi.org/10.3390/su15054118>

[15] D. J. Bonilla-Sandí, L. Noboa-Jiménez, V. Portuguez-Molina, F. Quinto-Ureña, and J. J. Rojas-Gutiérrez, “Metanogénesis microbiana en animales poligástricos,” *Rev. Nat.*, vol. 14, no. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15517/nat.v14i1.42578>

[16] D. M. Lara Haro, L. A. . Argothy Almeida, J. P. . Martínez Mesías, y M. A. Mejía Chávez, “El impacto



de las crisis en el desempeño del sector agropecuario del Ecuador", *Finanz. polit. econ.*, vol. 14, n.º 1, feb. 2022. DOI: <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.v14.n1.2022.7>

[17] AF . Núñez-Naranjo, DML . Haro, JPM . Mesías, y MJS . Sarzosa, "Tamaño y crecimiento de las empresas en el sector comercial de Ecuador: Un análisis desde una perspectiva de economía industrial", *JoE* , vol. 3, n.º 6, págs. 2051–2064, sep. 2024. DOI: <https://doi.org/10.62754/joe.v3i6.4159>

[18] Narváez J. P. Especies forrajeras, arbóreas y arbustivas con efectos potenciales sobre la disminución de las emisiones de metano en bovinos. [online]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13219>.

[19] K. P. G. Hernández, O. F. P. Rebolledo, and A. C. G. Casillas, "Producción y comercio de la carne en el mundo y en México," *Sociedades Rurales*, Producción y Medio Ambiente, vol. 23, no. 46, pp. 135–156, 2023.

[20] A. Shehzad and K. I. Khan, "Time traveling through research: Bibliometric analysis of biodiversity finance in agricultural sector for SDGs," *J. Agric. Food Res.*, vol. 18, Art. no. 101485, 2024. DOI: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/675c0be1d569cb0574844f20>

[21] L. Vargas-Ortiz, V. Andrade-Yucailla, M. A. Barros-Rodríguez, R. Lima-Orozco, E. Macías-Rodríguez, K. Contreras-Barros, C. Guishca-Cunuhay, and A. Z. M. Salem, "Rumen function and in vitro gas production of diets influenced by two levels of tannin-rich forage," *Fermentation*, vol. 8, no. 11, art. 607, 2022, DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8110607>

[22] B. Króliczewska, E. Pecka-Kielb, and J. Bujok, "Estrategias para reducir las emisiones de metano de los rumiantes: Controversias y problemas," *Agriculture*, vol. 13, no. 3, p. 602, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13030602>

[23] F. S. Córdova Frías, L. M. Vargas Ortiz, M. S. Carrera Romo, y L. E. Pavón Ramírez, "Evaluación de la Digestibilidad in Vivo de Dietas con Follaje de Acacia Mearnssi en Ovinos Criollos", *Ciencia Latina*,

vol. 8, n.º 6, pp. 8487-8500, ene. 2025. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15550

[24] S. C. Karekar and B. K. Ahring, "Reducing methane production from rumen cultures by bioaugmentation with homoacetogenic bacteria," *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, vol. 47, art. no. 102526, 2023, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102526>

[25] González-Puente, M. Morocho-Rodríguez, C. Álvarez-Guillén, y E. Cervantes-Cevallos, "Sostenibilidad productiva y accesibilidad vial en sistemas silvopastoriles con pastos cultivados en Manabí ", *Pentaciencias*, vol. 7, n.º 4, pp. 458–466, ago. 2025., DOI: <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v7i4.1604>





**PROTOTIPO FUNCIONAL DE BAJO COSTO PARA LA
REHABILITACIÓN PASIVA EN PACIENTES CON SÍNDROME DEL
TÚNEL CARPIANO**

**LOW-COST FUNCTIONAL PROTOTYPE FOR PASSIVE
REHABILITATION IN PATIENTS WITH CARPAL TUNNEL SYNDROME**

PROTOTIPO FUNCIONAL DE BAJO COSTO PARA LA REHABILITACIÓN PASIVA EN PACIENTES CON SÍNDROME DEL TÚNEL CARPIANO

LOW-COST FUNCTIONAL PROTOTYPE FOR PASSIVE REHABILITATION IN PATIENTS WITH CARPAL TUNNEL SYNDROME

Paul Arsecio Salazar Castillo¹,
Stalyn Ramón Calero Calero²,
Dario José Silva Gaguancela³,
Alexander Leonardo Pérez Jaramillo⁴,

¹ Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós¹, Ecuador, psalazar@istmbr.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós², Ecuador, scalero@istmbr.edu.ec

³ Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós³, Ecuador, dsilva@istmbr.edu.ec

⁴ Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós⁴, Ecuador, aperez@istmbr.edu.ec

RESUMEN

El presente artículo describe el desarrollo de un prototipo funcional de bajo costo orientado a la rehabilitación pasiva del síndrome del túnel carpiano, enfocado específicamente en los movimientos de flexión y extensión de los dedos índice y medio. Esta propuesta tecnológica surge como una alternativa frente a las limitaciones de acceso a terapias convencionales. La investigación se enmarca en un estudio aplicado y experimental, con enfoque cuantitativo. El diseño mecánico del prototipo se realizó mediante software CAD, utilizando parámetros antropométricos normalizados, y fue validado estructuralmente mediante análisis por elementos finitos, obteniéndose tensiones máximas de 4.22 MPa, valor muy por debajo del límite de resistencia del material (60 MPa), y un factor de seguridad superior a los estándares recomendados, lo que garantiza la integridad del prototipo incluso ante posibles sobrecargas. La fabricación se llevó a cabo mediante impresión 3D con filamento PETG. El sistema de control integra servomotores y una placa ESP32-S3 alimentados por una fuente de 5 V DC, y se opera de forma remota a través de una interfaz móvil inalámbrica mediante el protocolo UDP. Se lograron movimientos pasivos controlados en un rango de 0 a 90 grados, con tiempos de ejecución de 2.5 segundos y una precisión angular con error menor a 2°. La validación ergonómica con 10 usuarios evidenció una aceptación promedio superior a 4.5 sobre 5. Se plantea como trabajo futuro la validación clínica en pacientes diagnosticados.

Palabras clave: rehabilitación, túnel carpiano, prototipo funcional, impresión 3D, servomecanismos.



ABSTRACT

This article presents the development of a low-cost functional prototype aimed at passive rehabilitation for carpal tunnel syndrome, specifically focused on flexion and extension movements of the index and middle fingers. This technological proposal emerges as an alternative to the limited access to conventional therapies. The research is framed as an applied and experimental study with a quantitative approach. The mechanical design of the prototype was carried out using CAD software and based on standardized anthropometric parameters. Structural validation was performed through finite element analysis (FEA), obtaining maximum stress values of 4.22 MPa, well below the material's yield strength (60 MPa), and a safety factor above recommended standards, ensuring the prototype's integrity even under potential overload conditions. The prototype was manufactured using 3D printing with PETG filament. The control system integrates servomotors and an ESP32-S3 board powered by a 5 V DC source and is operated remotely via a wireless mobile interface using the UDP protocol. Controlled passive movements ranging from 0 to 90 degrees were achieved, with execution times of 2.5 seconds and an angular error of less than 2°. Ergonomic validation with 10 users showed an average acceptance rating above 4.5 out of 5. Future work includes clinical validation with diagnosed patients.

Keywords: Rehabilitation, carpal tunnel, functional prototype, 3D printing, servomechanisms.

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

El síndrome del túnel carpiano (STC) es una de las neuropatías periféricas más comunes en la población trabajadora a nivel mundial [1]. Es causado por la compresión del nervio mediano a nivel de la muñeca, quienes pierden de manera esencial movilidad y requieren fisioterapia [2], generando síntomas como hormigueo, dolor nocturno, entumecimiento, debilidad y pérdida de sensibilidad en los dedos índice, medio y parte del anular, afectando significativamente la funcionalidad de la mano, tomando en cuenta como trastornos asociados a los riesgos ocupacionales [3]. En la mayoría de casos esta afección requiere de fisioterapia para recuperar su calidad de vida [4], los afectados por éste síndrome presentan un incremento a 18,75mm² del área del corte transversal del nervio mediano, en pacientes sometidos a examen ultrasonográficos, padeciendo mayormente la afectación pacientes mujeres [5].

La prevalencia de éste síndrome está entre 5,3% mujeres respecto a 2,1% en hombres siendo uno de los trastornos de extremidades más incapacitantes y costosos [6]. Esta problemática plantea la necesidad de alternativas tecnológicas que permitan ejecutar terapias de forma autónoma y a bajo costo, facilitando la continuidad del tratamiento sin supervisión médica directa.

En este contexto, el avance de la ingeniería mecatrónica ha posibilitado el desarrollo de dispositivos tecnológicos orientados a la rehabilitación física, tales como prótesis, exoesqueletos o mecanismos pasivos controlados electrónicamente. Los exoesqueletos robóticos son una alternativa existente para la posible recuperación motora de pacientes, dónde a partir de diseño y la interacción de sistemas dotados de HMI acompañados con electromiografía, todos estos dispositivos robóticos podrán apoyar a una gama más amplia de discapacidades pudiendo replicar los movimientos naturales de los dedos afectados, de manera repetitiva y segura [7]. Además, el uso de herramientas como el diseño asistido por computadora (CAD), el análisis estructural mediante elementos finitos (FEA), Simulación de Biomecánica (SB) y la fabricación aditiva mediante impresión 3D han democratizado el desarrollo de prototipos funcionales a bajo costo [8], permitiendo optimizar la resistencia mecánica, estos exoesqueletos pueden usar barras para transmitir fuerza, un guante actuado con cables o la posibilidad de utilizar dispositivos con actuadores deformables asegurando geometría adecuada y así garantizando

su funcionalidad antes de su construcción física para conseguir el desplazamiento y posición más favorable alcanzando grandes fuerzas [9].

Diversos estudios [10, 11, 12] han documentado la eficacia de exoesqueletos, para la rehabilitación de extremidades, especialmente en el ámbito postquirúrgico y de terapias pasivas asistidas. Sin embargo, muchos de estos dispositivos presentan limitaciones económicas o tecnológicas para ser implementados en entornos domésticos. Frente a este panorama, la presente investigación plantea el desarrollo de un prototipo mecánico ergonómico de bajo costo, orientado a la rehabilitación pasiva de los dedos índice y medio en pacientes con STC. El objetivo es desarrollar una solución accesible y funcional que promueva la autonomía del usuario durante el proceso terapéutico de rehabilitación, aplicando criterios de diseño, validación estructural acompañado del sistema de control.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

A. *Tipo de estudio y enfoque metodológico*

La presente investigación se enmarca en un estudio de tipo aplicado y experimental, con un enfoque cuantitativo. Se adoptó una metodología centrada en el diseño y validación de prototipos tecnológicos, fundamentada en los principios de ingeniería de diseño mecánico y electrónico. El objetivo fue comprobar una hipótesis mediante la evaluación funcional y estructural de un dispositivo orientado a la rehabilitación.

El desarrollo del estudio se llevó a cabo en los laboratorios del Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós (Nueva Loja, Ecuador), entre abril y julio de 2025. Para validar aspectos relacionados con la comodidad, facilidad de uso, percepción de seguridad y estética del prototipo, se trabajó con una muestra intencional de 10 usuarios, con edades entre 20 y 36 años, cuyas características antropométricas correspondían a rangos promedio de la población. Todos los participantes no presentaban diagnóstico clínico de STC, lo que permitió realizar las pruebas en condiciones controladas y seguras.

B. *Diseño del prototipo*

Se realizó un análisis de la biomecánica de la mano, con énfasis en el movimiento de flexión y extensión, tomando en cuenta el criterio de compensación de esfuerzos o por un aumento de capacidades motrices que se logra a partir de un exoesqueleto



pasivo que son el 70% de los que se comercializan [11]; se ha tomado énfasis en los dedos índice y medio. Para definir las dimensiones del diseño se emplearon parámetros antropométricos según la norma DIN 33402, considerando medidas del percentil 50, que son las medidas promedio. El diseño tridimensional se realizó usando el software de diseño asistido por computador (CAD), aplicando principios de ergonomía, modularidad y facilidad de ensamblaje. Se modelaron mecanismos articulados de tipo manivela-balancín para simular los movimientos naturales de las falanges de la mano, el diseño final se presenta en la Fig.1.

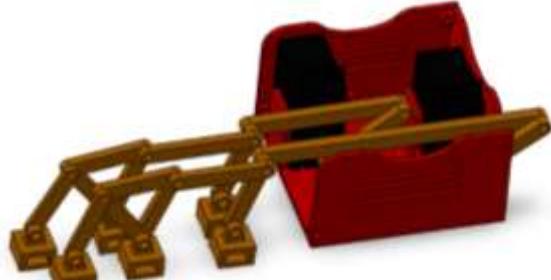


Fig.1: Diseño tridimensional del prototipo de rehabilitación, centrado en los dedos índice y medio.

La validación estructural del modelo diseñado en el software se realizó mediante análisis por elementos finitos (FEA), utilizando simulación (CAE). Para ello, se aplicaron condiciones de carga equivalentes al esfuerzo promedio ejercido por los dedos índice y medio de la mano derecha en adultos de entre 20 y 40 años, con valores de 31.48 N y 31.42 N, respectivamente [12]. Los resultados obtenidos incluyeron mapas de esfuerzo de Von Mises y el cálculo del factor de seguridad (FDS), tomando como referencia la resistencia a la fluencia del material PETG, estimada en 60 MPa, como se muestra en la Fig. 2.

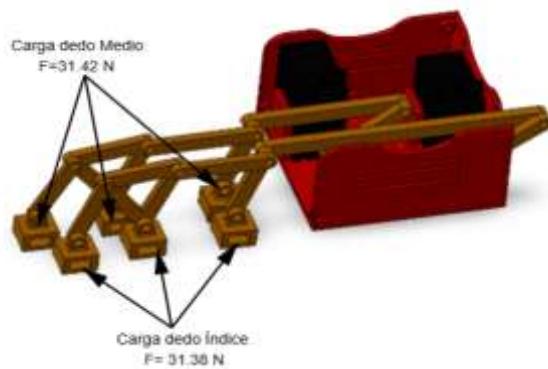


Fig.2: Cargas aplicadas para Análisis por elementos finitos (FEA) de la estructura tridimensional del prototipo.

C. Fabricación del prototipo

La estructura fue fabricada mediante impresión 3D FDM, utilizando filamento de PETg, seleccionado por su buena resistencia mecánica, flexibilidad y facilidad de impresión. Se utilizó una impresora TEVO Tarántula con boquilla de 0.4 mm para filamento de 1.75mm, a 240 °C de temperatura de extrusión y 70 °C en la cama caliente.

Se integraron dos servomotores Tower Pro MG996R, capaces de generar un torque de hasta 11 kg*cm, controlados por una placa ESP32-S3 ZERO programada mediante Arduino IDE. El sistema incluye un circuito de control alimentado por 5 V DC a 2A y una interfaz móvil desarrollada en App Inventor 2 que permite ejecutar las rutinas de flexión y extensión de forma remota.

La unidad de control del sistema basada en el microcontrolador ESP32-S3, es responsable de generar las señales PWM para el accionamiento de los servomotores. La interacción con el usuario se realiza mediante conectividad inalámbrica vía Wifi, mediante el protocolo UDP. La Fig. 2 muestra el diagrama de bloques general del sistema de control integrado al prototipo.

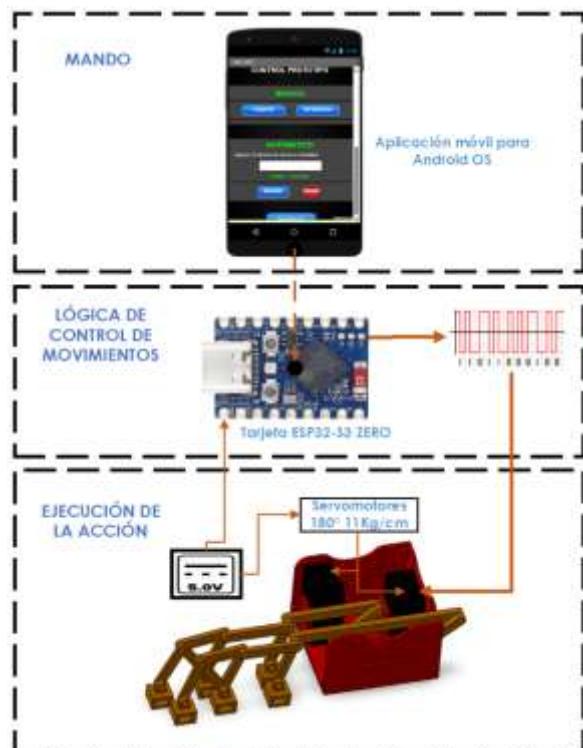


Fig.2: Diagrama de bloques de la unidad de control del prototipo de rehabilitación.

D. Evaluación funcional

Se realizaron pruebas de funcionamiento para medir el rango de movimiento angular, el tiempo de respuesta de los movimientos y la repetitividad de los ciclos. Los resultados se registraron tras múltiples secuencias de flexión-extensión. Aunque de acuerdo a Hernández et al. (2020), sugiere evaluar las variables de dolor, parestesia, la escala PSFS (Patient Specific Functional Scale) y el test de Moberg, con indicadores de 0 a 10, dónde se busca evaluar el estado funcional y las limitaciones en cada paciente [13].

Se aplicó una encuesta estructurada a los 10 usuarios sobre aspectos de comodidad, facilidad de uso, percepción de seguridad y estética del prototipo. Las respuestas se calificaron en una escala de 1 a 5 y se analizaron estadísticamente para identificar tendencias en la aceptación del diseño.

El enfoque metodológico seguido, se estructuró en fases progresivas que incluyeron el análisis del problema, diseño conceptual, modelado tridimensional, simulación estructural, fabricación y validación funcional. La Fig. 3 presenta la secuencia de diseño aplicado en esta investigación.

El modelo implementado se orienta al desarrollo y validación inicial de un dispositivo con enfoque de apoyo en el tratamiento de afecciones asociadas al síndrome de túnel carpiano (STC), sin embargo, el enfoque no ha de centrarse en medidas clínicas ni terapéuticas relacionadas con: *registros de dolor y molestias, indicadores fisiológicos, esfuerzo y fatiga, calidad de vida u otros efectos adversos* [14]. Que garantizarían de manera integral la utilización de este dispositivo como tratamiento terapéutico o complementario. El sistema propuesto no constituirá un modelo comercial, sino un prototipo en fase de investigación y desarrollo, cuyo objetivo principal es evaluar su grado de aceptabilidad y funcionalidad básica. Garantizando costos reducidos, un desempeño funcional adecuado lo que posibilita el acceso abierto, reduciendo limitaciones geográficas y favoreciendo la incorporación de tecnologías adicionales.

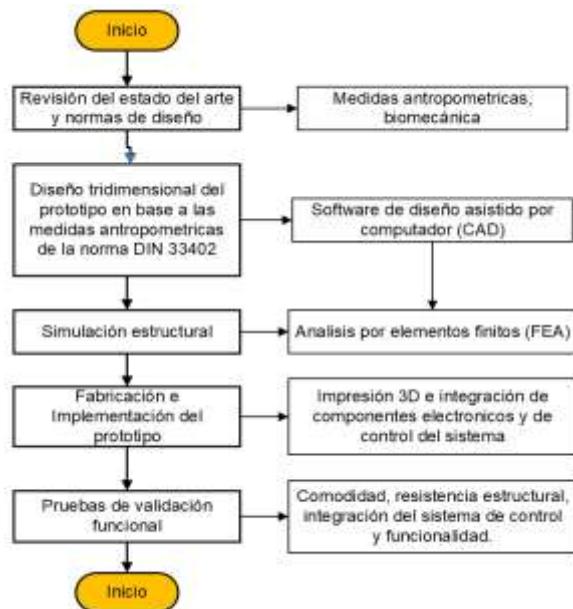


Fig.3: Esquema del proceso de diseño del prototipo de rehabilitación.

3. RESULTADOS

A. Validación estructural del modelo CAD

Se realizó la simulación por elementos finitos para validar la resistencia mecánica del prototipo bajo condiciones de carga representativas. En el caso, la tensión máxima obtenida fue de 4.22 MPa, como se observa en la Fig. 4. Este valor fue considerablemente inferior al límite de fluencia del material PETG (60 MPa), evidenciando que la estructura puede soportar con holgura las cargas generadas durante el proceso de rehabilitación. El factor de seguridad obtenido fue superior a 14 en ambas estructuras.

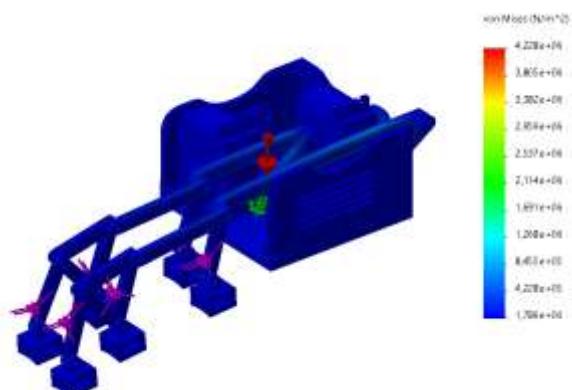


Fig.4: Mapa de esfuerzos de Von Mises para la estructura del prototipo mecatrónico.

B. Ensamble físico y operación del prototipo

El prototipo estructural fue fabricado mediante impresión 3D y ensamblado exitosamente, y los componentes electrónicos funcionaron adecuadamente al integrarse con el sistema de control, como se muestra en la Fig. 5. Durante las pruebas, se logró un movimiento de flexión hasta 90° y una extensión hasta 0°, con tiempos promedio de ejecución de 2.5 segundos y 2.7 segundos, respectivamente.

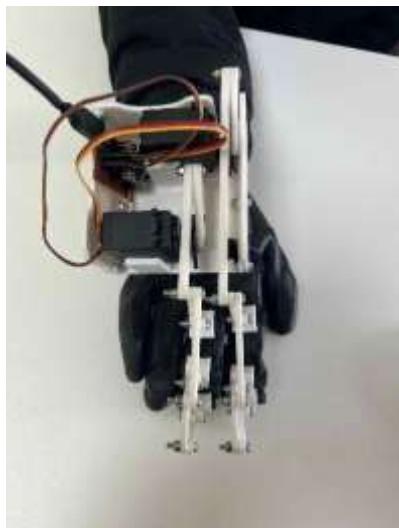


Fig.5: Ensamble físico final del prototipo mecatrónico de rehabilitación.

C. Repetitividad y precisión del movimiento

Se evaluó la repetitividad de los movimientos durante cinco ciclos de operación continua. Se registraron variaciones mínimas en el desplazamiento angular, con una desviación estándar inferior a 2 grados, lo cual demuestra una buena precisión en la ejecución automática del ejercicio terapéutico, como se muestra en Tabla 1.

Tabla 1. Repetitividad del desplazamiento angular durante la ejecución de cinco ciclos

Prueba N.-	Ángulo de Flexión (°)	Ángulo de Extensión (°)
1	90	1
2	88	0
3	89	2
4	92	-1
5	91	-1

Promedio	90	0.2
----------	----	-----

D. Evaluación ergonómica por usuarios

Se aplicó una encuesta estructurada a 10 participantes de la muestra, evaluando aspectos como comodidad, facilidad de uso, seguridad percibida y apariencia del dispositivo. En una escala de 1 a 5, los resultados promediaron 4.5 puntos en comodidad, 4.7 en facilidad de uso, 4.6 en seguridad y 4.2 en estética, reflejando una aceptación general positiva del diseño. En la Fig. 6 se muestra los promedios globales por cada pregunta.

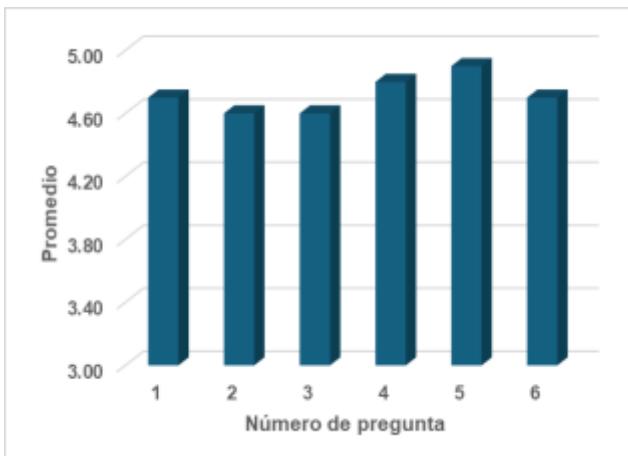


Fig.6: Promedio de respuestas de la evaluación ergonómica del prototipo.

4. DISCUSIÓN

El presente artículo tiene como objeto recopilar los aportes científicos y las perspectivas de diversos autores, complementados con un análisis estructural-funcional de un modelo prototípico que integra una interfaz de control basada en Android. Las tecnologías utilizadas en éste artículo son de uso común en el desarrollo de exoesqueletos biónicos, en consecuencia, se ha logrado tres objetivos cruciales: 1) Integrar tecnologías enfocadas al desarrollo de prototipos de bajo costo, con múltiples posibilidades de desarrollo tecnológico.

- 2) Utilizar tecnologías de prototipado rápido y software de diseño funcional con análisis de elementos finitos (FEA).
- 3) Reducir los costos de implementación y evaluar la respuesta de usuarios que presentan afecciones relacionadas al síndrome de túnel carpiano STC, analizando su nivel de aceptación respecto a la comodidad, facilidad de uso, percepción de



seguridad y estética del dispositivo, con una muestra de 10 usuarios entre 20 y 36 años.

Los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento muestran que el guante robótico permite realizar movimientos básicos de flexión y extensión de los dos dedos, con una precisión aceptable para tareas de rehabilitación pasiva reportados en autores como [1] y [6], quienes también muestran afecciones de (STC), bajo intensidades de leve o moderada.

En comparación con dispositivos de rehabilitación, como los exoesqueletos comerciales Hand of Hope o ExoGlove, [11] el prototipo desarrollado presenta la ventaja de un costo significativamente menor, así como una estructura más ligera y mayor adaptabilidad a distintas dimensiones antropométricas de la mano. Sin embargo, a diferencia de estos sistemas, el dispositivo aún presenta limitaciones en la precisión de control y falta de retroalimentación háptica, lo cual restringe su uso a terapias de nivel inicial.

El diseño de la estructura se basa en un mecanismo barras articuladas, que fueron concebidos para ejecutar los movimientos de flexión y extensión del dedo índice y cordial, con el propósito de asistir en la rehabilitación del síndrome del túnel carpiano que hace diferente con el estudio [4], que utiliza un sistema de barras circulares e hilos tensores para flexión y extensión alcanzando un rango de movimiento de la articulación metacarpofalángica (MCF) y la interfalángica proximal (IFP) alrededor de los 65°, pudiendo lograr similares resultados de flexión y extensión con el modelo propuesto.

En referencia a dos estudios concretos en casos clínicos explicados de personas que han sufrido accidente cerebrovascular y personas con distrofia muscular de Duchenne, [7] el estudio de nuevas tecnologías asociadas a exoesqueletos robóticos podría apoyar a una gama más amplia de discapacidades y afecciones.

[2] Según el estudio reportado [13], las férulas nocturnas inmovilizan la muñeca para reducir la compresión del nervio mediano, pero no son capaces de proveer un movimiento asistido, este modelo planteado permite movimientos guiados [3] a través de una aplicación móvil con la opción de integrar un control adaptivo, capaz de mejorar el confort y eficacia terapéutica del usuario.

5. CONCLUSIÓN

El prototipo funcional mecatrónico, fabricado mediante impresión 3D e integrado con servomecanismos y un sistema de control embebido, logró ejecutar de forma precisa los movimientos de flexión y extensión dentro del rango esperado de 0 a 90 grados. Se registraron tiempos de operación pasiva promedio de 2.5 segundos y una repetitividad adecuada, con un margen de error inferior a 2 grados en los desplazamientos angulares. La evaluación ergonómica aplicada a los usuarios evidenció una alta aceptación del dispositivo, destacando aspectos como comodidad, facilidad de uso y seguridad percibida.

Los resultados obtenidos confirman que es viable diseñar dispositivos prácticos y accesibles mediante la aplicación de herramientas de ingeniería mecánica, electrónica y fabricación aditiva. Este enfoque representa una alternativa prometedora para el desarrollo de soluciones terapéuticas autónomas, especialmente en contextos con limitaciones económicas o geográficas.

Como trabajo futuro, se plantea la incorporación de sensores de retroalimentación para el monitoreo en tiempo real del progreso del paciente, así como la evaluación clínica del dispositivo en usuarios con diagnóstico médico, enfocado en la adaptabilidad ergonómica del dispositivo para el tratamiento efectivo de afecciones similares.

Adicionalmente mejorar los materiales, procesos de fabricación y control electrónico, permitiendo prolongar la vida útil de cada componente y la funcionalidad del dispositivo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- S. J. Del Barrio et al., «Tratamiento conservador en pacientes con síndrome del túnel carpiano con intensidad leve o moderada. Revisión sistemática», *Neurología*, vol. 33, n.o 9, pp. 590-601, jul. 2016, doi: 10.1016/j.nrl.2016.05.018.
- «Síndrome del Túnel Carpiano: Causas, Síntomas y Tratamientos.», TRAUMACARE CLINIC, 2025. <https://traumacareclinic.com/sindrome-del-tunel-carpiano-causas-sintomas-y-tratamientos/> (accedido 27 de julio de 2025).
- D. Rempel et al., «Consensus criteria for the classification of carpal tunnel syndrome in epidemiologic studies.», *American Journal Of Public Health*, vol. 88, n.o 10, pp. 1447-1451, oct. 1998, doi: 10.2105/ajph.88.10.1447.



- [4] D. P. Mendoza, «Desarrollo de un Prototipo de Exoesqueleto para Imitación del Movimiento de la Mano Basado en una Interfaz Leap Motion[1,3] Universidad del Azuay, 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12798>
- [5] A. Arteaga-Romani, M. P. Quispe-Illanzo, A. Arteaga-Romani, y M. P. Quispe-Illanzo, «CARACTERÍSTICAS ULTRASONOGRAFICAS[4] DEL NERVIO MEDIANO EN PACIENTES CON SÍNDROME DEL TÚNEL CARPIANO.», Revista Médica Panacea, vol. 9, n.o 3, pp. 194-197, ene. 2021, doi: 10.35563/rmp.v9i3.375.
- [6] B. M. Huisstede, P. Hoogvliet, M. S. Randsdorp, S. Glerum, M. Van Middelkoop, y B. W. Koes, «Carpal Tunnel Syndrome. Part I: Effectiveness of Nonsurgical Treatments—A Systematic Review», Archives Of Physical Medicine And Rehabilitation, vol. 91, n.o 7, pp. 981-1004, jun. 2010, doi: 10.1016/j.apmr.2010.03.022.
- [7] K. Nizamis et al., «Transferable Expertise From Bionic Arms to Robotic Exoskeletons: Perspectives for Stroke and Duchenne Muscular Dystrophy», IEEE Transactions On Medical Robotics And Bionics, vol. 1, n.o 2, pp. 88-96, abr. 2019, doi: 10.1109/tmr.2019.2912453.
- [8] D. Copaci, D. Blanco, I. L. Guerra, S. C. Vázquez, y M. P. De Heredia, «Exoesqueleto actuado por SMA para movilización de la muñeca», Actas de las XXXVII Jornadas de Automática 7, 8 y 9 de Septiembre de 2016, Madrid, pp. 368-373, feb. 2022, doi: 10.17979/spudc.9788497498081.0368.
- [9] «Diseño de un sensor óptico de fuerza para exoesqueleto de mano», XXXVIII Jornadas de Automática, vol. 37, pp. 270-275, 2017, [En línea]. Disponible en:
<https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/46498>
- [10] B. Andrea y J. Díez, «Procedimiento de diseño de un exoesqueleto de miembro superior para soporte de cargas», Actas de las XXXVIII Jornadas de Automática, vol. 37, pp. 680-685, 2017, [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10651/46851>
- [11] G. Lasheras, N. Castro, R. O'Brien, L. Molisani, E. Laciar, y J. M. Fontana, «Diseño de una mano artificial antropomórfica para aplicaciones protésicas», IEEE Biennial Congress Of Argentina (ARGENCON), pp. 1-5, jun. 2016, doi: 10.1109/argencon.2016.7585335.
- [12] J. Gómez, P. Castiblanco, O. F. Avilés, y M. Maudeloux, «Dispositivo de medición de fuerza de los dedos y su rol en el seguimiento de las funciones de la mano», CIRUGÍA PLÁSTICA IBERO-LATINOAMERICANA, vol. 48, jun. 2022, doi: 10.4321/S0376-78922022000200013.
- D. Hernandez et al., «Eficacia de la férula nocturna y el ultrasonido para tratar el síndrome del túnel carpiano. Estudio clínico controlado y aleatorizado», Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología, vol. 85, n.o 4, pp. 357-368, nov. 2020, doi: 10.15417/issn.1852-7434.2020.85.4.982.
- H. Mardomingo-Medialdea, P. Fernandez-Gonzalez, y F. Molina-Rueda, «Usabilidad y aceptabilidad de los exoesqueletos portables para el entrenamiento de la marcha en sujetos con lesión medular: revisión sistemática», Revista de Neurología, vol. 66, n.o 02, p. 35, ene. 2018, doi: 10.33588/rn.6602.2017315.





**ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE CALIDAD SEGÚN LA NORMA
ISO 21001 EN LA GESTIÓN EDUCATIVA DEL INSTITUTO
TECNOLÓGICO MARTHA BUCARAM**

**ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS ACCORDING TO THE ISO 21001
STANDARD IN THE EDUCATIONAL MANAGEMENT OF THE MARTHA
BUCARAM TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE CALIDAD SEGÚN LA NORMA ISO 21001 EN LA GESTIÓN EDUCATIVA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO MARTHA BUCARAM

ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS ACCORDING TO THE ISO 21001 STANDARD IN THE EDUCATIONAL MANAGEMENT OF THE MARTHA BUCARAM TECHNOLOGICAL INSTITUTE

Santiago David Montoya Puglla¹,
Daniel Alejandro Robalino Peñaloza²,
Henry Geovanny Ávila Maza³,
Edison Javier Soque Mora⁴

¹Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, Ecuador, smontoya@istmbr.edu.ec.

²Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, Ecuador, drobalino@istmbr.edu.ec.

³Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, Ecuador, havila@istmbr.edu.ec.

⁴Taller de Servicios JS, Ecuador, soquejavier@servicios.ec.

RESUMEN

El análisis de los indicadores de calidad según el marco de referencia ISO 21001:2018 en el Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós tiene como objetivo comparar los parámetros establecidos por la norma con las evidencias disponibles en la institución, con el fin de determinar el nivel de gestión que se ofrece a la comunidad de Nueva Loja y Sucumbíos. Una de las principales aportaciones del estudio es la propuesta de un enfoque sistemático para la recolección de datos, elemento esencial en la evaluación de la calidad en las instituciones educativas. Esta evaluación implica la recopilación organizada de información que permite establecer las condiciones institucionales y su capacidad para cumplir con los estándares de calidad. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo que permitió obtener resultados relevantes. Se identificó un cumplimiento favorable en la mayoría de los capítulos de la norma; sin embargo, los capítulos relacionados con acción y mejora mostraron niveles bajos, con un 33% y 24% de aplicación respectivamente. Esto evidencia deficiencias y plantea como alternativa la necesidad de fortalecer los indicadores pendientes, con miras a la mejora continua y una posible certificación institucional bajo la norma ISO 21001:2018.

Palabras clave: ISO 21001:2018, Calidad, Planificar, Hacer, Verificar, Actuar.

ABSTRACT

The analysis of quality indicators according to the ISO 21001:2018 standard at the Martha Bucaram de Roldós Technological Institute aims to compare the parameters established by the standard with the available evidence within the institution, in order to determine the level of management provided to the community of Nueva Loja and the province of Sucumbíos. One of the main contributions of this study is the proposal of a systematic approach for data collection, an essential element in evaluating quality in educational institutions. This evaluation involves the organized collection of information that allows for the assessment of the institution's



current situation and its capacity to meet quality standards. The study was conducted using a qualitative approach, which yielded relevant results. Favorable compliance was identified in most sections of the standard; however, the sections related to action and improvement showed low levels of implementation, with only 33% and 24% compliance, respectively. This reveals some shortcomings and highlights the need to strengthen these areas in order to achieve continuous improvement and potentially obtain institutional certification under ISO 21001:2018.

Keywords: ISO 21001:2018, Quality, Plan, Do, Check, Act.

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La calidad de la educación superior se ha convertido en un eje estratégico para el desarrollo de los países, en especial en contextos donde persisten desigualdades en el acceso, cobertura y pertinencia educativa. En Ecuador, el Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CACES) ha establecido procesos de evaluación obligatoria para las instituciones de educación superior, lo que ha impulsado la búsqueda de estándares internacionales que respalden la mejora continua y el aseguramiento de la calidad. Uno de estos estándares es la Norma ISO 21001:2018, un sistema de gestión específico para organizaciones educativas, que establece un marco para mejorar los procesos institucionales, responder a las necesidades de los estudiantes y demostrar eficacia organizacional [1].

La presente investigación se desarrolla en el Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, ubicado en la provincia de Sucumbíos, una región con limitada oferta educativa pública a nivel técnico y tecnológico. El problema central identificado radica en la ausencia de una estructura formal de gestión de calidad que permita al Instituto alinearse con los requisitos normativos exigidos por el CACES y, al mismo tiempo, mejorar su desempeño institucional de forma sistemática. La falta de planificación estratégica, seguimiento de indicadores y procesos de autoevaluación con fines de mejora continua compromete su posicionamiento académico y limita su capacidad de respuesta frente a las exigencias del entorno productivo y social.

Esta situación se agrava al analizar la limitada oferta académica en la provincia de Sucumbíos, donde la presencia de instituciones de educación superior públicas con programas técnicos y tecnológicos es escasa, como se observa en la Figura 1. Esta realidad territorial acentúa la importancia estratégica del Instituto Martha Bucaram de Roldós como actor clave en la provisión de educación superior pertinente y de calidad en la región.

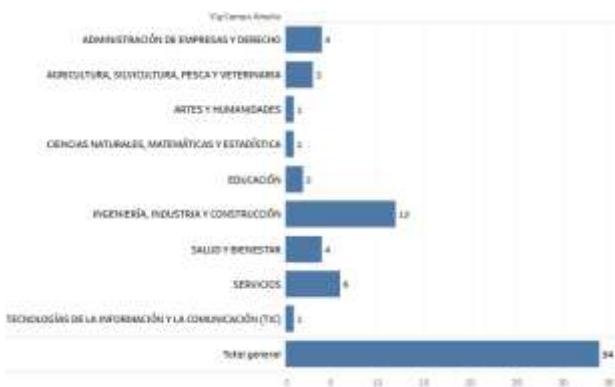


Figura 1. Oferta académica en la provincia de Sucumbíos. El grafico representa la oferta académica en los distintos campos de aplicación dentro de la provincia de Sucumbíos.

Estudios como los de López [2] han demostrado la efectividad de la norma ISO 21001 para fortalecer la cultura de calidad en instituciones de educación técnica en América Latina, promoviendo una gestión basada en evidencias, liderazgo centrado en los estudiantes y procesos inclusivos. Asimismo, investigaciones realizadas en contextos similares al ecuatoriano, como los de Rodríguez [3] han evidenciado que la adopción de modelos de gestión de calidad permite incrementar la satisfacción de los usuarios, optimizar los recursos institucionales y cumplir con estándares de acreditación exigidos a nivel nacional e internacional.

En investigaciones recientes se ha evidenciado que la gestión de la calidad en instituciones educativas requiere no solo de marcos normativos, sino también de procesos de mejora continua que integren a estudiantes, docentes y administrativos. Por ejemplo, Poquioma et al. [4] destacan que la implementación de sistemas de gestión de calidad en educación ha permitido optimizar la eficiencia institucional y fortalecer la pertinencia académica, siempre que exista un compromiso real de liderazgo y participación. De manera similar, Botero et al. [5] subrayan que los cambios en la calidad educativa no se producen de forma inmediata, sino que requieren de un proceso sostenido, con tiempo y recursos adecuados.

En el ámbito internacional, la Norma ISO 21001:2018 se ha convertido en un referente para la gestión de instituciones educativas, por cuanto ofrece herramientas para mejorar la transparencia, la equidad y la eficacia en los procesos de enseñanza y aprendizaje [1]. Estudios como el de

Bretaña et al. [6] señalan que la adopción de esta norma contribuye directamente al cumplimiento de la Agenda 2030, sobre todo en lo relacionado con garantizar una educación inclusiva y equitativa (ODS 4), reducir desigualdades (ODS 10) y fortalecer la sostenibilidad en contextos educativos (ODS 11). Esto ha llevado a que varios países adopten la ISO 21001 como marco de referencia para demostrar su compromiso con la calidad y la responsabilidad social de las instituciones educativas.

En Ecuador, el CACES ha establecido un modelo de aseguramiento de la calidad que exige a las instituciones de educación superior demostrar avances en docencia, investigación y vinculación con la sociedad [7]. En este marco, los institutos tecnológicos, como el Martha Bucaram de Roldós, enfrentan el doble reto de cumplir con los estándares nacionales y, a la vez, responder a las expectativas de sus comunidades. Acevedo et al. [8] sostienen que, en América Latina, aún existen brechas significativas entre los lineamientos normativos y la capacidad real de las instituciones para implementar sistemas de calidad efectivos, lo que justifica la necesidad de estudios aplicados en contextos locales como el presente.

Este estudio tiene como propósito analizar los indicadores de calidad educativa en el marco de la gestión institucional con base en la Norma ISO 21001 en el Instituto Martha Bucaram de Roldós. A través de esta investigación se busca identificar brechas y oportunidades de mejora que orienten la construcción de un sistema de gestión de calidad sólido, pertinente y contextualizado, que responda tanto a los estándares del sistema de educación superior ecuatoriano como a las necesidades de la comunidad educativa local.

En coherencia con los objetivos planteados, la presente investigación parte de la hipótesis de que el Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós no cuenta actualmente con un sistema de gestión de calidad alineado a la Norma ISO 21001:2018, lo que limita su capacidad de demostrar eficacia institucional y responder de manera óptima a las necesidades de su comunidad educativa. De manera específica, se plantea que la identificación de indicadores de gestión permitirá evidenciar brechas en relación con los requisitos normativos, que el diagnóstico institucional pondrá de relieve áreas críticas de mejora, y que la propuesta de alternativas facilitará la incorporación de un modelo de gestión de calidad que fortalezca la pertinencia,

transparencia y sostenibilidad del Instituto frente a las exigencias del CACES y del entorno social-productivo.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, sustentado en el paradigma interpretativo, dado que busca comprender el estado actual del Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós (ISTMBR) en relación con los requisitos establecidos por la norma ISO 21001:2018 y, a partir de ello, proponer el diseño de un sistema de gestión educativa acorde a los estándares internacionales de calidad. Sin embargo, se incorporó también un componente cuantitativo mediante la aplicación de encuestas estructuradas con escala Likert, lo que otorgó un carácter mixto al estudio al combinar el análisis cualitativo de documentos y categorías con la medición de percepciones numéricas.

El estudio es de tipo aplicado, dado que no se limita a describir un fenómeno, sino que busca intervenir en la realidad institucional mediante una propuesta de mejora concreta. Se empleó un diseño de caso único con análisis documental, lo que permitió examinar en profundidad los procesos académicos y administrativos vigentes en la institución. Para ello, se revisaron documentos oficiales como el Plan Estratégico Institucional, el POA, los informes de rendición de cuentas, normativas internas y registros administrativos.

La investigación se apoyó teóricamente en la gestión de la calidad en educación, tomando como eje central el modelo de mejora continua PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) propuesto por Deming (1994), el cual también estructura los principios de la norma ISO 21001:2018 [1].





Figura 2. Ciclo PHVA, el gráfico representa el Ciclo de Deming basado en la Norma ISO 21001:2018.

Asimismo, se consultaron estudios previos sobre la aplicación de sistemas de gestión de calidad en instituciones de educación superior, particularmente en países de América Latina, como los trabajos de Arjona et al. [9], que analizan la implementación de la norma ISO en institutos técnicos peruanos, y de Bretaña et al. [6], quienes abordan el impacto de la gestión por procesos en el fortalecimiento institucional.

El estudio se llevó a cabo en el Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, ubicado en la región amazónica del Ecuador, seleccionado intencionadamente por encontrarse en un proceso de transformación institucional y por su interés en implementar herramientas de gestión basadas en estándares internacionales.

La población estuvo conformada por directivos, administrativos y docentes del ISTMBR, con conocimiento directo de la planificación, ejecución y evaluación de los procesos institucionales. La muestra fue no probabilística por criterios, seleccionando informantes clave con cargos de responsabilidad o experiencia en el sistema organizacional. En total, participaron 45 informantes (5 directivos, 10 administrativos y 30 docentes). El trabajo de campo se desarrolló entre marzo y mayo de 2024, obteniéndose una tasa de respuesta del 90%.

Para la recolección de información se diseñó una encuesta estructurada, construida a partir de los diez

capítulos de la norma ISO 21001:2018, con ítems organizados en una escala tipo Likert de cinco niveles de valoración. Esta herramienta permitió medir el grado de cumplimiento institucional respecto a los requisitos normativos.

La validación del instrumento se llevó a cabo mediante juicio de expertos y prueba piloto, de acuerdo con los siguientes criterios:

Criterio de validación	Número de expertos	Procedimiento aplicado	Evidencia de fiabilidad	Criterio de validación
Pertinencia de los ítems	3 expertos en gestión educativa y calidad	Juicio de expertos sobre alineación ítem–capítulos de la norma	Coeficiente de validez de contenido (CVC = 0,89)	Pertinencia de los ítems
Claridad y redacción	3 expertos en metodología de la investigación	Corrección de redacción, precisión en escalas y consistencia interna	Ajustes en la redacción final	Claridad y redacción
Relevancia con los objetivos	3 expertos externos al ISTMBR	Valoración en escala de 1 a 4 sobre relación ítem–objetivo	Promedio de 3,7/4	Relevancia con los objetivos

Tabla 1. Proceso de validación del instrumento de encuesta

Adicionalmente, se aplicó una técnica de análisis de contenido por categorías, que permitió interpretar cualitativamente los resultados, organizarlos en matrices comparativas y establecer relaciones entre los hallazgos empíricos y los principios normativos. Los resultados fueron sistematizados mediante software ofimático, lo que permitió visualizar fortalezas, debilidades y brechas institucionales en relación con la norma, sirviendo de base para el diseño posterior del sistema de gestión educativa.

El análisis se centró en variables clave como liderazgo, planificación, apoyo, operación, evaluación del desempeño y mejora, contrastándolas con los lineamientos de la norma y la evidencia documental interna de la institución. Este proceso metodológico riguroso aseguró que la propuesta final no solo respondiera a criterios técnicos, sino también a las necesidades reales del ISTMBR y a su contexto institucional [3].

3. RESULTADOS

Los resultados de esta investigación se presentan siguiendo el ciclo de mejora continua PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), en correspondencia con los capítulos de la Norma ISO 21001:2018, la cual establece los requisitos para un sistema de gestión de calidad en instituciones educativas.

Se trianguló información de diversas fuentes: encuestas aplicadas al personal del ISTMBR ($n=45$), revisión de documentos institucionales (Plan Estratégico de Desarrollo Institucional, POA, informes académicos y de gestión) y análisis cualitativo mediante categorías emergentes. Los porcentajes presentados corresponden a frecuencias relativas obtenidas en las encuestas, mientras que los hallazgos cualitativos se organizaron mediante codificación temática, garantizando un enfoque integral de la evaluación.

El análisis se orienta a identificar las fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora del ISTMBR, con especial énfasis en la alineación con los requisitos de la norma ISO 21001:2018.

3.1 Fase Planificar (Capítulos 4, 5 y 6: Contexto, Liderazgo y Planificación)

La fase de planificación constituye el primer paso para establecer un sistema de gestión de calidad efectivo. En esta etapa se evalúa la claridad de la misión institucional, el liderazgo y la capacidad de la institución para identificar y responder a las necesidades de su comunidad educativa.

El análisis reveló que el ISTMBR cuenta con iniciativas de planificación estratégica, pero estas están débilmente articuladas con la misión institucional y las necesidades reales de los estudiantes.

Fuente	Hallazgos principales	Evidencia cuantitativa/cualitativa
Encuestas	Claridad insuficiente en roles y objetivos.	48% percibe falta de claridad; 52% participación limitada.
	Participación limitada en decisiones.	
Documentos	Plan Estratégico menciona metas de	Ausencia de indicadores específicos.

Cualitativo	vinculación, pero sin indicadores verificables. Categorías: "alineación estratégica insuficiente" y "participación limitada".	f=12 y f=8 menciones respectivamente.
-------------	---	---------------------------------------

Tabla 2. Resultados fase Planificar

Los resultados indican que, aunque existen documentos de planificación, la falta de claridad en los roles y objetivos limita la eficacia del liderazgo y la toma de decisiones. Esto afecta directamente la capacidad del ISTMBR de implementar acciones coherentes con su misión y visión.

3.2 Fase Hacer (Capítulos 7 y 8: Apoyo y Operación)

La fase de implementación o "Hacer" evalúa la disponibilidad de recursos, la gestión operativa y la capacitación del personal para ejecutar los procesos educativos de manera efectiva.

Se constató que el ISTMBR implementa parcialmente recursos tecnológicos y procesos operativos, presentando debilidades significativas en capacitación docente y gestión del conocimiento.

Fuente	Hallazgos principales	Evidencia cuantitativa/cualitativa
Encuestas	Recursos tecnológicos y operativos limitados. Insatisfacción con capacitación.	55% califica recursos como intermedios; 62% insatisfechos con capacitación.
Documentos	POA contempla rubros de capacitación, pero sin informes de seguimiento. Categorías: "recursos limitados" y "débil articulación operativa".	Falta de evidencia documental de ejecución.
Cualitativo		f=10 y f=7 menciones respectivamente.

Tabla 3. Resultados fase Hacer

La disponibilidad limitada de recursos y la capacitación insuficiente dificultan la correcta ejecución de los procesos institucionales. Aunque existen partidas presupuestarias destinadas a la capacitación, la ausencia de seguimiento impide



evaluar el impacto de estas acciones en el desempeño institucional.

3.3 Fase Verificar (Capítulo 9: Evaluación del desempeño)

La fase de verificación mide el grado en que la institución cumple con sus objetivos y permite identificar áreas de mejora mediante el seguimiento de indicadores de desempeño.

En el ISTMBR se evidenció una cultura de evaluación incipiente, caracterizada por escasa retroalimentación y desconocimiento de indicadores institucionales.

Fuente	Hallazgos principales	Evidencia cuantitativa/cualitativa
Encuestas	Desconocimiento de indicadores institucionales.	67% manifestó no conocer indicadores.
Documentos	Informes presentan resultados agregados sin uso comparativo ni para mejora continua. Categorías: "ausencia de indicadores claros" y "falta de retroalimentación".	Falta de indicadores estructurados.
Cualitativo		f=15 y f=9 menciones respectivamente.

Tabla 4. Resultados fase Verificar

Los hallazgos reflejan la necesidad de desarrollar una cultura de evaluación sistemática. La falta de indicadores claros limita la capacidad de la institución para monitorear su desempeño y tomar decisiones basadas en evidencia, afectando la mejora continua de sus procesos.

3.4 Fase Actuar (Capítulo 10: Mejora)

La fase de acción busca cerrar el ciclo PHVA mediante la implementación de mejoras basadas en los hallazgos de la evaluación.

En el ISTMBR, los esfuerzos de mejora se realizan de manera individualizada y no sistematizada, evidenciando una débil articulación organizacional.

Fuente	Hallazgos principales	Evidencia cuantitativa/cualitativa
Encuestas	Propuestas de mejora no sistematizadas ni evaluadas.	71% reporta ausencia de sistematización.

Documentos	No existen planes de mejora continua vinculados a ISO 21001. Categorías: "mejoras aisladas" y "ausencia de sistematización".	Evidencia documental inexistente. f=11 y f=13 menciones respectivamente.
------------	--	--

Tabla 5. Resultados fase Actuar

La ausencia de sistematización limita el potencial de mejora continua y dificulta la consolidación de un sistema de gestión de calidad sostenible. La participación del personal es un factor positivo, pero requiere coordinación institucional y metodologías estandarizadas.

3.5 Cumplimiento por subcapítulos de la Norma ISO 21001:2018

Fase PHVA	Capítulo / Sub-capítulo ISO 21001	Indicador evaluado	% Cumplimiento	Nivel
Planificar	4. Contexto	Identificación de necesidades	45%	Bajo
Planificar	5. Liderazgo	Claridad de roles y objetivos	52%	Medio
Planificar	6. Planificación	Vinculación con sociedad con indicadores claros	40%	Bajo
Hacer	7. Apoyo	Disponibilidad de recursos	55%	Medio
Hacer	8. Operación	Capacitación continua	38%	Bajo
Verificar	9. Evaluación del desempeño	Conocimiento y uso de indicadores	33%	Bajo
Actuar	10. Mejora	Sistematización de propuestas	29%	Muy bajo

Tabla 6. Porcentaje de cumplimiento por subcapítulos

Los resultados muestran que las fases Verificar y Actuar presentan los niveles más bajos de cumplimiento, evidenciando la necesidad urgente de implementar un sistema de indicadores claros, metodologías de seguimiento y procesos de mejora continua articulados.



La síntesis de hallazgos evidencia que, aunque existen fortalezas iniciales (documentación, disposición del personal), el ISTMBR se encuentra en una etapa inicial de madurez organizacional. La atención prioritaria debe centrarse en las fases de evaluación y mejora, mediante la implementación de indicadores estructurados y procesos sistematizados que promuevan la cultura de calidad.

En conjunto, los resultados confirman que el ISTMBR no cuenta con un sistema de gestión de calidad alineado a la norma ISO 21001:2018. Las principales brechas identificadas son:

- Falta de alineación entre planificación estratégica y necesidades de la comunidad educativa.
- Recursos limitados y capacitación insuficiente del personal.
- Ausencia de indicadores claros y de una cultura institucional de evaluación.
- Carencia de procesos articulados de mejora continua.

No obstante, la existencia de documentos de planificación básicos, la disposición del personal y la atención a los estándares del CACES constituyen oportunidades para desarrollar un sistema de calidad sólido, pertinente y sostenible.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el análisis del nivel de cumplimiento de los capítulos de la norma ISO 21001:2018 en el Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós (ISTMBR) evidencian avances en aspectos como el liderazgo, la planificación estratégica y la existencia de instrumentos básicos de gestión institucional. Sin embargo, los hallazgos también muestran debilidades significativas en las fases “Verificar” y “Actuar”, lo que refleja un bajo nivel de madurez organizacional en la gestión de calidad educativa.

En la fase de “Verificar”, se identificó una cultura de evaluación incipiente, con ausencia de indicadores claros y falta de retroalimentación efectiva hacia la

comunidad educativa. Esta situación limita la posibilidad de medir el impacto real de las acciones institucionales y restringe el aprendizaje organizacional. Dichas carencias están asociadas, principalmente, a la insuficiente capacitación en gestión de indicadores, a la falta de herramientas tecnológicas de seguimiento y a la escasa integración de los informes en los procesos de toma de decisiones. Como señalan Castro [10], la ausencia de mecanismos de evaluación sistemática obstaculiza la consolidación de la mejora continua, pues la gestión educativa requiere datos verificables para orientar los ajustes necesarios.

En cuanto a la fase de “Actuar”, los resultados revelan que las mejoras propuestas suelen ser aisladas e individualizadas, sin procesos de sistematización ni evaluación formal. Esta situación puede explicarse por dos limitaciones estructurales: i) la falta de un comité de calidad que articule los procesos de innovación, y ii) la inexistencia de planes de mejora vinculados directamente a los resultados de la autoevaluación y a la norma ISO 21001. Estudios como el de Arango y Quintero [11] advierten que este déficit es común en instituciones latinoamericanas, donde la gestión del conocimiento y la mejora institucional dependen más de iniciativas personales que de un marco organizacional consolidado.

La comparación con la literatura regional también aporta perspectivas relevantes. Por ejemplo, Bécerra et al. [12] destacan que la investigación y la innovación son pilares de la calidad en la educación superior, pero en el ISTMBR aún se encuentran en una etapa incipiente y sin respaldo de indicadores verificables. De igual modo, Glava et al. [13] enfatizan la importancia de que los sistemas de calidad sean centrados en el estudiante, un aspecto en el que el instituto aún muestra rezagos, dado que las voces de los estudiantes no tienen un peso decisivo en la planificación institucional.

Desde un marco internacional, la UNESCO [14] sostiene que la educación de calidad debe ser inclusiva, equitativa y centrada en el aprendizaje. En el ISTMBR, si bien existe un esfuerzo por cumplir con los estándares del CACES y la normativa



nacional, los procesos todavía están más enfocados en el cumplimiento formal que en garantizar equidad y pertinencia social [15]. Esto coincide con Acevedo et al. [16], quienes advierten que la calidad educativa no debe entenderse solo como un proceso técnico, sino también como un compromiso social y humano con el entorno.

En conjunto, los hallazgos permiten afirmar que el ISTMBR se encuentra en una fase de desarrollo inicial hacia la consolidación de un sistema de gestión de calidad alineado con la norma ISO 21001:2018. Aunque existen fortalezas en liderazgo y planificación, las debilidades en verificación y mejora reflejan limitaciones institucionales en la cultura de evaluación, la gestión del conocimiento y la articulación de procesos. Comparados con estudios regionales e internacionales, estos resultados sugieren que la institución necesita pasar de un enfoque descriptivo y fragmentado hacia un modelo integral, donde la evaluación sistemática, la participación de los actores y la innovación educativa sean los ejes de una gestión sostenible y pertinente.

5. CONCLUSIÓN

El análisis cualitativo realizado en el Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós permitió identificar el nivel de cumplimiento institucional respecto a los requisitos establecidos por la norma ISO 21001:2018, evidenciando avances y también brechas relevantes en los distintos capítulos normativos. Esta evaluación se estructuró en función del ciclo de mejora continua PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), lo cual facilitó una visión integral del estado actual de la gestión institucional.

En la fase “Planificar”, que comprende los capítulos 4 (Contexto de la organización), 5 (Liderazgo) y 6 (Planificación), se observó un cumplimiento promedio del 58%, lo que indica un nivel aceptable de alineación con los lineamientos normativos, aunque aún se requiere fortalecer la definición de políticas, roles, responsabilidades y análisis de riesgos. En la fase “Hacer”, correspondiente a los capítulos 7 (Apoyo) y 8 (Operación), el promedio de cumplimiento fue del 55%, con debilidades evidentes

en la gestión de recursos, competencia del personal y control de procesos educativos clave.

Las fases “Verificar” (capítulo 9) y “Actuar” (capítulo 10) presentaron los niveles más bajos de cumplimiento, con un 24% y 33% respectivamente. Esto revela una débil implementación de mecanismos de seguimiento, auditoría interna y acciones de mejora continua, aspectos fundamentales para garantizar la calidad educativa sostenida en el tiempo. La falta de un sistema de evaluación del desempeño institucional representa un riesgo para la toma de decisiones basadas en evidencias.

Los resultados de la encuesta aplicada al personal directivo, docente y administrativo confirmaron en gran medida los hallazgos documentales, mostrando una percepción crítica, pero coincidente sobre las debilidades en planificación operativa, evaluación y mejora. Esta triangulación de datos valida la necesidad de emprender una intervención institucional sistémica.

En conclusión, se constata que el ISTMBR posee una base estructural favorable para implementar un sistema de gestión de calidad conforme a la norma ISO 21001:2018, pero debe asumir compromisos firmes en el fortalecimiento de la cultura de evaluación, liderazgo estratégico, gestión del conocimiento y participación activa de todos los actores educativos. Como trabajo futuro, se recomienda diseñar e implementar un sistema de auditoría interna y establecer un plan de capacitación continua para el personal institucional, orientado a consolidar las competencias requeridas por la norma. Además, la acreditación con base en este estándar internacional podría representar un camino viable para mejorar la calidad del servicio educativo y su reconocimiento en el contexto nacional.

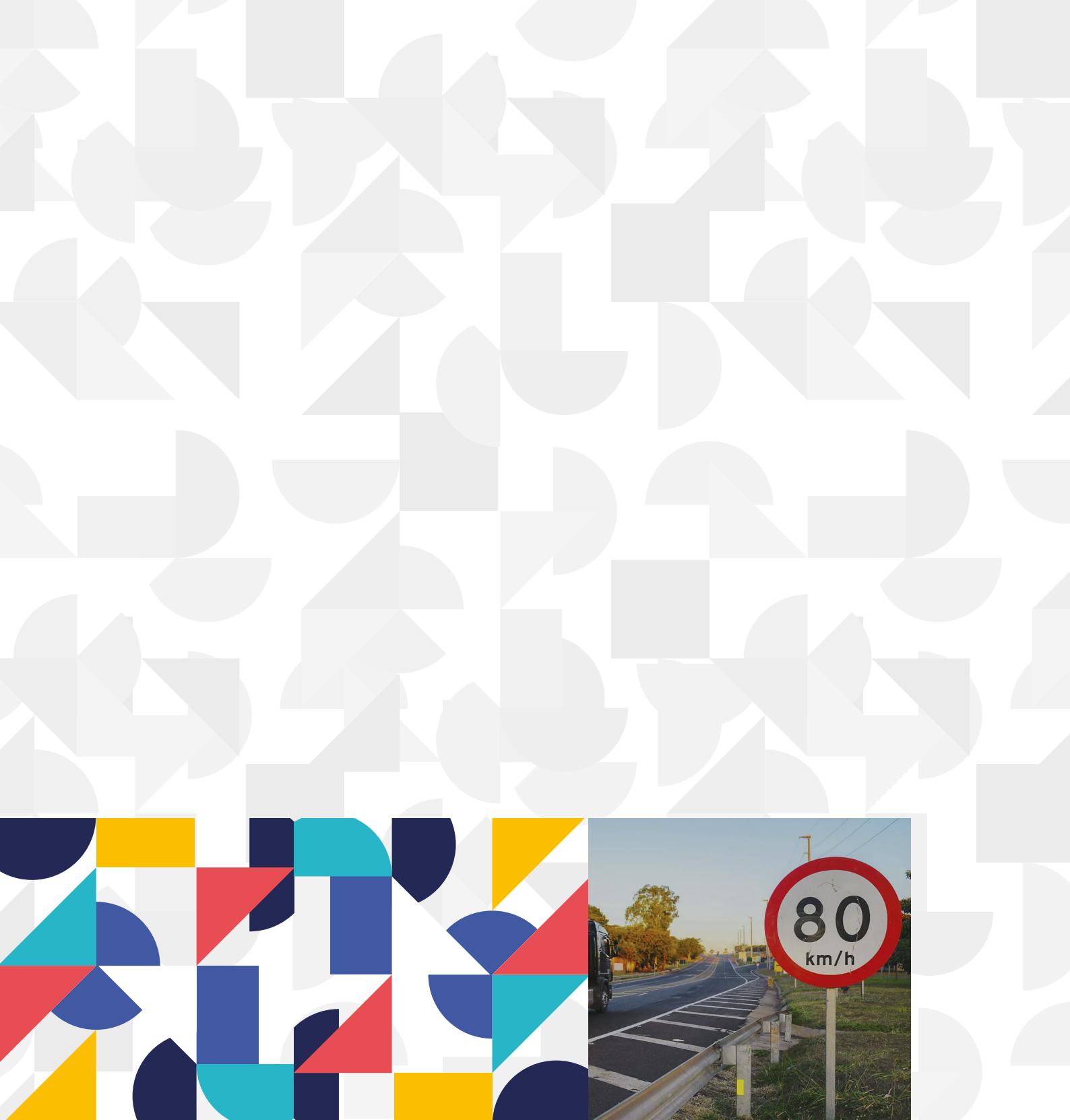
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ISO, Organizaciones educativas-Sistemas de gestión para organizaciones educativas-Requisitos con orientación para su uso, 2018. <https://www.conalepmex.edu.mx/pdf/reglamentos/NormalISO21001-2018.pdf>



- [2] M. López, Gestión de la calidad educativa, propuesta de diseño para un sistema de gestión que integra las normas internacionales ISO 21001:2018 e ISO 9001:2015. Caso: Unidad Educativa Montebello, Tesis de Maestría, Univ. Andina Simón Bolívar, 2020. <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/7766>
- [3] J. C. Rodríguez, Modelo de Gestión del Conocimiento articulado a la norma ISO 21001:2018 para Instituciones Educativas Oficiales del Núcleo 926 de Medellín, Tesis de Maestría, Inst. Tecnológico Metropolitano, 2024. https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.50.0.12622/6624/JuanCarlos_Rodr%C3%adiguez%20Aroyo_2024.pdf
- [4] M. A. Poquioma Woo, K. D. J. D. C. Saldaña Poquioma, H. G. Barrenechea Moreno y P. Prado Lozano, Gestión de la calidad en la educación superior: una revisión sistemática, IGOBERNANZA, vol. 4, n.º 16, pp. 334–356, 2021. doi: 10.47865/igob.vol4.2021.160
- [5] S. Botero, F. Atencio, J. Tafur y H. G. H. Palma, Proceso vital en la gestión educativa: Herramienta de alta calidad hacia la sostenibilidad ambiental, Revista de Ciencias Sociales, vol. 27, n.º 2, pp. 309–321, 2021. doi: 10.31876/rcs.v27i2.35916
- [6] R. M. G. Bretaña, F. J. R. Azcuy y M. B. V. Bonilla, “Implementation of ISO 21001:2018 in postgraduate academic programs,” Scientia et Technica, vol. 29, n.º 01, art. 01, 2024. doi: 10.22517/23447214.24735
- [7] CACES, Modelo 2024 aprobado por el Pleno, Ecuador, 2022. [https://www.caces.gob.ec/wp-content/uploads/Documents/2022/DOCUMENTOS%20WEB%20INSTITUTOS/Modelo%202024%20aprobado%20por%20el%20pleno%20\(1\).pdf](https://www.caces.gob.ec/wp-content/uploads/Documents/2022/DOCUMENTOS%20WEB%20INSTITUTOS/Modelo%202024%20aprobado%20por%20el%20pleno%20(1).pdf)
- [8] F. G. Acevedo C., F. Gago B., M. A. da Silva M. y A. L. Bastos O., “Estado del arte sobre concepciones de la calidad de la educación superior,” Sophía, n.º 32, pp. 119–150, abr. 2022. doi: 10.17163/soph.n32.2022.03
- [9] M. D. P. Arjona, A. López Lira-Arjona y E. A. Maldonado-Mesta, “Los sistemas de gestión de la calidad y la calidad educativa en instituciones públicas de Educación Superior de México,” Retos, vol. 12, n.º 24, pp. 268–283, 2022. doi: 10.17163/ret.n24.2022.05
- [10] A. B. Castro Michuy, “Evaluación Institucional para la Mejora Continua: Un enfoque al sistema educativo ecuatoriano”, Rev. Cienc. Multidiscip. SAGA, vol. 2, no. 1, pp. 1–18, Jan. 2025, doi: 10.63415/saga.v2i1.7.
- [11] C. Arango y C. Quintero, “Sistema de Gestión de Calidad para Instituciones Educativas. Caso IE San Antonio, Jardín, Antioquia,” Escuela Superior de Administración Pública, vol. 23, 2024.
- [12] F. Á. Becerra, A. M. Andrade Orbe y L. I. Díaz Gispert, “Sistema de gestión de la calidad para el proceso de investigación: Universidad de Otavalo, Ecuador,” Actualidades Investigativas en Educación, vol. 19, n.º 1, p. 32, 2019. doi: 10.15517/aie.v19i1.35235
- [13] E. Glava, C. Ghițulică, A. Opre y L. Țucă, “Student-Centred Learning in Higher Education: Relevant Quality Assurance Indicators,” en European Higher Education Area 2030: Bridging Realities for Tomorrow’s Higher Education, A. Curaj, C. M. Hâj, y R. Pricopie, Eds. Cham: Springer, 2025, pp. 733–758. doi: 10.1007/978-3-031-75140-0_37
- [14] UNESCO, Seguimiento del ODS 4: Educación de calidad. Informe de seguimiento de la educación en el mundo, 2024. <https://www.unesco.org/gem-report/en/quality>
- [15] CACES, Modelo de evaluación externa 2024 con fines de acreditación para los institutos superiores técnicos y tecnológicos, 2021. [https://www.caces.gob.ec/wp-content/uploads/Documents/2022/DOCUMENTOS%20WEB%20INSTITUTOS/Modelo%202024%20aprobado%20por%20el%20pleno%20\(1\).pdf](https://www.caces.gob.ec/wp-content/uploads/Documents/2022/DOCUMENTOS%20WEB%20INSTITUTOS/Modelo%202024%20aprobado%20por%20el%20pleno%20(1).pdf)
- [16] F. G. Acevedo, F. Gago Benito, M. A. Da Silva Muñoz y A. L. Bastos Olivera, “Estado del arte sobre concepciones de la calidad de la educación superior,” Sophía, n.º 32, pp. 119–150, 2022. doi: 10.17163/soph.n32.2022.03





**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN PARA LA
DETECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE LIMITACIÓN DE
VELOCIDAD**

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN APPLICATION FOR THE
DETECTION AND RECOGNITION OF SPEED LIMIT SIGNS**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN PARA LA DETECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE LIMITACIÓN DE VELOCIDAD

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN APPLICATION FOR THE DETECTION AND RECOGNITION OF SPEED LIMIT SIGNS

Roberto Alejandro Larrea Luzuriaga¹,
Cristina Alejandra Orozco Cazco²,

¹ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, roberto.larrea@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, cristina.orozco@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

Se realizó un análisis a la aplicación diseñada para brindar una solución a nivel de asistencia en la conducción, respecto a la detección oportuna de señales de tránsito, específicamente a las señales de velocidad, que permitan una respuesta oportuna por parte del conductor. El objetivo del artículo es presentar el diseño, la implementación y la validación de una aplicación funcional capaz de detectar y reconocer señales de limitación de velocidad a partir archivos de imagen, de video o por medio de un flujo de video en tiempo real. La metodología utilizada consiste en 4 procesos que establecen la adquisición de la imagen, procesamiento de la imagen y video, detección y control de la señal y velocidad, y visualización de resultados. El desarrollo de la aplicación se realizó en Eclipse en código C++, utilizando librerías para el tratamiento de imágenes y video de CImg y OpenCV. Con base a los resultados obtenidos de la aplicación implementada, se ha logrado óptimas prestaciones, es decir, se tiene una certeza de casi el 90% y un error alrededor del 1%. Además, se ha analizado dificultades y errores de detección, así como también se estableció estadísticas de tiempo de procesamiento en relación a las características del hardware utilizado.

Palabras clave: Tratamiento de imagen y video, Señal velocidad, Visión Artificial, CImg, OpenCV.

ABSTRACT

An analysis was conducted on the application designed to provide a driving assistance solution for the timely detection of traffic signs, specifically speed signs, enabling a timely response by the driver. The objective of this article is to present the design, implementation, and validation of a functional application capable of detecting and recognizing speed limit signs from image or video files or a real-time video stream. The methodology used consists of four processes: image acquisition, image and video processing, sign and speed detection and control, and results visualization. The application was developed in Eclipse using C++ code, using Cimg and OpenCV image and video processing libraries. Based on the results obtained from the implemented application, optimal performance was achieved, with an accuracy of almost 90% and an error rate of around 1%. In addition, detection difficulties and errors were analyzed, and processing time statistics were established in relation to the characteristics of the hardware used.

Keywords: Image and video processing, Velocity signal, Machine Vision, Cimg, OpenCV

Recibido: Agosto 2025
Received: August 2025

Aceptado: Diciembre 2025
Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda por Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (ADAS, por sus siglas en inglés) ha impulsado el desarrollo de tecnologías capaces de reconocer señales de tránsito en tiempo real, con el propósito de mejorar la seguridad vehicular y reducir accidentes causados por exceso de velocidad. En este contexto, esta investigación aborda el diseño e implementación de una aplicación usando procesamiento de imágenes con CImg, visión por computadora con OpenCV y programación en C++ para detectar y reconocer señales de limitación de velocidad, presentándolas anticipadamente al conductor como un asistente visual.

La seguridad vial representa uno de los mayores desafíos en las sociedades modernas, donde el incremento del parque automotor y la complejidad de las redes de carreteras exigen el desarrollo de tecnologías innovadoras para la prevención de accidentes. Una de las principales causas de siniestralidad vial es el exceso de velocidad, a menudo producto de la distracción o del desconocimiento de los límites específicos en un tramo determinado [1]. En este contexto, los Sistemas ADAS han emergido como una solución tecnológica fundamental para mitigar los riesgos asociados a la conducción [2]. Estos sistemas, que integran diversas tecnologías como sensores, cámaras y algoritmos de procesamiento, buscan mejorar la interacción entre el conductor, el vehículo y su entorno.

La presente investigación se ha realizado con el propósito de explorar y contribuir al desarrollo de aplicaciones en tiempo real que permitan asistir activamente a la conducción vehicular. Específicamente, se enfoca en el reconocimiento automático de señales de tránsito, con particular interés en las de limitación de velocidad, mediante la aplicación de técnicas de procesamiento digital de imágenes y video. Para ello, se utiliza la biblioteca de procesamiento de imágenes CImg (Digital Image Processing), y de la biblioteca de visión por computador OpenCV (Open Source Computer Vision Library), ambas de código abierto, las cuales ofrecen un robusto conjunto de herramientas para el análisis de imágenes en tiempo real, siendo ampliamente adoptadas tanto en la industria como en la academia [3], [4].

El problema central que se pretende resolver es la reducción de la incidencia de accidentes de tránsito causados por el exceso de velocidad en calles y carreteras urbanas. Se busca abordar esta problemática mediante el diseño y la implementación de una herramienta de asistencia visual que permita el procesamiento en tiempo real de imágenes y vídeo capturados por una cámara frontal, identificando señales de límite de velocidad y notificando al conductor oportunamente. Esto se fundamenta en la premisa de que una intervención oportuna puede fomentar comportamientos de conducción más seguros y reducir la incidencia de accidentes por velocidad excesiva. A diferencia de los sistemas basados en GPS, que pueden tener información desactualizada o imprecisa, un sistema basado en visión por computador ofrece información contextual y dinámica, directamente extraída del entorno vial [5].

El estado del arte en el reconocimiento de señales de tránsito (TSR, por sus siglas en inglés) ha experimentado avances significativos en la última década. Las investigaciones iniciales se centraron en métodos basados en color y forma para la segmentación y detección de señales [6]. Trabajos como el de Stallkamp et al. [7] sentaron las bases al crear benchmarks para la comparación de algoritmos de clasificación. Posteriormente, el enfoque ha migrado hacia el uso de técnicas de aprendizaje automático y, más recientemente, de aprendizaje profundo (deep learning). Arquitecturas como las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) han demostrado una precisión sobresaliente en la clasificación de señales de tránsito, incluso en condiciones de iluminación variable, oclusión parcial o deformación de la señal [8], [9]. No obstante, la implementación de estos modelos en sistemas embebidos o de bajo costo para aplicaciones en tiempo real sigue siendo un desafío activo debido a su alta demanda computacional [10]. Por ello, la optimización de algoritmos clásicos de visión artificial, como los que ofrece OpenCV para la detección de características (ej. Haar Cascades, HOG) y el reconocimiento de formas, sigue siendo un área de investigación relevante y con aplicabilidad práctica directa en sistemas de asistencia al conductor [4], [5].

El objetivo de este artículo es, por lo tanto, presentar el diseño, la implementación y la validación de una aplicación funcional capaz de detectar y reconocer señales de limitación de velocidad a partir de un flujo de video en tiempo real. El sistema propuesto se



basa en una cascada de algoritmos de procesamiento de imágenes implementados en C++ con el apoyo de las bibliotecas de Clmg y OpenCV, buscando un equilibrio entre la precisión del reconocimiento y la eficiencia computacional necesaria para su operación en un entorno de conducción real.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

La metodología utilizada en el desarrollo de la aplicación se basó en cuatro procesos (Fig.1), estableciéndose varias etapas en los procesos 2 al 4, para su diseño y funcionamiento.

1. Adquisición de la imagen
2. Procesamiento y tratamiento de la imagen.
3. Detección y control de señal de velocidad.
4. Visualización de resultados.

La aplicación fue desarrollada en la plataforma Eclipse en código C++, instalada sobre una máquina virtual en Virtual Box con sistema operativo Linux Ubuntu 12.04.



Fig.1: Diagrama de bloques de la aplicación desarrollada

1.- Adquisición de la imagen

El proceso de adquisición de imágenes estableció la utilización de una cámara de video, que permitió en tiempo real la captura de imágenes, procesadas por la aplicación para la detección y visualización de señales de velocidad. Sin embargo, en este estudio se utilizó imágenes de entrenamiento y videos que permitieron ajustar parámetros los demás procesos y establecer cierta información útil en relación a su funcionamiento.

2.- Procesamiento y tratamiento de la imagen

Etapa 1.- Seleccionar componente Roja de Imagen

Para la detección se eligió la componente roja de la imagen RGB, de modo que la circunferencia que encierra la señal de velocidad pueda ser eliminada en las siguientes etapas.

Etapa 2.- Realizar un Cierre de la imagen

Para la ejecución del cierre que contempló realizar una dilatación y luego un cierre, se utilizó un elemento estructurante horizontal de tamaño inicial de largo 26 píxeles y ancho 1 pixel, de modo que se mantenga la mayor cantidad de elementos menores al tamaño del elemento estructurante.

Etapa 3.- Realizar una diferencia del cierre y la imagen en gris

Con la diferencia del cierre y la imagen en gris se eliminaron la mayor cantidad de elementos, de tamaño mayor al elemento estructurante.

Etapa 4.- Aplicar un umbral para la binarización de la imagen

Para la obtención del umbral se sacó un promedio de pixeles de la imagen y se le sumó una constante de valor 25 para efectos de corrección. Posterior con dicho umbral se realizó la binarización de la imagen obteniendo una imagen en blanco y negro.

Etapa 5.- Aplicar una segmentación

Sobre la imagen binaria se realizó la segmentación, de este modo, se detectó y etiquetó a cada uno de los elementos que constituyen un objeto en la imagen.

Etapa 6.- Aplicar un filtrado

Para la eliminación de la mayor cantidad objetos que no constituyen un valor numérico, se ha obtenido el BoundingBox, así como también la orientación y elipticidad de cada objeto obtenido en la etapa anterior. Dichos elementos obtenidos de cada objeto fueron necesarios para la implementación del filtro. De esta manera, los objetos que pasaron el filtrado son solo los objetos que posean las características de un número de señal de velocidad. Para el filtro se utilizaron criterios de relación aspecto, tamaño, elipticidad, razón de altura por anchura de los posibles números, espacio de carácter y carácter, y ángulo del objeto con respecto a su ubicación sobre la imagen.



3.- Detección y control de la señal de velocidad

Etapa 7.- Seleccionar los objetos que constituyen una señal de velocidad

Después del filtrado se eliminó un 95% de objetos que no constituyen un posible número. En esta fase se seleccionó los elementos que constituyen una cantidad de 2 o 3 cifras, con el criterio de proximidad de las unidades (posibles números) y búsqueda de izquierda a derecha. Por medio de una función de detección de números de señales de velocidad se realizó la detección de cada unidad, construyendo la cantidad de velocidad detectada. Aquí también, se realizó un control de los posibles valores que se debería obtener (que existen a nivel de señales de tránsito), ya que en caso de detectar un valor que no esté acorde a una cantidad valida de señal de velocidad, se descartó.

Etapa 8.- Seleccionar la cantidad de la señal de velocidad mayor

Después de la fase de detección se obtuvo un vector con varias cantidades de velocidad, se aplicó un algoritmo para la detección del mayor valor.

Etapa 9.- Localizar la señal de velocidad detectada en la imagen

Para la señalización de la imagen de velocidad, o extracción, luego de obtener la cantidad de mayor velocidad, y utilizando los componentes (etiquetas, BoundingBox, Orientación, Centro de gravedad) de cada uno de los números que constituyen la cifra en decenas o centenas, se calculó los vértices de un rectángulo que encierre la cantidad de la señal de velocidad.

4.- Visualización de resultados

Etapa 10.- Detección de velocidad para una imagen, un conjunto de imágenes, cámara de video y video.

Para cada una de las opciones de detección se utilizó las funciones creadas, de modo que se visualicen los resultados.

Para las opciones de video y cámara, se utilizó un efecto de degradación d la última imagen detectada hasta que se detecte una nueva.

Para la opción de múltiples imágenes se obtuvo un fichero con los valores de velocidad detectados de cada imagen procesada.

Para cada imagen se procesará hasta con tres valores posibles de elemento estructurado de modo que la señal de velocidad pueda ser detectada a lo lejos y muy cerca.

Esquematización de la aplicación, funciones implementadas y paso de variables de entrada y salida

En la Tabla 1 se describen las funciones implementadas, su operación dentro de las etapas antes mencionadas, así como también los parámetros de entrada y salida establecidos.

Tabla 1. Descripción de funciones implementadas y su operación

Función	<code>void ocr_number(cimg_library::CImg<float> & vectores)</code>
Operaciones que realiza	Carga en memoria el entrenador para la detección de los números
Parámetros de Entrada	-
Parámetros de Salida	Vectores
Función	<code>int number(const cimg_library::CImg<int> & seg, cimg_library::CImg<float> & vectores, int label)</code>
Operaciones que realiza	Detecta el posible valor (número) del posible objeto señal de velocidad.
Parámetros de Entrada	Imagen segmentada seg, vectores.
Parámetros de Salida	Valor numérico entero.
Función	<code>void tpimgvelocidad(const cimg_library::CImg<unsigned char> & input, int ee, cimg_library::CImg<int> &output)</code>
Operaciones que realiza	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar componente roja de la imagen 2. Realizar un cierre de la imagen 3. Realizar un diferencial del cierre y la imagen en gris 4. Aplicar un umbral para la binarización de la imagen 5. Segmentación 6. Filtrado
Parámetros de Entrada	Imagen a detectar input, Tamaño elemento estructurante ee.



Parámetros de Salida	Imagen filtrada y segmentada output
Función	<pre>void detectvelocidad(const cimg_library::CImg<int> & segm, cimg_library::CImg<float> & vectores, int &vmax, int &ax, int &ay, int &alx, int &aly, int &bx, int &by, int &b1x, int &b1y)</pre>
Operaciones que realiza	<p>7. Selección de los objetos que constituyen una señal de velocidad, Detección y Control.</p> <p>8. Selección de Cantidad de Señal de velocidad mayor</p> <p>9. localización de la señal de velocidad detectada en la imagen</p>
Parámetros de Entrada	<p>Imagen filtrada segmentada segm, Vectores.</p> <p>Valor de velocidad máximo detectado vmax,</p>
Parámetros de Salida	Coordenadas de los vértices del rectángulo que localiza la señal de velocidad detectada en la imagen de entrada a(ax,ay), b(bx,by), a1(a1x,a1y), b1(b1x,b1y).
Aplicación	speed
Operaciones que realiza	<p>10. Detección de velocidad para una imagen, un conjunto de imágenes, cámara de video y video.</p> <p>Opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Imagen - Archivo .txt con path de conjunto de imágenes - 0 (Cámara de video) - Video <p>-Imagen que resalta la señal de velocidad detectada con recuadro de la misma, valor numérico en ventana.</p> <p>-Archivo .txt con valor numérico de la señal de velocidad detectada de cada una de las imágenes del archivo de entrada del conjunto de imágenes.</p> <p>-Para cámara y video, Imagen que resalta la señal de velocidad detectada con recuadro de la misma, valor numérico en ventana. El recuadro de la señal de velocidad detectada presenta u efecto de difuminamiento de la última señal detectada.</p>

3. RESULTADOS

Posterior al desarrollo de la aplicación y evaluación de su funcionamiento, los resultados paso a paso del proceso establecido para la detección y reconocimiento de señales de velocidad, se describe cada resultado obtenido en cada proceso desarrollado y ejecutado en etapas, con relación al procesamiento de una imagen desde su adquisición, posterior procesamiento, detección y obtención de la velocidad máxima en pantalla.

1. Adquisición de la imagen

En la Fig. 2 se observa una imagen de archivo fotográfico utilizada en la implementación de la aplicación, que constituye una carretera con señalización de límite de velocidad.



Fig.2: Archivo fotográfico para la detección de señales de velocidad en carretera.

2. Procesamiento y tratamiento de la imagen



En la Fig. 3 se observa el resultado de aplicar la selección de la componente Roja de la Imagen.



Fig.3. Selección de la componente roja de la imagen.

En la Fig. 4 se observa el resultado de realizar el cierre de la imagen con un elemento estructurante de tamaño 26X1 pixeles.



Fig.4. Cierre de la imagen

En la Fig. 5 se observa el resultado de realizar una diferencia del cierre y la imagen en gris.

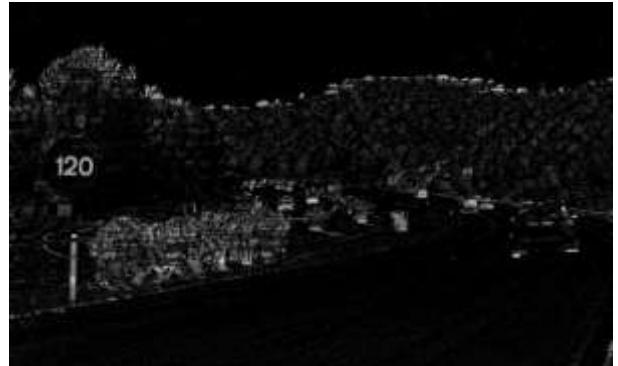


Fig.5. Diferencia del cierre y la imagen en gris

En la Fig. 6 se observa el resultado de aplicar un Umbral = 25, para la binarización de la imagen.



Fig.6. Binarización de la imagen aplicado un umbral

En la Fig. 7 se observa la realización de segmentación de la imagen estableciéndose 2112 objetos.



Fig.7. Segmentación de la imagen

En la Fig. 8 se observa la realización de filtrado de la imagen reduciéndose el número de objetos a 8.

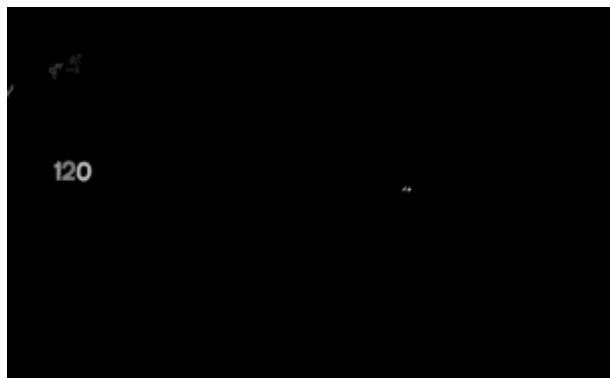


Fig.8. Filtrado de la imagen

3. Detección y control de la señal de velocidad

En la Fig. 9 se observa el resultado del proceso de detección y control de la señal de velocidad, en este proceso con el vector de objetos resultantes, de cada uno se aplica una selección sobre los objetos que cumplen ciertas condiciones para considerarse números, cantidades válidas en relación a la detección y validación de izquierda a derecha, que constituyen una señal de velocidad. De todas las cantidades de velocidad, detectadas, validadas y almacenadas en un vector, se establece como resultado la de mayor valor. Además, posterior a su detección, se procede a ubicar la señal de velocidad en la imagen con una figura rectangular de color rojo.



Fig.9. Selección, validación, detección de objetos como señal de mayor velocidad y ubicación de la misma en la imagen.

4. Visualización de resultados

En la Fig. 10 se observa el resultado de la aplicación, detección de velocidad para una imagen, un conjunto de imágenes, cámara de video y video, mostrándose en recuadro la mayor velocidad detectada, dicho recuadro se ha recortado y se muestra a la derecha de la imagen, además, de incorporar una leyenda con la velocidad máxima de 120Km/h.



Velocidad Máxima= 120Km/h
Fig.10. Detección de velocidad para una imagen, un conjunto de imágenes, cámara de video y video.

Evaluación de Prestaciones

Como parte de los resultados se estableció una evaluación de las prestaciones del funcionamiento de la aplicación, teniendo en cuenta que la misma se ejecutó sobre una máquina virtual en Virtual Box con sistema operativo Linux Ubuntu 12.04.

Las especificaciones de la máquina anfitrión:

- Sistema Operativo: Windows 8.1 de 64 bits
- Procesador: Intel Core i7 de 1.8Ghz con turbo boost hasta 3Ghz
- Memoria RAM: 16GB

Las especificaciones de la máquina huésped:

- Sistema Operativo: Linux Ubuntu 12.04
- Procesador: 3 Núcleos
- Memoria RAM: 3GB
-

En la misma aplicación se desarrolló un algoritmo, que permitió medir el tiempo de procesamiento de cada imagen, estableciéndose las siguientes estadísticas en relación a la resolución de la imagen, como se observa en la Tabla 2. Como era de esperarse el menor tiempo de procesamiento para la detección de la señal de velocidad es para la imagen con menor resolución de 800x600 pixeles, siendo de 0.1 segundos.

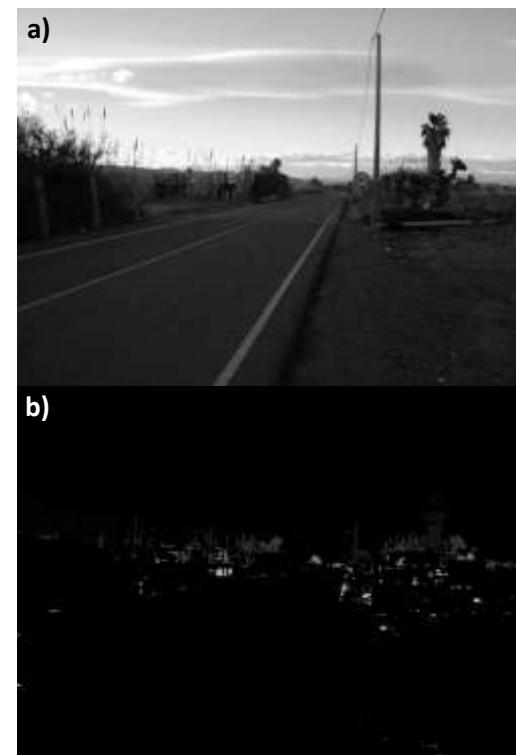
Tabla 2. Tiempo de procesamiento y detección en relación a la resolución de la imagen

Imagen	Tiempo de procesamiento y detección
Tipo: jpeg (The JPEG image format)	
Resolución: 800X600	0.1 segundos
Tamaño: 207.6KB	
Tipo: jpeg (The JPEG image format)	
Resolución: 1024X642	0.39 segundos
Tamaño: 88.4KB	
Tipo: jpeg (The JPEG image format)	
Resolución: 3008X2000	21.26 segundos
Tamaño: 3.8MB	

Además, con un banco de imágenes se estableció una estadística a nivel de precisión en la detección de la señal de velocidad, tal como se observa en la Tabla 3. Para este cálculo se utilizó 58 imágenes de entrenamiento de velocidad, dentro de las cuales se añadió imágenes de velocidad hasta 3 dígitos. Los resultados de esta estadística muestran un porcentaje de aciertos del 89.65%, en relación a

errores con un porcentaje de 1.72% y con un porcentaje de 8.62% de no detección.

Tabla 3. Precisión en la detección de la señal de velocidad



Número de Imágenes	Detecta Bien	No Detecta	Detecta Mal
58	52	5	1
100%	89.65%	8.62%	1.72%

4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

En esta sección se establece un análisis en relación a las imágenes que no fueron detectadas por la aplicación, como dificultades, y también a las detecciones erróneas.

Dificultades

En la Fig. 11 se analiza y se encuentra que la dificultad, es la perspectiva de la señal, lo que hace que la elipticidad sea diferente a los rangos aplicados en el filtro.



Fig.11. Imagen de señal de velocidad en perspectiva

En la Fig. 12 la señal de velocidad está muy alejada, al segmentar la parte del disco de la señal de velocidad está unida al dígito 6, lo que hace que en el filtro se elimine y no se detecte nada.

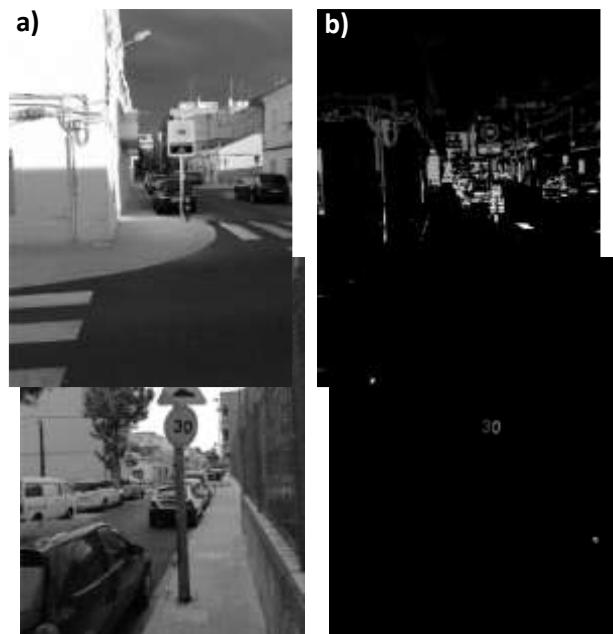


Fig.14. a) Imagen de señal de velocidad muy alejada. b) Segmentación de la imagen

Fig.12. a) Imagen de señal de velocidad muy alejada. b) Segmentación de la imagen

En la Fig. 13 la señal presenta una leve inclinación hacia la derecha lo que hace que en fase de detección y control se elimine por elipticidad. La segmentación es correcta.

Fig.13. a) Imagen de señal de velocidad inclinada hacia la derecha. b) Segmentación de la imagen

En la Fig. 14 la señal se encuentra bastante lejos de manera que la separación de los dígitos de la señal es bastante pequeña, lo que produce que, al momento de segmentar los dos dígitos constituyen un mismo objeto.

Detecciones erróneas

En la Fig. 15 el error de detección en esta imagen se debe a que se pasa dos letras de un cartel, al aumentar el valor del elemento estructurante, de modo que el detector encuentra una cifra mayor a la de la señal de velocidad existente también detectada, pasa del filtro la letra O y U detectándose un 90 mayor a los 40 de la señal de velocidad (Fig. 16). Cambiando los valores del filtro (eliminar objetos con valores mínimos) se logra liminar el error, pero con la consecuencia de que en otras imágenes dejan de ser detectadas, por lo que se mantiene los valores del filtro.



Fig.15. Imagen con error de detección

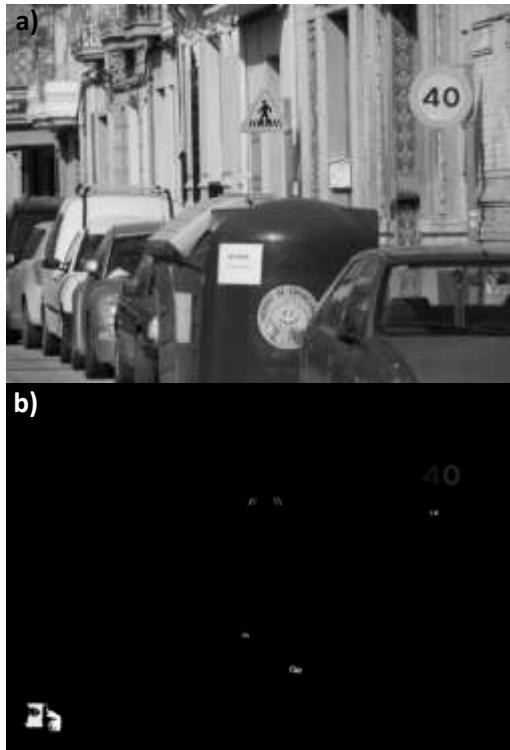


Fig.16. a) Imagen con carteles y señal de velocidad.
b) Segmentación de la imagen.

5. CONCLUSIÓN

El tratamiento y procesamiento de imágenes y video por medio de la utilización de librerías de código abierto disponibles tanto en Clmg como en OpenCV, permiten la implementación de aplicaciones de detección que constituyen un elemento muy importante a la hora de desarrollar sistemas que evalúan en tiempo real imágenes y extraer y visualizar información relevante o de interés.

El campo de acción de un sistema de detección de señales de velocidad, en el área automovilista incrementa las opciones de dar inteligencia de reacción o información adicional e importante al conductor, o en un sistema más autónomo de control de velocidad.

Las herramientas utilizadas en el diseño e implementación de la aplicación, da múltiples posibilidades para resolver problemas, innovar y crear nuevas aplicaciones que puedan ser de utilidad.

Con respecto al sistema implementado, se obtuvo prestaciones óptimas respecto al 58 imágenes analizadas, es decir, detección idónea de las imágenes es de alrededor del 90%, un 8% no las identifica y un error alrededor del 2% que corresponde a una mala detección de las imágenes. Finalmente se puede concluir que se ha diseñado un prototipo de aplicación que puede ser mejorado y optimizado. Los próximos pasos a seguir, consiste en mejorar el prototipo y experimentar otras opciones que permitan aumentar su eficiencia y uso útil en un ambiente real.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] World Health Organization, *Global status report on road safety 2018*. Geneva, Switzerland: WHO, 2018.
- [2] A. Ziebinski, R. Cupek, D. Grzejszczak, and M. Podpora, "A Survey of Advanced Driver-Assistance Systems (ADAS)," *2016 International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES)*, Krakow, Poland, 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICSES.2016.7594341.
- [3] G. Bradski and A. Kaehler, *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2008.
- [4] J. A. H. R. Putra, D. A. D. Dewantara, and T. H. N. T. Putri, "Real-time traffic sign recognition system using OpenCV," *2017 International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (SIET)*, Malang, Indonesia, 2017, pp. 199-203. doi: 10.1109/SIET.2017.8304126.
- [5] A. Mogelmose, M. M. Trivedi, and T. B. Moeslund, "Vision-based traffic sign detection and analysis for intelligent driver assistance systems: A survey," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, no. 4, pp. 1484-1497, Dec. 2012. doi: 10.1109/TITS.2012.2209421.
- [6] F. Zaslouta and B. Stanculescu, "Real-time traffic sign recognition in three stages," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 62, no. 1, pp. 16-24, Jan. 2014.

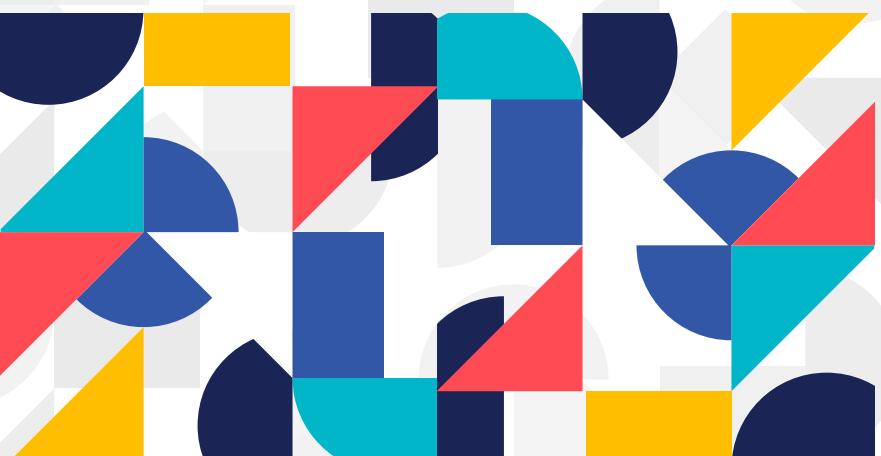
[7] J. Stallkamp, M. Schlipsing, J. Salmen, and C. Igel, "The German Traffic Sign Recognition Benchmark: A multi-class classification competition," *The 2011 International Joint Conference on Neural Networks*, San Jose, CA, USA, 2011, pp. 1453-1460. doi: 10.1109/IJCNN.2011.6033389.

[8] D. Cireşan, U. Meier, J. Masci, and J. Schmidhuber, "Multi-column deep neural network for traffic sign classification," *Neural Networks*, vol. 32, pp. 333-338, Aug. 2012.

[9] Y. Li, S. Liu, and H. Wang, "Traffic Sign Recognition Based on Convolutional Neural Network," *2019 IEEE 4th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)*, Wuxi, China, 2019, pp. 496-500. doi: 10.1109/SIPROCESS.2019.8868623.

[10] S. S. Ardiansyah, E. A. Suprayitno, and D. P. H. Saptomo, "A real-time speed limit sign recognition on embedded system," *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, Yogyakarta, Indonesia, 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/EECSI.2017.8239129.





**VALIDACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE
EN UN BIODIGESTOR CASERO TIPO BATCH ALIMENTADO CON
RESIDUOS PORCINOS**

**PERFORMANCE VALIDATION OF A BIODIGESTER AND RESULTS OF
ITS APPLICATION**

VALIDACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE EN UN BIODIGESTOR CASERO TIPO BATCH ALIMENTADO CON RESIDUOS PORCINOS PERFORMANCE VALIDATION OF A BIODIGESTER AND RESULTS OF ITS APPLICATION

José Misael Vélez Urbano ¹,
Jhon Henry González Guevara ²,
Ángel Jonathan Galarza López ³,
Raúl Rodrigo Prado Paucay ⁴,

¹ Instituto Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador, josé.velez@instipp.edu.ec

² Instituto Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador, jhon.gonzalez@instipp.edu.ec

³ Instituto Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador, angel.galarza@instipp.edu.ec

⁴ Instituto Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador, raul.prado@instipp.edu.ec

RESUMEN

El aprovechamiento energético de residuos orgánicos mediante biodigestores representa una estrategia efectiva para la gestión ambiental en unidades de producción animal. Esta investigación tuvo como objetivo validar el rendimiento de un biodigestor casero tipo batch de 200 litros de carga única, operado al 75 % de su capacidad útil, para el tratamiento de excretas porcinas. El estudio se realizó en la finca Sol y Paz, parroquia Chaguana, ciudad de Pasaje-Ecuador. Se empleó una mezcla de 37,5 kg de estiércol porcino con 112,5 litros de agua, bajo condiciones de digestión anaeróbica durante 50 días. Las variables evaluadas fueron: cantidad total de biogás producido y el peso del biofertilizante generado. Finalizado el ciclo, se obtuvo un volumen estimado de 5,625 m³ de biogás, lo que equivale a 14 horas de uso energético continuo en una cocina doméstica. Asimismo, se generaron aproximadamente 31,1 kg de biofertilizante, lo que representa una alternativa viable para su aplicación agrícola. Aunque la investigación no incluye análisis de composición de biogás ni réplicas, los resultados evidencian el potencial técnico y ambiental del biodigestor casero como solución sustentable y replicable en sistemas agropecuarios familiares, promoviendo el reciclaje de residuos y la generación de insumos útiles para el autoconsumo rural.

Palabras clave: Biodigestor, biogás, biofertilizante, residuos porcinos, sostenibilidad.

ABSTRACT

The energetic utilization of organic waste through biodigesters is an effective strategy for environmental management in livestock production systems. This study evaluated the performance of a 200-L homemade batch biodigester, operated at 75% of its capacity, for swine manure treatment at the Sol y Paz farm, Chaguana parish, Pasaje, Ecuador. A mixture of 37.5 kg of pig manure and 112.5 L of water was subjected to anaerobic digestion for 50 days. The main variables analyzed were total biogas production and biofertilizer yield. Results showed an estimated 5.625 m³ of biogas, equivalent to 14 hours of continuous household cooking, and 31.1 kg of biofertilizer suitable for agricultural application. Although biogas composition and replication were not included, findings highlight the technical feasibility and environmental potential of low-cost biodigesters as a sustainable and replicable solution for family farming systems, contributing to waste recycling and rural self-sufficiency.

Keywords: Biodigestor, biogás, biofertilizante, residuos porcinos, sostenibilidad.

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento de la actividad porcina en zonas rurales ha generado un aumento considerable en la generación de residuos orgánicos, los cuales, al no ser tratados adecuadamente, contribuyen a la contaminación del suelo, del agua y de la atmósfera [1]. Esta situación se agrava en pequeñas unidades de producción agropecuaria, donde el manejo de excretas se realiza de manera empírica, lo que genera problemas sanitarios y ambientales directos en las comunidades [2].

Como respuesta a esta problemática, los biodigestores han demostrado ser opciones viables para la mitigación de los gases de efecto invernadero GEI y otros beneficios [3] [4]. Además, la digestión anaeróbica se ha posicionado como una tecnología sostenible y eficiente, capaz de transformar los residuos orgánicos en recursos valiosos como el biogás, utilizado como fuente energética, y el biofertilizante, empleado para mejorar la calidad del suelo [5]. El uso de biodigestores anaeróbicos ha sido validado en diversos contextos, demostrando que la producción porcina tiene un gran potencial para generar biogás debido a la alta carga orgánica de sus residuos [6].

Diversos estudios han evidenciado que el digestato generado por esta tecnología contiene elevadas concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio, nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal [7], y que, además, contribuye a la reducción de olores y plagas comunes en las zonas ganaderas [2].

En Ecuador, experiencias como las implementadas en la provincia de Santa Elena han evidenciado la viabilidad técnica y ambiental de los biodigestores en fincas de pequeña escala [8].

No obstante, existe escasa información técnica sobre el comportamiento de biodigestores caseros tipo batch de baja capacidad, lo cual limita su adopción masiva en comunidades rurales. En este sentido, la presente investigación se desarrolló con el objetivo de validar el rendimiento de un biodigestor casero tipo batch de 200 litros, operado al 75 % de su capacidad, mediante la cuantificación del biogás generado y del biofertilizante producido a partir del tratamiento de excretas porcinas.

A través de este estudio se busca dar solución al manejo deficiente de residuos en sistemas productivos familiares, proporcionando una

alternativa tecnológica accesible, eficiente y ambientalmente responsable.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio se enmarcó en el paradigma cuantitativo, orientado a la medición objetiva de variables de desempeño de un biodigestor casero tipo batch cargado con estiércol porcino. Se desarrolló como investigación aplicada, de tipo descriptivo-evaluativo con diseño pre-experimental de un solo grupo (una carga única y monitoreo posterior), adaptando lineamientos metodológicos empleados en la evaluación de biodigestores porcinos en contextos rurales ecuatorianos. [2]

ÁREA DE ESTUDIO

La experiencia se realizó en la Finca *Sol y Paz*, parroquia Chaguana, cantón Pasaje, provincia de El Oro, Ecuador (zona tropical baja). La unidad productiva mantiene crianza porcina a pequeña escala con sistema de limpieza húmeda, lo que facilita la recolección de excretas frescas mezcladas con aguas de lavado. (Datos del estudio).

POBLACIÓN Y MUESTRA DE SUSTRATO

La población de interés fueron los residuos orgánicos (excretas porcinas) generados en la finca. Para la carga experimental se recolectó estiércol fresco compuesto (mezcla de corrales; sin discriminar estado fisiológico) hasta alcanzar la relación de mezcla establecida y el volumen de operación definido. Procedimientos de muestreo por conveniencia han sido empleados en evaluaciones de biodigestores de pequeña escala ante limitaciones operativas en campo. [2]

DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DEL BIODIGESTOR

Se utilizó un biodigestor casero tipo batch con volumen geométrico total de **200 L** en polietileno reforzado color azul, equipado con entrada de carga, salida de digestato y línea de gas a una "boya" (gas-holder de membrana flexible) externa, contó con un manómetro analógico de la marca Simmons, con rango de medición de 0 a 100 psi, escala en unidades imperiales (psi) y mecanismo interno tipo Bourdon. Presenta conexión inferior estándar de $\frac{1}{4}$ " NPT y precisión aproximada de $\pm 3\%$. El dispositivo está diseñado para fluidos y gases no corrosivos (no apto para oxígeno), siendo adecuado para monitorear la presión de biogás en biodigestores de



pequeña escala. (Figura 1). El biodigestor se operó al **75 % de su capacidad líquida (150 L)** dejando un espacio de cabeza del 25 % para acumulación de biogás, siguiendo recomendaciones de dimensionamiento que reservan volumen de gas libre y limitan sobrepresiones internas, criterio adoptado en experiencias previas con biodigestores rurales. [2]; [9].

PREPARACIÓN DE LA CARGA Y ARRANQUE

La mezcla se formuló a razón de **10 kg de estiércol porcino fresco por 30 L de agua**, repetida hasta alcanzar 150 L (37,5 kg estiércol + 112,5 L agua). Esta relación se basa en recomendaciones de dilución 1:3 (masa estiércol: fase líquida) para facilitar el mezclado, reducir viscosidad y favorecer el flujo de materia en biodigestión rural. [9].

Tras homogenización manual, la mezcla se introdujo en una sola carga (operación batch). Se selló el digestor, se verificó estanqueidad en las conexiones y se conectó la línea de gas a la boya colectora



Figura 1. Biodigestor tipo Batch usado en el experimento.

CONDICIONES DE OPERACIÓN

El digestor permaneció en operación sin recarga durante un periodo de retención de 50 días, seleccionado dentro de los rangos usados en estudios de digestión de estiércoles en climas cálidos cuando se trabaja en sistemas de baja escala y carga única, y consistente con tiempos empleados en ensayos de valorización de estiércol porcino en biodigestores por etapas [6].

Para mantener la suspensión de sólidos y la actividad microbiana, se realizó una agitación manual suave mediante movimientos externos del cuerpo del digestor (flexión y presión lateral) cada 48 h, siguiendo la recomendación de promover mezcla periódica en sistemas sin agitación mecánica reportada en experiencias piloto de fermentación orgánica con excretas porcinas. [10]

El biodigestor casero tipo batch (200 L) se operó al 75 % de su capacidad líquida (150 L) dejando espacio de cabeza para la recolección de gas en la bolla externa. La mezcla de carga única estuvo constituida por 37,5 kg de estiércol porcino fresco homogenizado con 112,5 L de agua. El sistema permaneció sellado en digestión anaeróbica durante 50 días sin recargas ni purgas intermedias. Se efectuó agitación manual externa cada 48 h para redistribuir sólidos. No se detectaron fugas durante el periodo de retención

Tabla 1. Parámetros de carga y operación del biodigestor.

Parámetro	Valor	Unidad	Observación
Vol. Total (tanque)	200	L	Polietileno reforzado
Vol. operativo (75 %)	150	L	Mezcla líquida
Estiércol cargado	37,5	kg	Fresco, mezcla de corrales
Agua de dilución	112,5	L	Agua de lavado filtrada
Periodo de retención	50	días	Sin recarga
Agitación	Cada 48 h	—	Manual externo
Acumulador de gas	Bolla flexible	—	Con válvula

VARIABLES EVALUADAS

Se cuantificaron dos variables de desempeño a los 50 días de retención:

1. **Volumen total de biogás acumulado (m³)** y su conversión a **tiempo útil de combustión** (minutos) en un quemador doméstico.
2. **Peso húmedo del biofertilizante (digestato) recuperado (kg).**



La elección de estas variables responde a la importancia productiva del biogás como energía y del digestato como insumo agrícola documentada en estudios previos de biodigestores porcinos y mixtos. [5]; [7]; [8].

MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE BIOGÁS

El biogás se acumuló en la boya flexible conectada al domo de gas. El volumen se determinó por desplazamiento calibrado: la boya llena se vació a través de una columna de desplazamiento de agua graduada, registrándose el volumen total liberado. Este método volumétrico es común en biodigestores de pequeña escala y fue adaptado de protocolos usados en evaluaciones de campo en granjas porcinas ecuatorianas. [2].

CONVERSIÓN DE BIOGÁS A TIEMPO DE COMBUSTIÓN

Para estimar la utilidad energética, el biogás medido se canalizó a un quemador doméstico de una hornilla; se cronometró el tiempo continuo de llama estable hasta agotamiento del gas [9].

MEDICIÓN Y MANEJO DEL BIOFERTILIZANTE

Al completar los 50 días, el digestor se abrió por la salida inferior; el digestato se colectó en recipientes plásticos previamente tarados y se determinó su peso húmedo total en balanza digital. Para comparación con literatura, se consideró el posible descenso de sólidos totales durante la fermentación, estimado en ~17 % para mezclas con excretas porcinas en sistemas de fermentación orgánica acelerada. [10]

FACTORES DE RENDIMIENTO TEÓRICO

Cuando fue necesario estimar rendimientos específicos (m^3 de biogás por kg de estiércol fresco) para cotejar el desempeño observado frente a valores de referencia, se empleó el factor 0,003 m^3 de biogás/kg de estiércol porcino reportado en estudios de biodigestores rurales y compilado en la literatura regional. [11] [12] [13]

TRATAMIENTO DE DATOS

Los datos de volumen y peso se registraron en hojas de cálculo. Se calcularon valores absolutos, relaciones de conversión (m^3 gas/kg estiércol cargado; kg biofertilizante/kg estiércol cargado) y tiempo energético estimado. No se aplicaron análisis inferenciales debido al carácter de carga única; los resultados se presentan como valores puntuales acompañados de factores de comparación con literatura técnica. Procedimientos similares de

análisis descriptivo se han aplicado en estudios de validación de biodigestores en pequeña escala. [8]

3. RESULTADOS

COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DURANTE LA DIGESTIÓN.

El inflado progresivo de la bolla comenzó a observarse a partir del día 4 y alcanzó máxima distensión entre los días 28 y 44. Se percibió reducción notable de olor a materia fresca a partir de la segunda semana; el olor residual fue característico de digestato estabilizado. No se observaron espumas persistentes ni expulsión de líquido por la línea de gas.

VOLUMEN DE BIOGÁS ACUMULADO

Al día 50 se procedió al vaciado completo de la bolla a través del sistema de desplazamiento volumétrico. El volumen total de biogás medido fue 5,62 m^3 (promedio de dos lecturas consecutivas: 5,58 y 5,66 m^3 ; CV = 1,0 %). Para referencia de rendimiento específico, el volumen observado correspondió a 0,150 m^3 de biogás/kg de estiércol cargado (base fresca), usando la ecuación (1) para el *cálculo de rendimiento específico*

$$R_e = \frac{Bta}{Mef} \quad (1)$$

Dónde R_e = rendimiento específico de biogás (m^3/kg); Bta = biogás total acumulado (m^3); Mef = masa de estiércol fresco cargado (kg);

Sustituyendo en la ecuación (1):

$$R_e = \frac{5,62 \ m^3}{37,5 \ kg}$$

$$R_e = 0,150 \frac{m^3}{kg}$$

Cabe señalar que, a pesar de haberse determinado el volumen total de biogás generado en el biodigestor, lo que permitió cuantificar el rendimiento del sistema, no se realizó el análisis de la composición del biogás (porcentaje de metano CH_4 , dióxido de carbono CO_2 y otros gases traza) debido a limitaciones de instrumentación, particularmente la ausencia de cromatógrafos de gases o analizadores



portátiles específicos. Esta omisión limita la estimación precisa del poder calorífico del biogás y, por tanto, la conversión exacta a equivalencias energéticas. Investigaciones previas en biodigestores tipo batch reportan que el metano suele encontrarse en concentraciones que varían entre 55 % y 70 %, dependiendo del sustrato y las condiciones de operación [14]. En estudios realizados en Ecuador, se han encontrado valores promedio de metano entre 58 % y 65 % en biodigestores de pequeña escala con estiércol porcino y vacuno [15]. Estos rangos permiten realizar inferencias aproximadas sobre el potencial energético del biogás producido en sistemas similares, aunque con un margen de incertidumbre inherente a la falta de análisis composicional directo.

TIEMPO ÚTIL DE COMBUSTIÓN DEL BIOGÁS

Para calcular el tiempo útil de combustión del biogás se empezó por determinar experimentalmente el *coeficiente de consumo de la hornilla* – C_c ($\frac{h}{m^3}$) –.

Para obtener una estimación rápida de C_c ($\frac{h}{m^3}$), se aplicó el método de bolsa cronometrada. Primero, se llena la bolsa con biogás conociendo su volumen (0,200 m^3), seguido la bolsa se conectó herméticamente a una hornilla doméstica de una llama; se abrió el paso de gas y se encendió la combustión a flujo constante (sin ajuste de perilla durante la prueba). Se utilizó un cronómetro digital para registrar el tiempo de llama estable hasta extinción, que fue de 30,1 min, equivalente a 0,502 h, para aplicarlo en la siguiente fórmula:

$$C_c = \frac{t_{quemado}}{V_{gas}} \quad (2)$$

Dónde: $t_{quemado}$ = tiempo de combustión observado (h) con flujo sostenido hasta extinción de la llama; V_{gas} = volumen de biogás realmente introducido al quemador (m^3).

Dando como resultado en el reemplazo de datos en la fórmula:

$$C_c = \frac{0,502 \text{ h}}{0,200 \text{ } m^3}$$

$$C_c = 2,51 \frac{h}{m^3}$$

A continuación, del biogás que aún quedaba en la boyta y en el tanque de 200L, se dirigió a una hornilla doméstica presurizada a flujo constante. El tiempo de llama estable se registró con cronómetro digital y se extrapoló al volumen total medido usando la siguiente fórmula:

$$T_{(h)} = Bd \times Cc \quad (2)$$

Dónde $T_{(h)}$ = tiempo útil (h); Bd = biogás disponible (m^3), Cc = coeficiente de consumo de la hornilla ($h \cdot m^{-3}$), dando como resultado:

$$T_{(h)} = 5,62 \times 2,51$$

$$T_{(h)} = 14,10 \text{ h} \approx 844 \text{ min}$$

El tiempo útil estimado de combustión fue 844 min ($\approx 14,1$ h) de uso continuo de una hornilla estándar.

A continuación, en el Tabla 2 se detallan el Biogás acumulado y equivalencia energética

Tabla 2. Biogás acumulado y equivalencia energética.

Medición	Valor	Unidad	Nota
Lectura 1	5,58	m^3	Desplazamiento agua
Lectura 2	5,66	m^3	Repetición
Biogás total medido	5,62	m^3	Día 50
Rendimiento específico	0,15	m^3/kg estiérco	Base fresca
Tiempo útil estimado	844	min	Hornilla doméstica

BIOFERTILIZANTE RECUPERADO

Tras abrir la válvula inferior, el digestato se colectó en recipientes con medidas. El peso húmedo total recuperado fue 31,1 kg. Esto representó una pérdida de masa de 17,1 %, siendo calculado empleando la fórmula:

$$\% \text{ Pérdida} = \frac{m_E - m_B}{m_E} \times 100 \quad (3)$$



Dónde, m_E = masa de estiércol inicial (kg) y m_B = masa de biofertilizante húmedo recuperado (kg).

Reemplazando los datos:

$$\% \text{ Pérdida} = \frac{37,5 - 31,1}{37,5} \times 100$$

$$\% \text{ Pérdida} = 17,1\%$$

Esta pérdida respecto al estiércol fresco inicial, es atribuible a la conversión de sólidos volátiles a biogás y a la separación de fase líquida retenida en el sistema.

4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

El rendimiento específico observado ($0,150 \text{ m}^3 \text{ biogás/kg estiércol fresco a 50 días}$) se alinea con el rendimiento teórico acumulado que se obtendría aplicando el factor de producción diaria de $0,003 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ reportado en compilaciones técnicas para estiércol porcino y utilizado en evaluaciones de campo de biodigestores en América Latina. [2], [9], [11]. Multiplicado por $37,5 \text{ kg}$ de carga y 50 días, el valor teórico esperado ($5,63 \text{ m}^3$) prácticamente coincidió con el volumen medido ($5,62 \text{ m}^3$), lo que sugiere adecuada conversión de la fracción biodegradable bajo las condiciones de retención empleadas. Este nivel de concordancia es notable considerando la mayor variabilidad registrada en estudios con escalas piloto y diseños por etapas en los que las tasas de producción pueden fluctuar por dilución, temperatura y mezcla irregular. [6].

La mayoría de reportes regionales describen biodigestores de mayor volumen y operación semicontinua o por etapas (alimentaciones sucesivas), lo que tiende a suavizar las curvas de producción de gas. [2], [6], [11]. En contraste, el modo batch concentra la liberación de biogás en ventanas de actividad microbiana que dependen de la degradación inicial de sólidos fácilmente fermentables. El patrón de inflado observado (inicio día 4; máximo entre días 28–44) coincide con la cinética típica de hidrolisis-acidogénesis seguida de metanogénesis estabilizada descrita en manuales de campo para digestores rurales en climas cálidos. [9]. Esto respalda la idoneidad de un periodo de retención de 50 días para cargas porcinas diluidas 1:3 cuando no se dispone de alimentación continua.

La equivalencia energética ($\approx 14,1 \text{ h}$ de llama doméstica) derivó del coeficiente de consumo de hornilla experimental $CE=2,51 \frac{\text{h}}{\text{m}^3}$ medido mediante el ensayo de bolsa cronometrada. Este coeficiente se ubica dentro del rango operativo reportado para quemadores de biogás domésticos ($\approx 2-3 \frac{\text{h}}{\text{m}^3}$ a llamas medias en presión baja). [9]. La concordancia sugiere que las pérdidas por fugas y mezcla de aire en la prueba fueron limitadas y que el biogás producido posee poder calorífico suficiente para aplicaciones de cocina en finca. El uso de un coeficiente medido localmente representa una mejora sobre estimaciones genéricas y reduce la incertidumbre en evaluaciones de impacto energético comunitario. [8].

El biofertilizante húmedo recuperado ($31,1 \text{ kg}$) implicó una reducción de masa de $17,1\%$ respecto al estiércol fresco cargado. Este rango es coherente con pérdidas de sólidos totales (13–20 %) asociadas a la mineralización durante fermentaciones de excretas porcinas en procesos biológicos controlados. [10]. Estudios de laboratorio y de campo han destacado que el digestato procedente de estiércol porcino retiene fracciones importantes de nitrógeno, fósforo y potasio que pueden reincorporarse a sistemas agrícolas, contribuyendo a cerrar ciclos de nutrientes y reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos. [7], [12], [13]. Aunque en el presente estudio no se cuantificaron macronutrientes, el nivel de recuperación de masa y la estabilización organoléptica (reducción de olores) respaldan su potencial uso agronómico, en concordancia con experiencias de adopción en fincas de pequeña escala. [8].

5. CONCLUSIÓN

El biodigestor casero tipo batch de 200 litros, operado al 75 % de su capacidad útil y alimentado con excretas porcinas diluidas, demostró ser una alternativa viable y eficiente para la producción de biogás y biofertilizante en contextos rurales. Los resultados obtenidos evidencian un rendimiento específico de $0,15 \text{ m}^3$ de biogás por kilogramo de estiércol fresco, alcanzando un volumen total acumulado de $5,62 \text{ m}^3$ en 50 días de retención, lo que representa un tiempo útil de combustión aproximado de 14,1 horas continuas en una cocina doméstica. Este desempeño indica una adecuada conversión de la materia orgánica bajo condiciones



de digestión anaeróbica, con comportamiento cualitativo coherente al proceso de estabilización biológica. Además, se recuperaron 31,1 kg de biofertilizante húmedo, lo cual representa una pérdida de masa del 17,1%, atribuible a la transformación de sólidos en gas y la retención líquida. Este producto final, por sus características físicas, es considerado apto para su uso agrícola. En conjunto, la experiencia confirma el potencial técnico y ambiental del uso de biodigestores caseros en unidades de producción animal de pequeña escala, promoviendo el aprovechamiento energético de residuos orgánicos, la reducción de impactos ambientales y la generación de insumos útiles para el autoconsumo agrícola. Como línea futura, se recomienda ampliar la caracterización química del biofertilizante y evaluar el comportamiento del sistema en diferentes condiciones climáticas y de carga.

Como recomendación prioritaria, es importante resaltar que se complementen estas investigaciones para futuros estudios se realice la caracterización físico-química del digestato, considerando parámetros básicos como sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y la concentración de macronutrientes N-P-K, con el fin de evaluar su estabilidad y determinar su potencial como biofertilizante. Esta información permitirá establecer protocolos de uso agrícola más seguros y eficientes, así como valorar el aporte real del digestato a la fertilización orgánica y la sostenibilidad de los sistemas productivo

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior Ismael Pérez Pazmiño por el respaldo institucional brindado durante el desarrollo de esta investigación. Se reconoce de manera especial la colaboración del personal técnico y administrativo de la finca Sol y Paz, ubicada en el cantón Pasaje, por facilitar el espacio y los recursos necesarios para la implementación del biodigestor experimental. Asimismo, se agradece el apoyo recibido por parte de los estudiantes y voluntarios que participaron activamente en las fases de monitoreo y recolección de datos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Julón A. Diseño de un sistema de producción de biogás utilizando bosta de cerdos y ganado vacuno para generar energía eléctrica en la granja santa cruz, Pomalca - Chiclayo. 2023. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/12102>
- [2] Pino, E.O., Pilay, J.W., Tomalá, A.V. y Drouet, A.E. Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos, *Revista ALFA*, 9(25), 177–190, 2025. Disponible en <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.340>
- [3] Mosisa W, Dechassa N, Teshai, Kibebew K, Zeleke H, Bekoko Z. Effects of timing and nitrogen fertilizer application rates on maize yield components and yield in eastern Ethiopia. VL- 5. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1002/agg2.20322>
- [4] Uen Y, Rodríguez A. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por medio de digestión anaeróbica: un enfoque hacia la sostenibilidad. *Rev Latinoam Biotecnol.* 5(2):99-115. 2023
- [5] Mahmudul, I., Kundu, S., Liu, X., Wei, Y. y Leng, Y. The role of anaerobic digestion in waste management and energy recovery: A review, *Waste Management*, 129, 123–134, 2021.
- [6] Durazno, A. Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas [Tesis de licenciatura]. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2018. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15445>
- [7] Wong, C., Acosta, D., Mojica, C., Márquez, L. y Vidal, E. Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(1), 5241–5258, 2023. Disponible en https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4827
- [8] Cruz, E. Implementación de un modelo de biodigestor para pequeñas fincas productoras de ganado porcino en el recinto El Suspiro, parroquia Colonche, provincia de Santa Elena [Tesis de grado]. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador, 2021. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6379>
- [9] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *Manual del biogás*. FAO, Roma, 2011.



[10] Anccasi, J. Producción a escala piloto de fertilizante orgánico acelerado por fermentación láctica a partir de excretas de cerdo y vinaza. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Ecuador, 2024. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6195>

[11] Osejos-Merino, M., Jaramillo-Véliz, J., Merino-Conforme, M., Quimis-Gómez, A. y Alcívar-Cobeña, J. Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa. *Dominio de las Ciencias*, 4(1), 709–733, 2018. [En línea] Disponible en http://dx.doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2018.vol_4.n.1.709-733

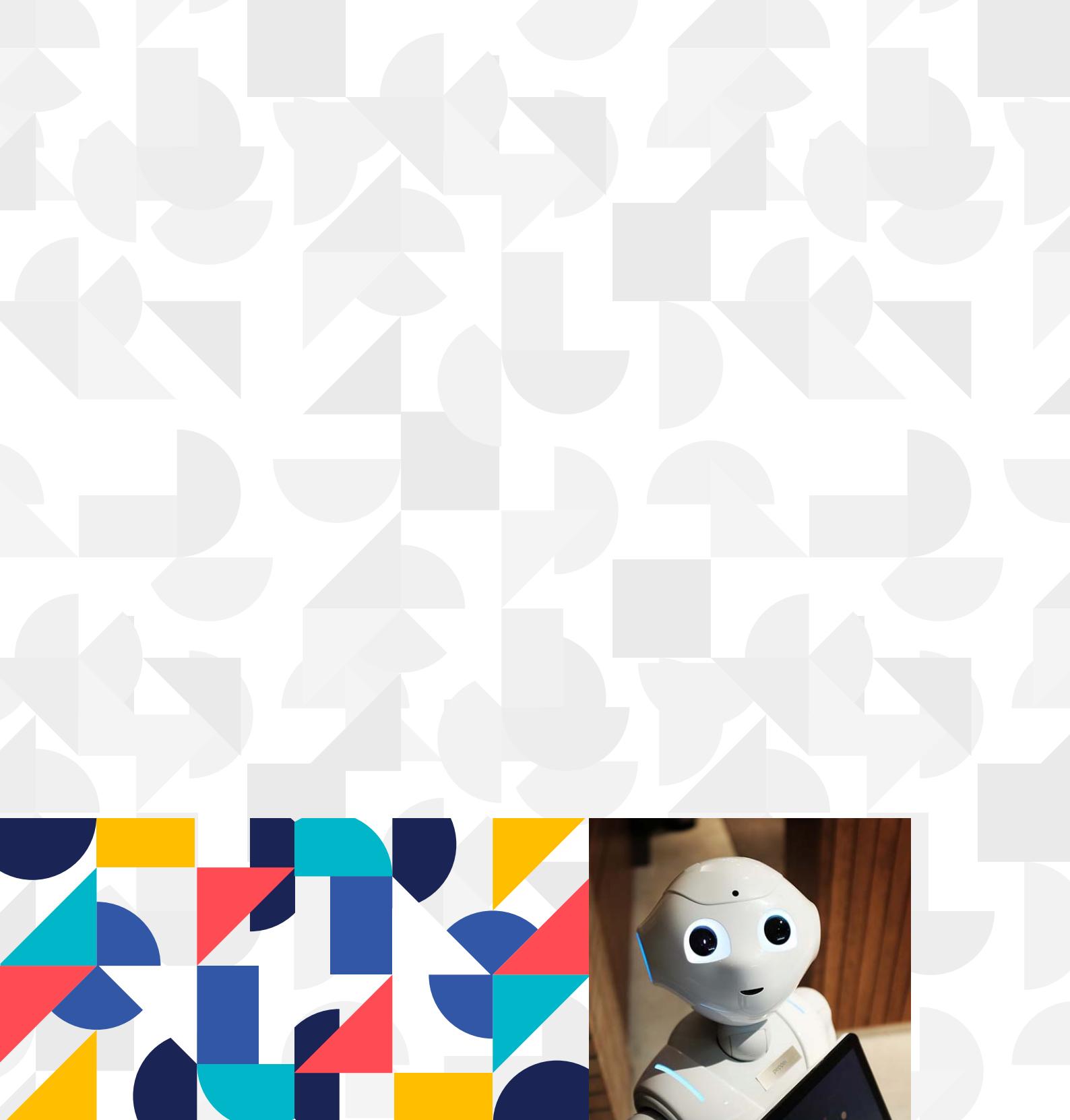
[12] Baras, Y. *Excretas porcinas para la producción de biofertilizante mediante digestión anaeróbica, en la localidad Saracoto Alto, Lurigancho, Chosica* [Tesis]. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/71995>

[13] Valencia, M. *Diseño de un biodigestor para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado porcino en la chanchera “Naúl Vélez” del Recinto Timbre, Parroquia San Mateo, Cantón y Provincia de Esmeraldas* [Tesis]. 2023. Disponible en <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/22124>

[14] Mao, C., Feng, Y., Wang, X. y Ren, G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540–555, 2015. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>

[15] Castro Morales, I. G. y Rodríguez Gámez, M. Potencial de producción de biogás para su aprovechamiento energético en el contexto rural de Manabí, *Ingeniería Energética*, XLIII (3), 62–70, 2022. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9333079>





**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN PRELIMINAR DE UN
PROTOTIPO ROBÓTICO PARA LA ENSEÑANZA DE INGLÉS EN
EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA DEL ECUADOR**

**DESIGN, CONSTRUCTION, AND PRELIMINARY VALIDATION OF A
ROBOTIC PROTOTYPE FOR ENGLISH LANGUAGE TEACHING IN
ECUADORIAN ELEMENTARY EDUCATION**

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN PRELIMINAR DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO PARA LA ENSEÑANZA DE INGLÉS EN EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA DEL ECUADOR

DESIGN, CONSTRUCTION, AND PRELIMINARY VALIDATION OF A ROBOTIC PROTOTYPE FOR ENGLISH LANGUAGE TEACHING IN ECUADORIAN ELEMENTARY EDUCATION

Alvarado-Cadena, Jorge¹;
Zabala-Barragán, Leticia²;
Guaño-Álvarez, Ana³.

¹ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, jorge.alvarado@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, leticia.zabala@istcarloscisneros.edu.ec

³ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, anita.guano@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

La enseñanza del inglés en la educación básica ecuatoriana enfrenta limitaciones con los métodos tradicionales. Este estudio presenta el diseño, construcción y validación preliminar de un prototipo robótico para la enseñanza de inglés en niños. El sistema integra una arquitectura basada en Raspberry Pi 4, una aplicación interactiva en Gambas y una app Android para control remoto. La validación pedagógica se realizó mediante un estudio cuasi-experimental con pretest y postest en una muestra de 31 estudiantes de primer año de educación general básica (EGB) de la Unidad Educativa Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador. Se aplicaron pruebas de vocabulario (números, colores, animales), protocolos de observación estructurada y entrevistas a docentes. Los resultados mostraron una mejora significativa en el aprendizaje de vocabulario (pretest: $M=6.29$, $DE=2.56$; postest: $M=7.81$, $DE=2.81$; $t(30) = 2.23$, $p(T \leq t) = 0.033$, $d=0.4$). El 81% de los estudiantes mostró interés y mayor atención y el 77% alta motivación durante las interacciones con el robot. Se concluye que el prototipo es una herramienta prometedora para la enseñanza de inglés en contextos escolares tempranos, aunque se requiere optimizar el diseño gráfico y la autonomía energética.

Palabras clave: Robótica educativa, aprendizaje de idiomas asistido por robot, gamificación, enseñanza de inglés, Raspberry Pi.



ABSTRACT

English language instruction in Ecuadorian basic education faces significant limitations due to the continued reliance on traditional teaching methods. This study presents the design, development, and preliminary validation of a robotic prototype aimed at supporting English language learning in young learners. The system is built upon a Raspberry Pi 4-based architecture and incorporates an interactive application developed in Gambas, along with an Android app for remote control. Pedagogical validation was conducted through a quasi-experimental design with pretest and posttest measures, involving a sample of 31 first-year students from the Basic General Education (EGB) program at Unidad Educativa Carlos Cisneros, Riobamba, Ecuador. Vocabulary assessments (numbers, colors, animals), structured observation protocols, and teacher interviews were utilized as instruments. The results indicated a statistically significant improvement in vocabulary acquisition (pretest: $M = 6.29$, $SD = 2.56$; posttest: $M = 7.81$, $SD = 2.81$; $t(30) = 2.23$, $p(T \leq t) = 0.033$, $d = 0.4$). Additionally, 81% of students exhibited increased interest and attention, while 77% demonstrated high motivation during interactions with the robot. These findings suggest that the prototype represents a promising tool for enhancing English language instruction in early educational settings, although further improvements in graphic design and energy autonomy are recommended.

Keywords: Educational robotics, robot-assisted language learning, gamification, English teaching, Raspberry Pi.

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza del inglés como lengua extranjera (ILE) en la educación básica ha cobrado especial relevancia en los últimos años, tanto por disposiciones normativas como por el creciente reconocimiento de sus beneficios. En Ecuador, desde 2016 el Ministerio de Educación estableció la obligatoriedad de impartir inglés desde el segundo año de Educación General Básica (EGB) [1], aunque en la práctica muchas instituciones lo incorporan desde el primer año. Este enfoque temprano responde a evidencias sobre la plasticidad cerebral infantil, que facilita la adquisición de nuevos sonidos y estructuras gramaticales, además de fortalecer habilidades cognitivas como memoria, atención, creatividad y resolución de problemas [2], [3].

Sin embargo, los métodos tradicionales de enseñanza enfrentan limitaciones en cuanto a motivación y retención del vocabulario [4], [5]. En respuesta, la robótica educativa se posiciona como una alternativa innovadora que combina interactividad física y digital, promoviendo el aprendizaje lúdico y significativo [6], [7].

Estudios previos han demostrado que los robots sociales incrementan la atención sostenida y favorecen la repetición espontánea de vocabulario, un factor clave en la adquisición de segundas lenguas [6], [7]. Alemi et al. [8] reportaron que estudiantes de primaria que interactuaron con un robot humanoide mostraron mejores resultados en pruebas de vocabulario y una actitud más positiva hacia el aprendizaje que aquellos en clases tradicionales, lo cual se relaciona con el rol del robot como “interlocutor seguro” que reduce la ansiedad lingüística [9]. Asimismo, la incorporación de juegos en pantallas táctiles fomenta la participación activa del alumnado, quien pasa de ser un receptor pasivo a protagonista de la interacción [10].

El marco teórico de la autodeterminación sugiere que la motivación intrínseca se potencia al satisfacer necesidades de competencia, autonomía y relación [11]. Wu et al. [12] evidenciaron que los niños que recibieron retroalimentación inmediata y celebraciones de sus logros mediante un robot incrementaron su percepción de competencia lingüística y la frecuencia de turnos de habla. Este tipo de recursos también permite personalizar la dificultad de las actividades, fortaleciendo la autonomía del estudiante [13].

No obstante, la efectividad de la robótica educativa depende de factores como la formación docente, la duración de la intervención y la alineación entre capacidades del robot y objetivos pedagógicos [6], [14]. Investigaciones como la de Benitti [6] subrayan que los beneficios no aparecen de forma espontánea, sino cuando el robot se integra en secuencias didácticas claras. En este sentido, la literatura ofrece modelos y clasificaciones de roles para los robots en entornos educativos como tutor o herramienta interactiva [15], así como experiencias aplicadas en ámbitos cercanos a la enseñanza del inglés que combinan funciones físicas y contenido educativo [16], [17].

Sin embargo, la mayoría de las soluciones existentes se centran en robots comerciales de alto costo o aplicaciones aisladas, sin integrar control físico remoto con interacción táctil autónoma en un mismo dispositivo [18]. Esta investigación busca llenar ese vacío mediante el desarrollo de un prototipo de bajo costo que combine ambas modalidades de interacción. La hipótesis del estudio es que el uso del prototipo robótico mejorará significativamente la motivación, la atención y el aprendizaje de vocabulario básico en inglés en niños de primer año de educación básica, en comparación con las metodologías tradicionales.

En este marco, la presente investigación propone un prototipo de robot didáctico que combina doble modalidad de interacción: por un lado, control externo mediante una aplicación móvil, lo que refuerza el aprendizaje kinestésico; y, por otro, una pantalla táctil incorporada en el propio robot, que lo convierte en una estación de juego autónoma. Este enfoque busca superar la fragmentación actual entre robots programables y aplicaciones móviles de idiomas, aportando evidencia sobre su impacto en la motivación y la adquisición de vocabulario básico en niños de primer año de EGB.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del prototipo robótico se dividió en las siguientes fases principales:

2.1. Diseño mecánico, impresión 3D y ensamblaje estructural

Se diseñaron modelos CAD de la estructura física del robot en SolidWorks, incluyendo cabeza, torso, extremidades. Posteriormente, se realizaron las



impresiones 3D de cada componente y su ensamblaje sobre el Kit Chasis Oruga Tanque, considerando criterios de estabilidad, ergonomía y estética. En la Fig. 1. Se muestra un primer modelado de las piezas.



Fig.1: Modelado preliminar de las piezas

Otro aspecto que se consideró es la capacidad de alojar todos los componentes y cableado dentro del cuerpo. La elección de la forma y tamaño de la cabeza fue con la finalidad de alojar la pantalla táctil de 7 pulgadas, los conectores HDMI y de energía. A sí mismo, el cuerpo del robot es el lugar que alberga componentes como Raspberry Pi, tarjeta electrónica basada en microcontrolador y puente H, además de baterías.

2.2. Diseño eléctrico y electrónico.

Se definió la arquitectura de control, seleccionando componentes como la **Raspberry Pi 4**, **ESP32**, drivers, servomotores, pantalla táctil y módulos de alimentación. Se elaboró un esquema de conexión para la distribución de señales y energía como se muestra en el Anexo 1.

El diseño de la placa electrónica se enfocó en dos aspectos, la distribución de energía y el manejo de señales de control.

En primer lugar, se implementó un sistema de alimentación capaz de suministrar energía estable a todos los componentes del sistema:

- Pantalla táctil
- Raspberry Pi
- Microcontrolador ESP32
- Servomotores para los brazos
- Motoreductores para la oruga,

En segundo lugar, se estableció un esquema de control diferenciado para los actuadores. Los servomotores de los brazos operan con alimentación de 4.8-6 VDC y reciben señales PWM a 5 VDC

desde el ESP32. Para los motoreductores de la oruga, que requieren 12 VDC, se implementó un módulo Puente H que permite invertir la polaridad del voltaje para controlar el sentido de giro, según la configuración especificada en la Tabla 1.

Tabla 1: Configuración de los motores de la oruga

I1	I2	SALIDA
0	0	PARADA
0	1	DERECHA
1	0	IZQUIERDA
1	1	NO ADMITIDO

Esta arquitectura dual garantiza tanto la estabilidad energética del sistema como la precisión en el control de movimientos. Es importante resaltar que al alimentar los motoreductores con un voltaje menor a su nominal se obtiene una reducción controlada en sus revoluciones por minuto (R.P.M). Con estas consideraciones se obtuvo el diseño final de la placa electrónica para el prototipo como se muestra en el Anexo 2.

2.3. Desarrollo de la aplicación

Se diseñó una aplicación con interfaz gráfica usando el IDE Gambas (basado en lenguaje BASIC y distribuido bajo licencia GNU General Public Licence), la cual se ejecuta en una Raspberry Pi para implementar juegos educativos de vocabulario (números, colores y animales). Esta aplicación permite la interacción directa con los niños a través de una pantalla táctil integrada en el robot, ofreciendo actividades de enseñanza y retroalimentación con elementos visuales y auditivos (ver Fig. 5), incluyendo un personaje animado llamado "Sofía".

El proceso de desarrollo de la aplicación educativa se estructuró en cuatro fases secuenciales:

2.3.1. Diseño de Interfaz y Prototipado

Se realizó un análisis y diseño enfocado en los objetivos pedagógicos. Se elaboró un boceto inicial para definir la estructura básica y la jerarquía de la interfaz (distribución de botones, menús, campos, etc.). Una vez aprobado, se desarrollaron las pantallas y menús en formato gráfico (PNG/JPG) para crear un prototipo visual inicial.



2.3.2. Configuración del Entorno de Desarrollo y Ejecución

Se preparó el entorno de *hardware* y *software* para la Raspberry Pi, que incluyó:

- Instalación de Raspberry Pi OS.
- Configuración de la pantalla táctil mediante raspi-config y calibración con xinput-calibrator.
- Instalación de Gambas 3 y bibliotecas clave:
 - gambas3-gui y gambas3-gb-form: Para la gestión de componentes gráficos y formularios.
 - gambas3-gb-sdl2: Para el manejo de audio y eventos multimedia.
 - gambas3-gb-image: Para la carga y manipulación de imágenes.
 - gambas3-gb-speech: Para la síntesis de voz.

2.3.3. Desarrollo y Lógica del Juego

Se crearon los distintos formularios en Gambas utilizando el diseñador visual. Se integraron los gráficos, botones y eventos asociados a la pantalla táctil. La lógica del juego, que integra los elementos multimedia y define la secuencia de interacción, se programó siguiendo el flujo de ejecución detallado en el Anexo 3.

2.3.4. Pruebas y Optimización

En la fase final se realizaron pruebas funcionales y de rendimiento:

- Verificación de la respuesta táctil y depuración de errores en la Raspberry Pi.
- Medición del uso de CPU y memoria para optimizar el rendimiento de imágenes y audio.
- Ajuste de tiempos de respuesta y configuración del inicio automático de la aplicación al encender el dispositivo.

La aplicación resultante (Fig. 2) permite interacción directa mediante dos modos operativos: enseñanza de vocabulario (números, colores, animales) con apoyo del personaje "Sofía" (Fig. 3), y retroalimentación con preguntas auditivas en inglés y visuales en español (Fig. 4), creando un ciclo completo de aprendizaje inmersivo.



Fig. 2: Pantalla principal de la interfaz Juego interactivo.

La interacción se estructura secuencialmente, primero el usuario selecciona una lección de vocabulario (Fig. 3) donde se presenta contenido educativo de forma inmersiva. Al completar la lección, se muestra la opción de regresar al menú principal para iniciar la fase de retroalimentación (Fig. 4). En esta etapa, la aplicación genera preguntas auditivas en inglés complementadas con apoyo visual en español, estableciendo un ciclo de aprendizaje bimodal que refuerza la adquisición del lenguaje mediante estímulos multisensoriales.



Fig. 3: Ejecución de la lección "Vocabulario"



Fig. 4. Juego de retroalimentación

2.3. Desarrollo de la aplicación móvil (Android)

Se desarrolló una aplicación Android en el MIT AppInventor para gestionar las funciones motrices del prototipo robótico. Mediante el uso de flechas de navegación ("Siguiente" y "Anterior") como se muestra en la figura 5, se accede secuencialmente a las distintas pantallas, cada pantalla está asociada a una acción física específica del robot, (elevación de brazos, desplazamiento y giros) al mismo tiempo se reproducen audios en inglés describiendo el movimiento realizado, esto con el objetivo de facilitar la integración del robot en dinámicas grupales.



Fig. 5: Interfaz móvil App Inventor

Se usó comunicación Bluetooth entre el dispositivo móvil (teléfono celular o tableta) y el módulo ESP32 del robot. Como muestra la Figura 6, la aplicación transmite comandos en forma de texto que son interpretados por el microcontrolador. Según la instrucción recibida, el ESP32 genera señales PWM para los servomotores de las extremidades o activa el puente H que controla los motores de desplazamiento, traduciendo cada comando en acciones físicas sincronizadas con retroalimentación auditiva.



Fig. 6. Porción de los bloques de programación.

2.4. Integración de subsistemas y pruebas funcionales

Se integraron los subsistemas mecánicos, electrónico y de software; se realizaron pruebas en entorno controlado y en condiciones reales de aula, con el fin de validar la funcionalidad del prototipo, detectar problemas de alimentación y comunicación, y con el fin de aplicar mejoras en la estabilidad del sistema, como se muestra en la figura 7.

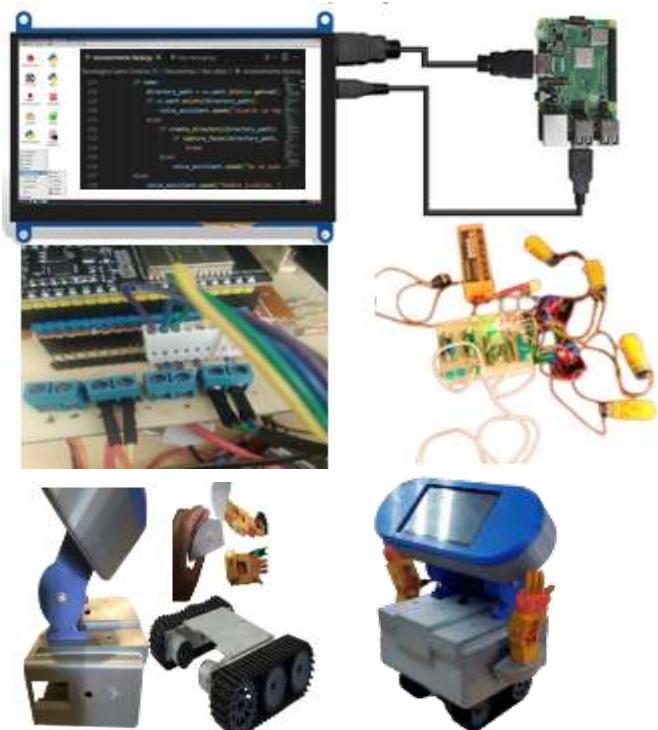


Fig. 7: Prototipo de robot desarrollado ensamblado.

2.5. Análisis energético



Se realizó un análisis de consumo energético para estimar la duración aproximada de la batería durante el uso del prototipo en clase, se han sumado los consumos típicos de corriente de cada componente importante en relación a la demanda de corriente, se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Demanda nominal de corriente de los componentes

CANTIDA D	COMPONENTE	CORRIENTE (A)
2	Servomotor	1,2
2	Motorreductor	1,9
1	ESP32	0,08
1	Raspberry Pi	1,5
1	Pantalla táctil	0,6
TOTAL		5,28

Considerando un margen de seguridad del 10% para pérdidas y consumos auxiliares, la corriente total estimada fue de 5,80 A. Con una batería LiPo de 7,4 V y 5000 mAh de capacidad, el cálculo teórico indica una autonomía de 0,86 horas (52 minutos). Las pruebas de validación en condiciones reales de operación confirmaron una autonomía efectiva superior a 45 minutos, demostrando la adecuación del sistema de potencia para sesiones prácticas completas.

2.6. Diseño de la investigación y validación pedagógica

El presente estudio adoptó un diseño cuasi-experimental con pretest y postest en un solo grupo, con el objetivo de evaluar el impacto del prototipo en la adquisición de vocabulario y la motivación de los estudiantes.

2.6.1. Participantes

La muestra consistió en 31 estudiantes (totalidad de estudiantes matriculados - edad promedio 6 años) de primer año de EGB de la Unidad Educativa Carlos Cisneros (Riobamba, Ecuador), seleccionados de manera intencional, debido a que los juegos y actividades se diseñaron para las primeras etapas de la enseñanza del idioma inglés. No se incluyó grupo de control debido a solicitud expresa de las autoridades de la institución en donde se desarrolló el estudio. Además, se contó con el consentimiento informado de los padres y autorización institucional.

2.6.2. Instrumentos y procedimiento

Para la validación pedagógica del prototipo se implementó un sistema triple de medición que combina evaluación cuantitativa del aprendizaje, observación sistemática de conductas y percepción docente:

- Pruebas de vocabulario:** Pretest y postest
Las pruebas fueron diseñadas en colaboración con docentes especializados en pedagogía, la cual consta de 10 ítems de opción múltiple y reconocimiento visual-auditivo, finalmente el contenido de la prueba fue validado por 3 expertos en enseñanza de inglés, alcanzando un índice de concordancia de 0.91 (Kendall's W). La confiabilidad interna se determinó mediante el coeficiente KR-20 (0.82), lo cual evidencia consistencia aceptable para los ítems empleados.
- Intervención pedagógica:** Implementación de 8 sesiones de instrucción que integraron el prototipo robótico en actividades estructuradas de aprendizaje (Fig. 8). Cada sesión incluyó:
 - Dinámicas interactivas con el robot
 - Canciones con acompañamiento gestual.
 - Ejercicios de repetición y reconocimiento de vocabulario
 - Registro sistemático de observaciones conductuales.



Fig. 8. Pruebas funcionales en la Unidad Educativa Carlos Cisneros.

- Protocolo de observación estructurada:** Para registrar indicadores de atención, motivación y participación activa durante sesiones clave, se desarrolló una rúbrica de observación con tres dimensiones conductuales y niveles de desempeño específicos:

Tabla 3. Sistema de categorización para observación conductual

DIMENSIÓN	ALTA	MEDIA	BAJA
Atención	Sigue instrucciones constantemente, mantiene contacto visual, concentración sostenida	Atención intermite nte con distracciones ocasionales	Distracción persistente, no atiende a estímulos
Motivación	Entusiasmo evidente, aproximación voluntaria, expresiones verbales/gestuales positivas	Participación solo bajo solicitud, interés ocasional	Actitud apática, no muestra respuesta a estímulos
Participación	Intervención espontánea, repetición voluntaria de vocabulario, imitación activa	Respuesta solo cuando es requerido, seguimiento parcial	Evita participación activa

Las observaciones se registraron durante sesiones clave (juego de retroalimentación y actividades musicales) utilizando una matriz de registro como la mostrada en la Tabla 4, permitiendo el monitoreo individualizado de los 31 participantes.

Tabla 4: Formato para el registro de las observaciones

Estudiante	Atención	Motivación	Participación
Estu. 1	Baja	Media	Media
Estu. 2	Alta	Media	Alta
...

d. *Entrevistas semiestructuradas a docentes:* Este protocolo fue diseñado para explorar las percepciones del profesorado sobre la utilidad pedagógica del prototipo, su facilidad de integración en las dinámicas de aula, el impacto observado en la motivación y participación de los estudiantes, así como para recoger recomendaciones orientadas a la optimización del sistema y su implementación educativa.

2.6.3. Análisis de datos

Para evaluar el impacto del prototipo robótico en la adquisición de vocabulario en inglés, El procesamiento de datos empleó una estrategia metodológica mixta que integró técnicas cuantitativas y cualitativas para garantizar una evaluación comprehensiva de los resultados.

a. *Análisis cuantitativo:* se inició con la verificación de normalidad y valores atípicos. La normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk [18] según la fórmula:

$$W = \frac{\left(\sum a_i x_{(i)} \right)^2}{\left(\sum x_i - \bar{x} \right)^2} \quad (1)$$

donde $x_{(i)}$ son los valores ordenados, a_i son coeficientes dependientes del tamaño muestral y \bar{x} es la media de la muestra.

Mediante el análisis del diagrama de distribución de puntajes (boxplot) se determinó que no existen valores atípicos.

Posteriormente, para determinar la significancia estadística de las diferencias en el aprendizaje de vocabulario, se aplicó una prueba t de Student para muestras relacionadas, utilizando la fórmula:

$$t = \frac{M_{postest} - M_{pretest}}{SE_{diferencia}} \quad (2)$$

donde M representan las medias y SE el error estándar de la diferencia entre pares de observaciones. Los análisis se realizaron con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$) utilizando el software SPSS.

Complementariamente, se calculó el tamaño del efecto mediante la d de Cohen [19] para cuantificar la magnitud de la intervención:

$$d = \frac{M_{postest} - M_{pretest}}{DE_{diff}} \quad (3)$$

donde DE_{diff} corresponde a la desviación estándar de las diferencias de puntuaciones individuales (postest - pretest). La



interpretación de los valores de d se realizó según los criterios convencionales: pequeño (0.20), mediano (0.50) y grande (0.80).

Además, se calcularon los intervalos de confianza del 95% para la diferencia de medias, usando la fórmula:

$$IC_{95\%} = M_{diff} \pm t_{critico} \times \frac{DE_{diff}}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

donde, M_{diff} es la media de las diferencias, $t_{critico}$ es el valor crítico de t para 95% de confianza y n es el tamaño de la muestra.

- b. Análisis cualitativo:** Los datos observacionales se procesaron mediante análisis descriptivo, calculando frecuencias y porcentajes para cada categoría conductual (atención, motivación y participación). Las entrevistas a docentes se analizaron mediante análisis temático, siguiendo el protocolo de Braun y Clarke [20] que incluyó: familiarización con los datos, generación de códigos iniciales, búsqueda y revisión de temas, y definición de temas finales.

Además, se calculó la potencia estadística a posteriori con base en los resultados obtenidos ($d = 0.40$, $n = 31$, $\alpha = 0.05$). El valor estimado fue $(1-\beta) = 0.61$, lo que indica una capacidad moderada para detectar efectos de esa magnitud. Este cálculo se incluyó con fines de validación complementaria del análisis y para estimar la suficiencia del tamaño muestral empleado.

La integración metodológica permitió la triangulación de fuentes de datos, estableciendo tanto la significancia estadística del cambio en el aprendizaje como la comprensión contextualizada de los procesos motivacionales y conductuales asociados a la intervención tecnológica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los datos reveló un incremento en los puntajes de vocabulario en inglés tras la implementación del prototipo robótico.

3.1. Análisis cuantitativo del aprendizaje

Los resultados del análisis pretest-postest revelaron una mejora significativa en el dominio de vocabulario inglés tras la intervención con el prototipo robótico. Como se presenta en la Tabla 5, la media de aciertos mostró un incremento de 1.52 puntos, representando una mejora relativa del 24.2% en el rendimiento académico.

Tabla 5. Resultados comparativos de evaluación de vocabulario (n=31)

MEDIDA	PRETEST	POSTEST	DIFERENCIA
Media (M)	6.29	7.81	+1.52
Desviación Estándar (DE)	2.56	2.81	-
Puntuación mínima	0	3	-
Puntuación máxima	10	10	-

La prueba de t de Student para muestras relacionadas confirmó que esta diferencia es estadísticamente significativa ($t(30) = 2.23$; $p(T \leq t) = 0.033$). El cálculo del tamaño del efecto (Cohen's $d = 0.40$) muestra que la magnitud de la mejora es moderada, lo que sugiere que el uso del prototipo tuvo un impacto educativo moderado en la adquisición de vocabulario en inglés según los criterios de Cohen [19]. Además, se calculó la potencia estadística a posteriori con base en los resultados obtenidos ($d = 0.40$, $n = 31$, $\alpha = 0.05$). El valor estimado fue $(1-\beta) = 0.61$, lo que indica una capacidad moderada para detectar efectos de esa magnitud.

La Figura 9 visualiza la comparación de medias con intervalos de confianza del 95% (los cuales se ubicaron entre 0.14 y 2.90 puntos), mientras que el análisis de distribución mediante diagramas de caja (Fig. 10) demuestra un desplazamiento generalizado hacia puntuaciones más altas en el postest. La Figura 11, que presenta las trayectorias individuales, revela que 25 de los 31 estudiantes (80.6%) experimentaron mejoras en sus puntuaciones.



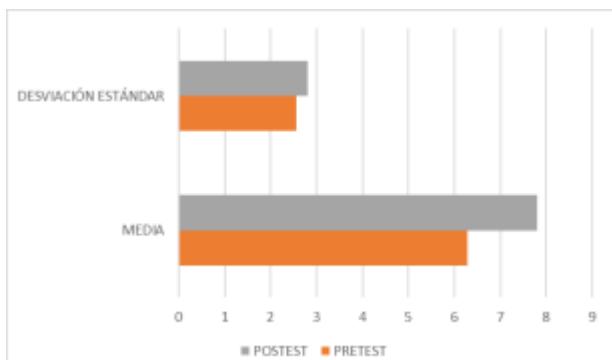


Fig. 9. Comparación de medias y desviación estándar en Pretest y Postest



Fig. 10. Distribución de puntajes Pretest vs Postest

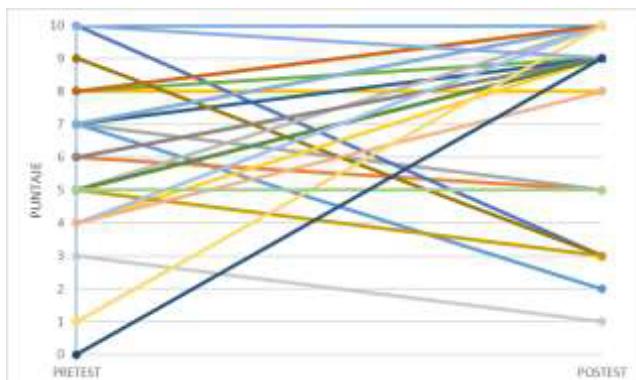


Fig. 11 Evolución individual de estudiantes pretest - postest

3.2. Resultados observacionales

Los registros de observación estructurada, realizados durante las sesiones de intervención, permitieron cuantificar el comportamiento de los estudiantes en tres dimensiones clave: **atención, motivación y participación activa**.

Tabla 5. Nivel de atención, motivación y participación durante la intervención (N = 31)

DIMENSIÓN	ALTA	MEDIA	BAJA
Atención	81%	16%	3%
Motivación	77%	19%	4%
Participación	74%	23%	3%

Los registros indicaron que 25 estudiantes (81%) mantuvieron niveles altos de atención durante las interacciones con el prototipo, mientras que 24 (77%) demostraron alta motivación mediante participación voluntaria y expresiones de entusiasmo. La participación activa mostró una notable mejora en comparación con los niveles registrados en sesiones previas de enseñanza tradicional, donde se habían establecido los parámetros iniciales de conducta.

3.3. Resultados cualitativos

Además, las entrevistas semiestructuradas realizadas a las docentes tras la intervención revelaron tres hallazgos principales:

- Incremento en la motivación intrínseca:** Los docentes reportaron que "los estudiantes mostraban genuino entusiasmo por interactuar con el robot, incluso solicitando tiempo adicional para las actividades".
- Mayor retención del vocabulario:** Se observó que "combinación de estímulos kinestésicos y auditivos facilitó la memorización a largo plazo del vocabulario, evidenciándose una mayor capacidad de recuperación de la información en evaluaciones realizadas posteriormente".
- Sugerencias de mejora:** Las docentes recomendaron "optimizar el diseño gráfico de las interfaces para adecuarlas al desarrollo cognitivo de niños de primer año, simplificando la navegación y aumentando el contraste visual".

La convergencia de evidencias mediante triangulación metodológica ha permitido integrar los hallazgos cuantitativos (mejora significativa en el aprendizaje), observacionales (incremento en atención y participación) y cualitativos (percepción docente sobre motivación y retención). Lo expuesto confirma que la intervención con el prototipo robótico generó impactos positivos tanto en el aprendizaje cuantificable como en los aspectos motivacionales y conductuales, estableciendo su potencial como herramienta educativa complementaria.



4. DISCUSIÓN

Los resultados confirman hallazgos previos sobre el potencial de la robótica educativa para fortalecer tanto los procesos motivacionales como los aprendizajes lingüísticos [8], [12]. La mejora significativa en el dominio de vocabulario ($p < 0.05$), respaldada por un tamaño del efecto moderado ($d = 0.40$), este valor es consistente con estudios previos en robótica educativa que reportan tamaños de efecto similares en intervenciones de corta duración [20], [21]. Además, coincide con lo documentado por Alemi et al. [8] en contextos de educación primaria con robots humanoides. También se debe mencionar que, los intervalos de confianza obtenidos (0.14; 2.90) confirman que el efecto positivo del prototipo en el aprendizaje no se debe al azar. Desde una perspectiva teórica, estos resultados pueden explicarse mediante la Teoría de la Autodeterminación [11], donde el prototipo al proporcionar retroalimentación inmediata y reconocimiento de logros satisface las necesidades psicológicas de competencia y autonomía, reforzando así la motivación intrínseca de los estudiantes.

Los elevados niveles de atención (81%) y motivación (77%) observados pueden asociarse al diseño multimodal del prototipo, que integra control remoto e interacción táctil, superando enfoques unidimensionales reportados en soluciones previas [21]. Esta dualidad de interacción promueve simultáneamente el aprendizaje kinestésico y la inmersión digital, configurando una experiencia educativa significativamente más enriquecida.

Si bien la ausencia de grupo de control limita la generalización de los resultados, la consistencia interna de los hallazgos avalada por la triangulación metodológica establece bases sólidas para futuras réplicas en condiciones experimentales más estrictas. Las observaciones docentes sobre el uso y manipulación coinciden con hallazgos previos en tecnología educativa [22], destacando la necesidad de optimizar iterativamente el diseño de interfaces para garantizar una adopción sostenida y maximizar la efectividad pedagógica a largo plazo.

5. CONCLUSIÓN

El estudio demuestra la viabilidad técnica y pedagógica del prototipo robótico desarrollado para la enseñanza de inglés en educación básica. Los resultados obtenidos sugieren que el uso del prototipo favorece el aprendizaje y la motivación en

los estudiantes, sin embargo, al tratarse de un diseño cuasi experimental sin grupo control y con muestra limitada, los hallazgos presentados deben interpretarse como indicativos y no concluyentes en tres dimensiones analizadas:

En el aprendizaje cognitivo: Se verificó una mejora estadísticamente significativa en la adquisición de vocabulario inglés ($p < 0.05$), con un tamaño de efecto moderado ($d = 0.4$) que evidencia la efectividad pedagógica de la intervención. Este hallazgo corrobora el potencial de los sistemas robóticos como herramientas complementarias para el desarrollo de competencias lingüísticas en contextos educativos formales.

En el ámbito motivacional y conductual: Los análisis sistemáticos documentaron niveles notablemente elevados de atención (81%) y motivación (77%), superando sustancialmente los observados en entornos de enseñanza tradicional. La combinación de interacción física (control remoto) y digital (interfaz táctil) creó una experiencia de aprendizaje multimodal que favoreció la participación activa y sostenida.

En la percepción docente: El análisis cualitativo identificó una valoración positiva del prototipo como recurso didáctico, destacándose su capacidad para fomentar la participación comprometida y mejorar la retención lexical mediante la integración de estímulos kinestésicos y auditivos.

Desde la perspectiva de desarrollo tecnológico, el principal aporte del estudio es un prototipo que integra de manera efectiva múltiples modalidades de interacción (robótica física, interfaz táctil y control remoto), representando una alternativa viable frente a soluciones comerciales de mayor complejidad y costo. Desde el punto de vista académico, el estudio aporta evidencia preliminar sobre la influencia positiva de los robots educativos en la adquisición de vocabulario en contextos de educación inicial ecuatoriana.

Como limitaciones principales, se identifica la ausencia de grupo control y el tamaño muestral reducido, aspectos que deberán abordarse en futuras investigaciones. Las líneas de desarrollo futuro incluyen: (1) optimización del diseño de interfaces para mejorar su uso y manipulación, (2) incremento de la autonomía energética, (3) expansión del contenido pedagógico alineado al currículo nacional, y (4) implementación de estudios



longitudinales que permitan evaluar la retención de aprendizajes a mediano plazo.

En conclusión, el prototipo robótico desarrollado representa una alternativa pedagógicamente efectiva y tecnológicamente viable para complementar la enseñanza del inglés en educación básica, ofreciendo perspectivas promisorias para su escalamiento e implementación en contextos educativos diversos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Educación, "Acuerdo Nro. MINEDUC-ME-2016-00020-A" Ministerio de Educación, Quito, 2016.
- [2] G. Dionisio, L. C. Pascual, and R. Ilustre, "Vocabulary Acquisition and Learning Strategies in Second Language Learning: A Review Paper" *International Journal of English Language Studies*, vol. 4, no. 3, pp. 58–62, 2022.
- [3] O. Adeniyi, A. Olowoyeye, and U. D. Onuoha, "The Effects of Interactive Multimedia on English Language Pronunciation Performance of Pupils in the Nigerian Primary Schools" *Research on Humanities and Social Sciences*, vol. 6, no. 9, pp. 71–78, 2016.
- [4] R. Rojas, "Effectiveness of Teacher-Made Manipulative Learning Materials in Improving the Word Recognition Skills of the Grade 2 Indigenous People Education (IPEd) Learners" *International Journal of Advanced Multidisciplinary Studies*, vol. 3, no. 6, pp. 311–324, 2023.
- [5] C. E. Arrobo Rivera, K. M. Espinosa Muñoz, P. Llivi Llumiquinga, J. L. Pereda Rodríguez, and L. A. Barba Mariño, "Importancia del idioma extranjero en el centro municipal de educación inicial 'Pequeños Exploradores' en Cantón Rumiñahui" *EFDeportes.com Revista digital*, no. 210, 2015.
- [6] M. Benitti, "Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review" *Computers & Education*, vol. 58, no. 3, pp. 978–988, 2012.
- [7] S. Woo, G. LeTendre, T. Pham-Shouse, and Y. Xiong, "The use of social robots in classrooms: A review of field-based studies" *Educational Research Review*, vol. 33, 100388, 2021.
- [8] M. Alemi, A. Meghdari, and M. Ghazisaedy, "Employing humanoid robots for teaching English language in Iranian junior high-schools", *International Journal of Humanoid Robot*, vol. 11, no. 03, 1450022, 2014.
- [9] S. Huang, "Design and development of educational robot teaching resources using artificial intelligence technology", *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 16, no. 5, pp. 116–129, 2021.
- [10] W. Yang et al., "Towards inclusiveness and sustainability of robot programming in early childhood: Child engagement, learning outcomes and teacher perception" *British Journal of Educational Technology*, vol. 53, no. 6, pp. 1486–1510, 2022.
- [11] E. Deci and R. Ryan, "Self-determination theory in psychology" *Psychological Inquiry*, vol. 11, no. 4, pp. 227–268, 2000.
- [12] W.-C. V. Wu et al., "Instructional design using an in-house built teaching assistant robot to enhance elementary school English-as-a-foreign-language learning" *Interactive Learning Environments*, vol. 23, no. 6, pp. 696–714, 2015.
- [13] P. Nugent et al., "Impact of robotics and geospatial technology interventions on youth STEM learning and attitudes" *Journal of Research on Technology in Education*, vol. 42, no. 4, pp. 391–408, 2010.
- [14] K. Wang, G. Sang, L. Huang, S. Li, and J. Guo, "The effectiveness of educational robots in improving learning outcomes: A meta-analysis" *MDPI Sustainability*, vol. 15, no. 5, 4637, 2023.
- [15] J. L. Ramírez-Sánchez and C. Landín-Juárez, "Modelo de Robótica Educativa con el Robot Darwin Mini para Desarrollar Competencias en Estudiantes de Licenciatura" *RIDE. Revista Iberoamericana de Investigación y Desarrollo*, vol. 8, p. 15, 2017.
- [16] G. Urquiza, J. Gavilanes, Á. Llerena, I. Vaca, and L. Villagómez, "Robot publicitario aplicado a la pedagogía infantil" *CIENCIA*, vol. 21, no. 1, 2019.
- [17] J. C. Avilés Díaz and M. S. Ávila García, "Diseño de juegos interactivos y multitáctiles para la enseñanza del inglés" *Ciencia y Tecnología*, vol. 4, 2018.



[18] S. Shapiro, M. Wilk. "An analysis of variance test for normality (complete samples)", *Biometrika* no. 52 (3-4): 591-611. 1965.

[19] J. Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed. New York. Lawrence Erlbaum Associates. 1988.

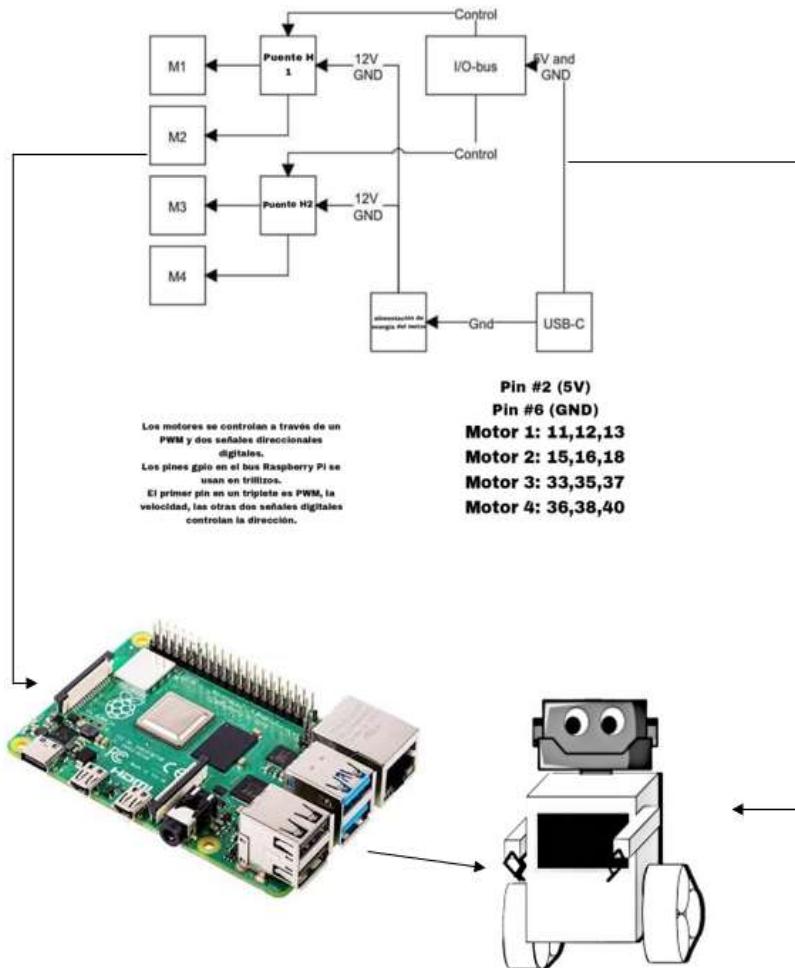
[20] V. Braun and V. Clarke, "Using thematic analysis in psychology" *Qualitative Research in Psychology*, vol. 3, no. 2, pp. 77–101, 2006.

[21] K. Tanaka, F. Takahashi, and H. Suzuki, "Design of a Dual-Mode Educational Robot for Language Learning" *IEEE Transaction of Learning Technologies*, vol. 13, no. 4, pp. 720–734, 2020.

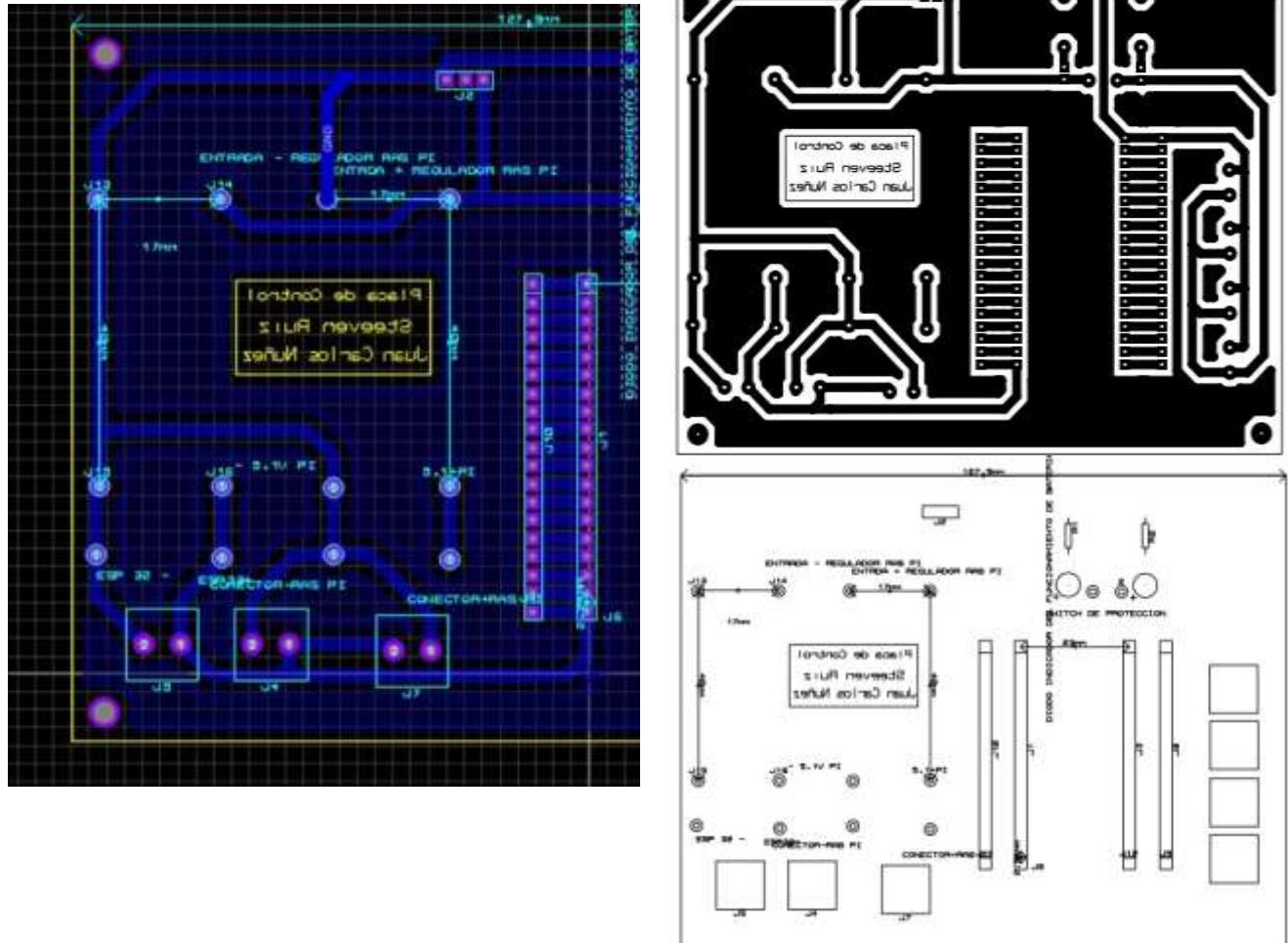
[22] R. Van den Berghe, J. Verhagen, O. Oudgenoeg-Paz, S. Van der Ven, and P. Leseman, "Social Robots for Language Learning: A Review" *Review of Educational Research.*, vol. 89, no. 2, pp. 259–295, 2019.



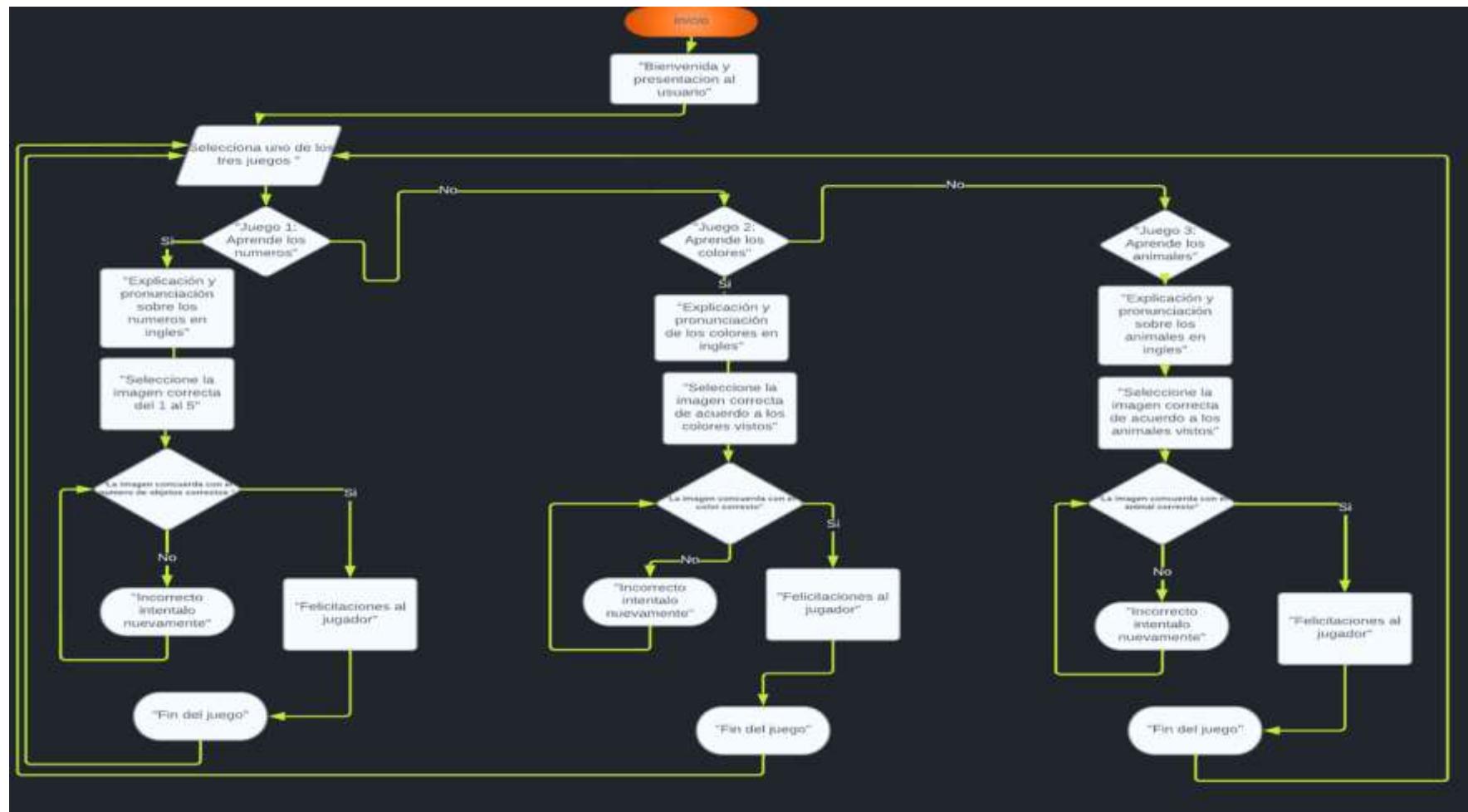
ANEXO 1: ESQUEMA DE CONEXIÓN



ANEXO 2: Placa electrónica del circuito



ANEXO 3: Flujograma juego interactivo del robot





**DIGITALIZACIÓN EN LA TRANSPARENCIA FISCAL: PRÁCTICAS DE
REPORTE Y CUMPLIMIENTO DEL IMPUESTO A LA RENTA 2024,
RIOBAMBA ECUADOR**

**DIGITALIZATION IN FISCAL TRANSPARENCY: REPORTING AND
COMPLIANCE PRACTICES OF THE 2024 INCOME TAX, RIOBAMBA
ECUADOR**

DIGITALIZACIÓN EN LA TRANSPARENCIA FISCAL: PRÁCTICAS DE REPORTE Y CUMPLIMIENTO DEL IMPUESTO A LA RENTA 2024, RIOBAMBA ECUADOR

DIGITALIZATION IN FISCAL TRANSPARENCY: REPORTING AND COMPLIANCE PRACTICES OF THE 2024 INCOME TAX, RIOBAMBA ECUADOR

RESUMEN

El estudio aborda el impacto de la digitalización en la transparencia fiscal y el cumplimiento del impuesto a la renta en Riobamba, Ecuador, en un tenor de creciente adopción de tecnologías en la gestión tributaria. El objetivo principal fue analizar cómo el uso de plataformas digitales afecta la precisión en la declaración de impuestos y la accesibilidad de la información fiscal. Se empleó una metodología mixta, enfoque cuantitativo y descriptivo, diseño no experimental y transversal, utilizando encuestas estructuradas a contribuyentes y entrevistas semiestructuradas con funcionarios del Servicio de Rentas Internas (SRI) y expertos en tributación digital. Los resultados muestran que un alto porcentaje de los contribuyentes utiliza plataformas digitales para la declaración de impuestos, y que la facturación electrónica ha reducido de forma sustancial los errores en las declaraciones fiscales. Además, se observó una mejora en la transparencia de la información fiscal, aunque aún existen desafíos relacionados con la accesibilidad y la usabilidad de las plataformas. En conclusión, la digitalización ha contribuido de manera positiva a la eficiencia y transparencia en la gestión tributaria en Riobamba, aunque se requieren mejoras en la capacitación de los contribuyentes y en la integración de sistemas para optimizar su impacto en el cumplimiento fiscal.

Palabras clave: digitalización, transparencia fiscal, cumplimiento tributario, facturación electrónica, plataformas digitales.

ABSTRACT

This study addresses the impact of digitalization on tax transparency and income tax compliance in Riobamba, Ecuador, amidst the growing adoption of technologies in tax management. The main objective was to analyze how the use of digital platforms affects the accuracy of tax filing and the accessibility of tax information. A mixed methodology was employed, with a quantitative and descriptive approach, non-experimental and cross-sectional design, utilizing structured surveys of taxpayers and semi-structured interviews with officials from the Internal Revenue Service (SRI) and digital taxation experts. The results show that a high percentage of taxpayers use digital platforms for tax filing, and that electronic invoicing has substantially reduced errors in tax returns. Furthermore, an improvement in the transparency of tax information was observed, although challenges related to the accessibility and usability of the platforms remain. In conclusion, digitalization has positively contributed to the efficiency and transparency of tax management in Riobamba, although improvements in taxpayer training and systems integration are needed to optimize its impact on tax compliance.

Keywords: *digitalization, tax transparency, tax compliance, electronic invoicing, digital platforms.*

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La digitalización en la gestión tributaria ha experimentado un progreso significativo en las últimas décadas, transformando los procesos administrativos fiscales y fomentando una mayor transparencia fiscal. Desde principios del siglo XXI, la incorporación de tecnologías ha permitido una mayor eficiencia en la recaudación de impuestos y ha promovido una mayor equidad en el sistema tributario. Según [1] la digitalización de la administración tributaria ha sido un proceso gradual que comenzó con la automatización de las operaciones fiscales, pero que ha cobrado una relevancia fundamental en años recientes con la implementación de plataformas en línea, la facturación electrónica y el uso de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA) y el big data.

Una de las áreas clave en la evolución de la digitalización tributaria ha sido la implementación de la facturación electrónica y la creación de plataformas digitales para la declaración y pago de impuestos. Países como México, Brasil y Colombia han liderado la adopción de estas tecnologías, permitiendo no solo la automatización de procesos fiscales, sino también el incremento en la transparencia fiscal. De acuerdo con un informe de la [2] la facturación electrónica ha demostrado ser una herramienta eficaz para reducir la evasión fiscal, al permitir un seguimiento más preciso de las transacciones comerciales. Además, plataformas como el Sistema de Administración Tributaria (SAT) en México han mejorado la precisión de las declaraciones y el cumplimiento de los plazos establecidos.

La digitalización no solo mejora la eficiencia de los procesos tributarios, sino que también promueve una mayor confianza pública en la gestión fiscal, reduciendo los márgenes para el fraude y aumentando la transparencia fiscal. Como afirman [3], la digitalización ha permitido una mayor accesibilidad a la información tributaria, lo que mejora la relación entre los contribuyentes y las autoridades fiscales, fomentando un sistema más justo y equitativo.

Las prácticas de reporte y cumplimiento del Impuesto a la Renta, hace referencia a la forma en que los contribuyentes reportan sus ingresos, deducciones y el monto a pagar en relación con el

impuesto a la renta, así como su adherencia a los plazos establecidos por la normativa fiscal. Las prácticas de reporte incluyen la precisión en la declaración de los impuestos, la puntualidad en el cumplimiento de las fechas límite para la presentación de las declaraciones, y la correcta utilización de las herramientas digitales disponibles para este proceso [4]. El cumplimiento tributario, por otro lado, refleja el grado en el cual los contribuyentes efectúan sus pagos de impuestos de acuerdo con las leyes fiscales del país, sin incurrir en evasión o errores [6]. Un cumplimiento adecuado no solo implica la correcta declaración de los impuestos, sino también la reducción de errores en los reportes, el uso de plataformas digitales que minimicen inconsistencias y la optimización de los procesos fiscales mediante el acceso a información clara y actualizada. Este comportamiento, influenciado por la digitalización, es fundamental para asegurar una gestión tributaria efectiva y una transparencia fiscal, contribuyendo a la equidad y sostenibilidad del sistema fiscal en el país [7].

En Ecuador, de manera específica en la ciudad de Riobamba, la digitalización de los procesos fiscales ha comenzado a jugar un papel crucial en la mejora de las prácticas de reporte y cumplimiento del Impuesto a la Renta. En este contenido el Servicio de Rentas Internas (SRI) ha implementado diversas plataformas digitales que facilitan la presentación de declaraciones y el pago de impuestos, buscando simplificar la gestión tributaria tanto para personas naturales como jurídicas [8]. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, estudios recientes han señalado que en ciudades fuera de los principales centros urbanos, como Riobamba, persisten desafíos relacionados con la accesibilidad a internet y la capacitación digital de los contribuyentes [8]. En este sentido, algunos autores sugieren que la digitalización aún no ha logrado una inclusión total en ciertos sectores de la población, lo que podría generar desigualdades en el cumplimiento tributario [10]. A nivel local, se ha evidenciado que la adopción de facturación electrónica y otras herramientas digitales, aunque en aumento, aún enfrenta resistencia entre los contribuyentes de menor capacidad económica o tecnológica, lo cual afecta la transparencia fiscal y el cumplimiento efectivo de las obligaciones tributarias [11]. Este escenario resalta la importancia de abordar la digitalización de manera integral y adaptada a las características de cada región, como Riobamba, para garantizar una gestión tributaria más inclusiva y eficiente.

Diversos estudios han analizado el impacto de la digitalización en la gestión tributaria y la transparencia fiscal. [12] en su *investigación "Costo-beneficio del uso de la facturación electrónica en los contribuyentes de la ciudad de Riobamba, período 2020-2022"*, evaluó cómo la implementación de la facturación electrónica ha influido en la reducción de costos y en la eficiencia de las operaciones comerciales. Sus hallazgos indican que esta herramienta optimiza procesos, minimiza errores y mejora la transparencia en las transacciones. Por otro lado, [13] en su estudio *"Optimización fiscal a través de la digitalización para el cumplimiento tributario en Ecuador"*, analizaron la modernización de la infraestructura tributaria y su impacto en la eficiencia recaudatoria. Destacan que la digitalización mejora la interacción entre el fisco y los contribuyentes, facilitando la gestión de datos fiscales y contribuyendo a una recaudación más efectiva. Ambos estudios refuerzan la relevancia de la digitalización en la gestión tributaria, evidenciando sus beneficios tanto en la optimización de procesos como en la transparencia fiscal.

La recaudación del impuesto a la renta es fundamental para el financiamiento de los servicios públicos y el desarrollo económico de un país. Contribuye a la redistribución de la riqueza y permite al gobierno invertir en infraestructura, salud, educación y programas sociales. Además, una correcta recaudación fiscal fomenta la equidad y la justicia social, promoviendo un sistema económico más inclusivo. Su adecuada gestión es crucial para la estabilidad fiscal y el progreso de la nación [4].

El de porcentaje de variación en la recaudación tributaria entre los años 2023 y 2024 permite identificar tendencias relevantes en el comportamiento fiscal del país. El Impuesto al Valor Agregado (IVA) presenta el mayor incremento relativo con un 48,78 %, lo cual puede interpretarse como un indicio de reactivación económica, aumento en el consumo interno o una mejora en los mecanismos de control y fiscalización del Servicio de Rentas Internas. El Impuesto a la Renta también refleja un alza significativa del 30,27 %, se considera atribuible a un mayor nivel de ingresos personales y corporativos, así como a una mayor formalización de la economía. Por otro lado, el Impuesto a los Consumos Especiales (ICE) es el único que experimenta una disminución, con una variación negativa del -2,65 %, lo cual podría deberse a una reducción en la demanda de productos gravados

como tabaco, alcohol o bebidas azucaradas, o incluso a cambios normativos que reduzcan su base impositiva. El Impuesto a la Salida de Divisas (ISD) y el rubro de "Otros" muestran incrementos del 6,78 % y 16,81 %, lo que podría estar relacionado con la evolución del comercio exterior y la diversificación de fuentes de ingresos fiscales. En conjunto, estas variaciones porcentuales reflejan una tendencia positiva en la recaudación, que podría estar motivada tanto por una recuperación económica como por un fortalecimiento de la administración tributaria [5], como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Recaudación 2024 vs 2023

Impuesto	Ene-Dic 2023	Ene-Dic 2024	diferencia en \$	Porcentaje variación
RENTA	5818	6639	821	30,27
IVA	8444	9767	1323	48,78
ICE	827	755	-72	-2,65
ISD	1088	1272	184	6,78
OTROS	1243	1699	456	16,81
	17420	20132	2712	100,00%

Para el año 2024 en relación al año anterior el total general en millones de dólares tenemos en diversos impuestos, como se observa en la Fig.1

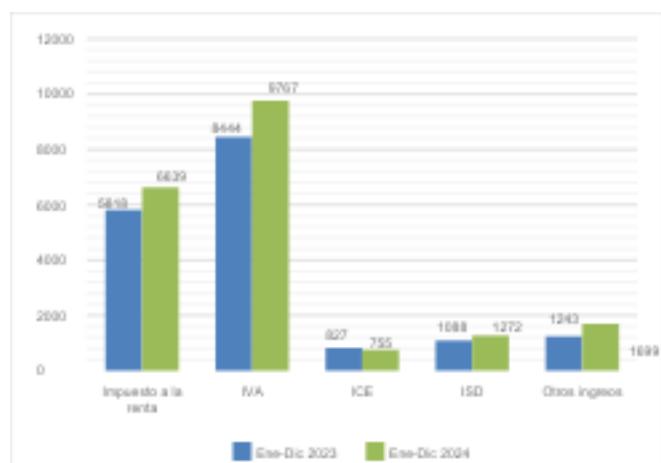


Fig. 1: Variación principales impuestos

En lo que respecta a los rubros por impuesto a la renta, como se observa en la Fig.2.



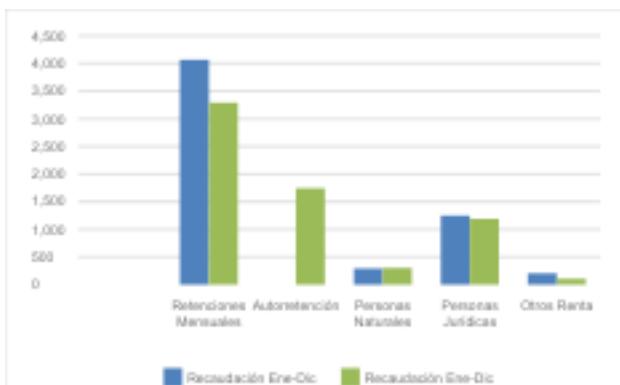


Fig. 2: Rubros impuestos a la renta

El motivo principal de esta investigación radica en la creciente necesidad de evaluar cómo la digitalización en la gestión tributaria puede influir en la transparencia fiscal y en las prácticas de reporte y cumplimiento del Impuesto a la Renta en Ecuador, de marea específica en la ciudad de Riobamba. En un tenor donde las autoridades fiscales han implementado plataformas digitales y mecanismos como la facturación electrónica para mejorar la eficiencia del sistema tributario, persisten desafíos significativos en términos de accesibilidad, capacitación y adaptación de los contribuyentes a estas tecnologías, de manera particular en áreas fuera de los grandes centros urbanos. Este estudio busca abordar la brecha digital que afecta el cumplimiento de las obligaciones fiscales y, a su vez, contribuir a la discusión sobre cómo las herramientas digitales pueden optimizar los procesos tributarios y reducir la evasión fiscal. A través de esta investigación, se pretende resolver el problema relacionado con el bajo nivel de adopción tecnológica y la desigualdad en el acceso a los recursos digitales entre los contribuyentes de Riobamba, con el fin de promover una mayor eficacia en el cumplimiento tributario y una mayor transparencia fiscal.

El objetivo general de esta investigación fue analizar el impacto de la digitalización en la transparencia fiscal y el cumplimiento del impuesto a la renta en Riobamba, identificando los beneficios y desafíos que enfrentan los contribuyentes en la adopción de herramientas digitales. Para ello, se plantearon objetivos específicos como evaluar el nivel de uso de plataformas digitales en la gestión tributaria, determinar la relación entre la digitalización y la reducción de errores en las declaraciones fiscales, y examinar la percepción de los contribuyentes sobre

la efectividad de las herramientas digitales en la transparencia fiscal. En esta trama, la pregunta de investigación que guió el estudio fue: ¿De qué manera la digitalización influye en la transparencia fiscal y el cumplimiento del impuesto a la renta en Riobamba?

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

Para el desarrollo de esta investigación, se adoptó un enfoque cuantitativo y descriptivo, con el objetivo de analizar cómo la digitalización en la gestión tributaria afectó las prácticas de reporte y cumplimiento del Impuesto a la Renta en la ciudad de Riobamba, Ecuador. Este enfoque permitió obtener datos numéricos sobre la adopción de tecnologías fiscales y su relación con el comportamiento de los contribuyentes respecto al cumplimiento tributario.

El diseño de la investigación fue no experimental y transversal, ya que se realizó una observación y análisis de las prácticas actuales sin manipular las variables. Se llevó a cabo un estudio descriptivo, recopilando información sobre los procesos de digitalización y su impacto en la transparencia fiscal y el cumplimiento tributario, con un enfoque particular en el Impuesto a la Renta. Además, se utilizó un diseño correlacional para determinar si existía una relación entre el uso de plataformas digitales y la mejora en las prácticas de reporte y cumplimiento fiscal.

La población objetivo estuvo compuesta por contribuyentes (personas naturales y jurídicas) registrados ante el Servicio de Rentas Internas (SRI) en la ciudad de Riobamba, que habían utilizado las plataformas digitales del SRI, incluyendo la facturación electrónica y el sistema de declaración en línea. Se seleccionó una muestra por conveniencia de 50 contribuyentes que interactuaron con las plataformas digitales en el último año, utilizando un muestreo estratificado para garantizar la representación de diferentes tipos de contribuyentes, como pequeñas empresas, trabajadores independientes y grandes corporaciones.

Los instrumentos en la recolección de datos se llevaron a cabo mediante encuestas estructuradas y entrevistas semiestructuradas. Las encuestas, diseñadas con preguntas cerradas, permitieron recopilar información sobre la adopción de plataformas digitales, el uso de herramientas fiscales electrónicas y el cumplimiento tributario por parte de

los contribuyentes seleccionados en la muestra. Por otro lado, las entrevistas semiestructuradas se realizaron con funcionarios del SRI y expertos en tributación digital, con el propósito de obtener una visión cualitativa sobre la implementación de la digitalización en Riobamba, las barreras enfrentadas por los contribuyentes y su impacto en la transparencia fiscal.

3. RESULTADOS

Antes de presentar los resultados, es importante destacar que la digitalización ha transformado de manera significativa la gestión tributaria en Ecuador, con énfasis en ciudades como Riobamba. La implementación de plataformas digitales para la declaración de impuestos, el uso de la facturación electrónica y la automatización de procesos fiscales han generado un impacto en la transparencia y el cumplimiento tributario. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la accesibilidad, la facilidad de uso de las herramientas digitales y la percepción de los contribuyentes sobre su efectividad. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la encuesta realizada por fases los cuales reflejan la experiencia de los contribuyentes con la digitalización fiscal y su influencia en la declaración y pago del Impuesto a la Renta.

Tipo de contribuyente

En la encuesta participaron 50 contribuyentes de Riobamba, Ecuador, se realizaron dos preguntas como datos generales, primero tipo de contribuyente, la mayoría de los encuestados pertenecen a la categoría de persona natural obligada a llevar contabilidad (56%), seguida por pequeñas y medianas empresas (32%). En contraste, la participación de microempresas fue del 2% y no se registró ninguna gran empresa, como se muestra en Tabla 2.

Tabla 2. Tipo de Contribuyente

OPCION	VARI ABLE	PORCEN TAJE
Persona natural	5	10
Persona natural obligada a llevar contabilidad	28	56
Microempresa	1	2
Pequeña o medianas empresa	16	32
Gran empresa	0	0
TOTAL	50	100%

Con respecto al tipo de contribuyente revela que la mayoría de los encuestados pertenecen al segmento de personas naturales obligadas a llevar contabilidad, representando un 56 % del total. Este grupo está conformado por contribuyentes con ingresos regulares o actividades económicas formales, lo que implica una mayor carga administrativa y un uso más frecuente de los servicios digitales del Servicio de Rentas Internas (SRI). Su presencia mayoritaria en la muestra es relevante, ya que sus opiniones reflejan la experiencia de usuarios que interactúan de forma constante con las plataformas tributarias.

En segundo lugar, un 32 % corresponde a pequeñas o medianas empresas (PYMES), sector que juega un papel fundamental en la economía del país. Las PYMES, aunque con estructuras administrativas más limitadas que las grandes empresas, también requieren herramientas tributarias claras, eficientes e integradas con sus sistemas contables, lo que hace de este grupo un referente importante para medir la funcionalidad de los servicios en línea.

Las personas naturales no obligadas a llevar contabilidad representan el 10 % de los encuestados, lo que sugiere una participación más ocasional o limitada en los procesos tributarios, es probable que con declaraciones simplificadas. Solo un 2 % corresponde a microempresas, y no se registra participación de grandes empresas en la muestra. Esta ausencia puede indicar una concentración del estudio en actores con menor escala económica, cuya experiencia con el sistema tributario suele estar mediada por recursos digitales básicos y requerimientos más accesibles. En conjunto, los datos permiten interpretar que la muestra está centrada en contribuyentes que, aunque no representan a las grandes corporaciones, enfrentan desafíos significativos en la gestión de sus obligaciones tributarias y son usuarios clave de las plataformas digitales del SRI.



Respecto al tiempo que llevan declarando el Impuesto a la Renta, la mayoría (54%) tiene entre 4 y 6 años de experiencia tributaria, mientras que 22% lleva entre 1 y 3 años, 18% más de 6 años, y un 6% menos de 1 año.

Uso de plataformas digitales en la gestión tributaria

Un 70% de los encuestados manifestó que siempre utiliza plataformas digitales para la declaración y pago de impuestos, mientras que un 14% lo hace en ciertos casos. No obstante, aún existe un 10% que desconoce estas herramientas y un 6% que prefiere realizar sus trámites de manera presencial.

En cuanto a la facturación electrónica, un 90% de los contribuyentes señaló que la utiliza de manera constante, mientras que el 10% lo hace de forma puntual. Ningún encuestado indicó de manera ocasional o nunca utilizar este servicio.

Sobre la usabilidad de las plataformas digitales del SRI, el 58% de los encuestados considera que son algo fáciles de usar, mientras que un 8% las califica como muy fáciles. Sin embargo, un 24% las encuentra difíciles y un 10% las considera muy difíciles, lo que indica que aún existen desafíos en términos de accesibilidad y facilidad de uso.

Transparencia y acceso a la información tributaria para los contribuyentes

Al analizar los resultados de la encuesta sobre ¿Cree que la digitalización ha mejorado la transparencia en la información fiscal disponible para los contribuyentes? se observa que el 28 % de los encuestados considera que la digitalización ha mejorado de manera sustancial la transparencia en la información fiscal, lo cual evidencia una percepción positiva respecto al acceso y claridad de los datos tributarios en medios digitales. No obstante, la mayoría, un 48 %, manifiesta que si bien existen avances, aún persisten deficiencias, lo que sugiere que el proceso de modernización tecnológica no ha logrado resolver por completo los vacíos de comprensión, actualización o usabilidad en los portales fiscales. Por otro lado, un 20 % indica que no ha habido un cambio sustancial, lo que podría asociarse con una falta de capacitación o comunicación efectiva por parte de las autoridades tributarias. Por último, un 4 % sostiene que continúa habiendo falta de transparencia, lo cual alerta sobre la necesidad de fortalecer mecanismos de

fiscalización abiertos, accesibles y comprensibles. En conjunto, los datos reflejan un avance importante, pero también evidencian que la percepción de los contribuyentes aún demanda mejoras estructurales en los sistemas digitales fiscales para lograr una verdadera transparencia., como se observa en la Fig.3.

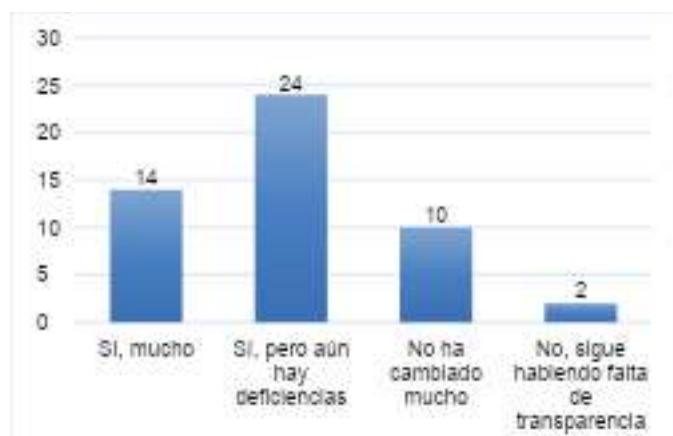


Fig. 3: Transparencia y acceso a la información tributaria

Normativas y procedimientos tributarios en línea

En relación con la consulta de normativas y procedimientos tributarios en línea, los resultados reflejan un bajo nivel de interacción constante por parte de los contribuyentes con los canales digitales informativos. Un 42 % de los encuestados manifestó que realiza estas consultas de manera esporádica, lo cual sugiere una utilización limitada de los recursos digitales puestos a disposición por la administración tributaria. Asimismo, un 36 % señaló que accede con poca frecuencia a esta información, lo que indica cierto interés, aunque sin una práctica regular. Solo un 14 % afirmó revisar con frecuencia dichas normativas, lo que representa un segmento reducido con hábitos consolidados de actualización fiscal. Por otro lado, un 8 % nunca consulta estos contenidos, revelando posibles barreras como la falta de conocimiento sobre las plataformas, escasa alfabetización digital o desconfianza en los sistemas electrónicos. Este comportamiento evidencia la necesidad de fortalecer estrategias de difusión, capacitación y simplificación de la información tributaria, con el fin de promover una cultura fiscal más proactiva y accesible en el entorno digital..

Cumplimiento y precisión en la declaración tributaria

Revela una percepción con predominio positivo respecto al impacto de las herramientas digitales implementadas por el Servicio de Rentas Internas (SRI). El 74 % de los encuestados afirmó que, gracias a estas herramientas, ha logrado reducir los errores en sus declaraciones, lo que sugiere una mejora significativa en la calidad del proceso declarativo, atribuible a funcionalidades como formularios prellenados, validaciones automáticas y guías interactivas. Este resultado también puede estar relacionado con una mayor accesibilidad a la información y la disponibilidad de asistencia virtual en tiempo real.

No obstante, un 14 % considera que el uso de herramientas digitales no ha generado un cambio sustancial, lo cual podría estar asociado a limitaciones en la apropiación tecnológica, falta de capacitación o escaso uso de los recursos disponibles. Por otra parte, un 12 % manifiesta haber cometido más errores al utilizar medios digitales, lo que pone en evidencia que, aunque los sistemas sean eficientes, su eficacia también depende del nivel de alfabetización digital del usuario y del grado de personalización de la plataforma frente a distintos perfiles de contribuyentes.

En relación con las notificaciones y recordatorios enviados por el SRI, un 84 % de los encuestados señaló que los ha recibido y que han sido útiles, lo que confirma que estas alertas cumplen un rol importante como herramientas de prevención, cumplimiento oportuno y reducción de sanciones. Sin embargo, un 16 % mencionó que no siempre revisa estas comunicaciones, lo que indica que aún existe una brecha en cuanto a hábitos de seguimiento, percepción de relevancia o saturación informativa. Es relevante destacar que ningún encuestado indicó no haber recibido notificaciones o no tener acceso a estas, lo cual muestra una cobertura digital efectiva, aunque con oportunidades de mejora en cuanto a la interacción y aprovechamiento del sistema.

Percepción del impacto de la digitalización en el cumplimiento tributario

En cuanto a la pregunta ¿Cree que la digitalización ha contribuido a reducir la evasión fiscal en Riobamba?, refleja una opinión fragmentada entre los encuestados, lo que sugiere que, si bien se

reconocen ciertos avances, aún existen desafíos importantes por superar en la lucha contra la evasión fiscal. Solo un 8 % de los participantes considera que la digitalización ha contribuido de manera significativa a reducir la evasión, lo cual evidencia que los esfuerzos tecnológicos implementados por el Servicio de Rentas Internas (SRI) aún no son percibidos en su totalidad efectivos por la mayoría de los contribuyentes.

El 42 % opina que la digitalización sí ha ayudado, pero aclara que la evasión aún persiste. Esta respuesta, que representa la mayor proporción, indica que aunque las herramientas digitales han facilitado el control y la trazabilidad de las operaciones tributarias, todavía existen vacíos normativos, debilidades institucionales o prácticas informales que permiten la elusión de obligaciones fiscales. Este grupo de encuestados reconoce un progreso parcial, pero también advierte sobre la necesidad de un fortalecimiento adicional en los mecanismos de fiscalización, interoperabilidad de sistemas y acceso a datos en tiempo real.

Por otra parte, un 38 % considera que la digitalización no ha tenido mucho impacto, lo que sugiere una percepción de ineficacia de las herramientas actuales o una escasa visibilidad de los resultados de las acciones digitales por parte de la administración tributaria. Por último, un 12 % sostiene que la evasión sigue igual, lo que refleja una visión crítica sobre la efectividad de las políticas fiscales tecnológicas y una posible desconfianza en el sistema institucional.

En conjunto, estos datos muestran que aunque la digitalización ha sido una estrategia relevante para mejorar el cumplimiento tributario, su impacto todavía es percibido como limitado. Para lograr una reducción real y sostenible de la evasión, es necesario complementar la tecnología con acciones de educación fiscal, fortalecimiento institucional, sanciones efectivas y políticas que incentiven la formalización, como se observa en la Fig.4.



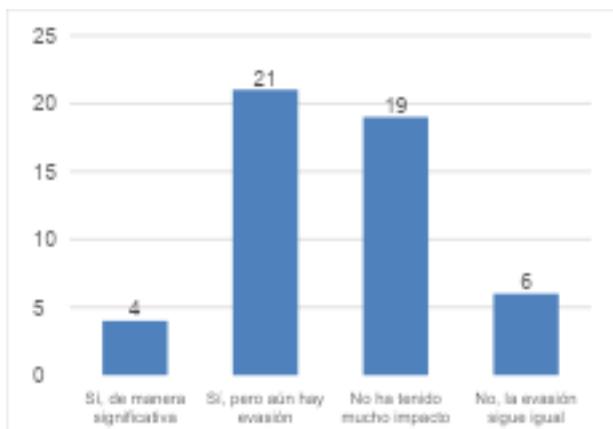


Fig. 4: Contribución de la digitalización en la reducción de la evasión fiscal en Riobamba

Mejoras necesarias en las plataformas digitales del SRI

El análisis de las respuestas respecto a las mejoras necesarias en las plataformas digitales del Servicio de Rentas Internas (SRI) revela una demanda clara por parte de los contribuyentes en cuanto al fortalecimiento de los servicios de apoyo y orientación digital. El 50 % de los encuestados señaló como prioridad la mayor disponibilidad de asistencia y capacitación en línea, lo cual refleja una percepción generalizada de que las herramientas actuales, aunque útiles, requieren de acompañamiento técnico para su uso efectivo. Esta necesidad puede interpretarse como una consecuencia de la complejidad normativa y operativa del sistema tributario, que exige al usuario no solo acceso a la plataforma, sino también una comprensión adecuada de su funcionamiento.

Asimismo, un 20 % de los encuestados indicó que es fundamental mejorar la facilidad de uso y la interfaz, lo que evidencia problemas de usabilidad y diseño que dificultan una navegación eficiente, con especial énfasis para contribuyentes con menor experiencia digital. En tercer lugar, con un 18 %, se plantea la necesidad de implementar recordatorios automáticos sobre vencimientos y obligaciones, lo que sugiere que una mayor automatización de notificaciones podría mejorar el cumplimiento tributario y reducir sanciones por omisión involuntaria.

Otras sugerencias, aunque menos frecuentes, también son relevantes: el 8 % solicitó mayor

seguridad y protección de datos, lo que pone en evidencia la creciente preocupación por la privacidad y la integridad de la información fiscal; y un 4 % destacó la importancia de una mejor integración con sistemas contables y bancarios, lo cual podría facilitar los procesos de declaración, conciliación y pago. Es significativo que ningún encuestado consideró que las plataformas actuales sean por completo adecuadas, lo que confirma la percepción de que aún existen importantes brechas funcionales y operativas. En conjunto, los datos reflejan la necesidad urgente de optimizar el entorno digital tributario, no solo desde el punto de vista técnico, sino también formativo y comunicacional.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la digitalización ha tenido un impacto significativo en la gestión tributaria y la transparencia fiscal en Riobamba, Ecuador. Se observa que un alto porcentaje de los contribuyentes (70%) utiliza plataformas digitales para la declaración y pago de impuestos, lo que confirma una tendencia hacia la modernización de los procesos fiscales. Asimismo, el 90% de los encuestados reporta el uso constante de la facturación electrónica, lo que respalda los hallazgos de [12] quienes señalaron que esta herramienta contribuye a la reducción de costos, minimización de errores y mayor eficiencia en la gestión comercial y tributaria.

En términos de accesibilidad y facilidad de uso, el 66% de los contribuyentes considera que las plataformas digitales del Servicio de Rentas Internas (SRI) son "muy fáciles" o "algo fáciles" de utilizar, aunque un 34% aún las percibe como difíciles, lo que sugiere la necesidad de mejoras en la interfaz y usabilidad. Esta percepción se relaciona con los resultados de [13], quienes enfatizan que la modernización tributaria debe ir acompañada de estrategias que garanticen una mayor interacción entre el fisco y los contribuyentes, facilitando su uso y comprensión.

La transparencia fiscal también muestra avances, ya que el 76% de los encuestados considera que la digitalización ha mejorado el acceso a la información tributaria, aunque un 20% cree que los cambios no han sido sustanciales. Estos resultados refuerzan la idea de que, si bien la digitalización ha optimizado la disponibilidad de normativas y procedimientos fiscales en línea, aún persisten áreas de mejora para

garantizar una mayor confianza y acceso equitativo a la información tributaria.

En cuanto al cumplimiento tributario, el 74% de los contribuyentes encuestados afirma que el uso de herramientas digitales ha reducido errores en sus declaraciones, lo que concuerda con la investigación de [12], donde se destaca que la digitalización permite minimizar inconsistencias y mejorar la precisión de los reportes fiscales. Además, el 84% de los encuestados ha recibido notificaciones digitales del SRI sobre vencimientos de impuestos, lo que evidencia el papel de la tecnología en la optimización del control tributario.

Por último, sobre la percepción del impacto de la digitalización en la reducción de la evasión fiscal, el 50% de los encuestados cree que ha contribuido a disminuirla, aunque el 38% considera que su impacto aún es limitado. Esto sugiere que, si bien la digitalización ha fortalecido los mecanismos de control, aún se requieren estrategias complementarias para garantizar un mayor cumplimiento tributario y transparencia fiscal.

En conclusión, los hallazgos de esta investigación coinciden con estudios previos en que la digitalización representa un avance significativo en la gestión tributaria, optimizando procesos y mejorando la transparencia. Sin embargo, también se identifican desafíos en la accesibilidad y en la percepción de su impacto en la evasión fiscal, lo que resalta la necesidad de continuar fortaleciendo la infraestructura digital y las estrategias de educación fiscal para maximizar sus beneficios.

5. CONCLUSIÓN

La investigación sobre la digitalización en la gestión tributaria y el cumplimiento del Impuesto a la Renta en Riobamba ha revelado importantes hallazgos sobre el impacto de las plataformas digitales en la mejora de los procesos fiscales. Uno de los principales resultados es la alta adopción de las plataformas digitales para la declaración y pago de impuestos, con un 70% de los contribuyentes utilizando estas herramientas. Este dato resalta la tendencia hacia la modernización de la administración tributaria, lo que contribuye a una mayor eficiencia y transparencia en el sistema fiscal, alineándose con las conclusiones de estudios previos en Ecuador.

Además, el uso generalizado de la facturación electrónica (90%) muestra que esta herramienta ha tenido un impacto positivo en la optimización de los procesos comerciales, reduciendo errores y mejorando la transparencia en las transacciones. Este hallazgo coincide con los resultados de la investigación de [12], quien también destaca la importancia de la facturación electrónica en la mejora de la eficiencia y la transparencia tributaria.

En cuanto a la facilidad de uso de las plataformas digitales del SRI, aunque la mayoría de los contribuyentes considera que las herramientas son fáciles de utilizar, un porcentaje significativo aún encuentra dificultades. Esto indica que, aunque la digitalización ha facilitado muchos procesos, persisten barreras relacionadas con la accesibilidad y la comprensión de las plataformas. Estos resultados sugieren que es necesario realizar mejoras en la interfaz y la usabilidad para asegurar que todos los contribuyentes puedan aprovechar las herramientas digitales.

Otro hallazgo relevante es la mejora percibida en la transparencia fiscal, ya que el 76% de los encuestados considera que la digitalización ha incrementado la disponibilidad de información tributaria. No obstante, algunos participantes todavía perciben deficiencias, lo que subraya la necesidad de seguir trabajando en la accesibilidad y la claridad de la información disponible para los contribuyentes.

El uso de herramientas digitales también ha tenido un impacto positivo en la precisión de las declaraciones fiscales, con un 74% de los encuestados afirmando que han cometido menos errores desde que comenzaron a utilizar estas herramientas. Además, el 84% ha recibido notificaciones digitales sobre los vencimientos fiscales, lo que contribuye al cumplimiento oportuno y preciso de las obligaciones tributarias. Estos resultados refuerzan la importancia de la tecnología para mejorar el cumplimiento y la eficiencia en la gestión tributaria.

Por último, aunque la mayoría de los encuestados reconoce que la digitalización ha contribuido a reducir la evasión fiscal, el impacto percibido en la lucha contra la evasión sigue siendo limitado. Esto sugiere que, a pesar de los avances en la digitalización, aún se requieren medidas adicionales para combatir de manera más efectiva la evasión fiscal en Riobamba. En general, la digitalización ha



mostrado beneficios sustanciales en la gestión tributaria, pero se necesita continuar perfeccionando las herramientas y políticas para maximizar su impacto.

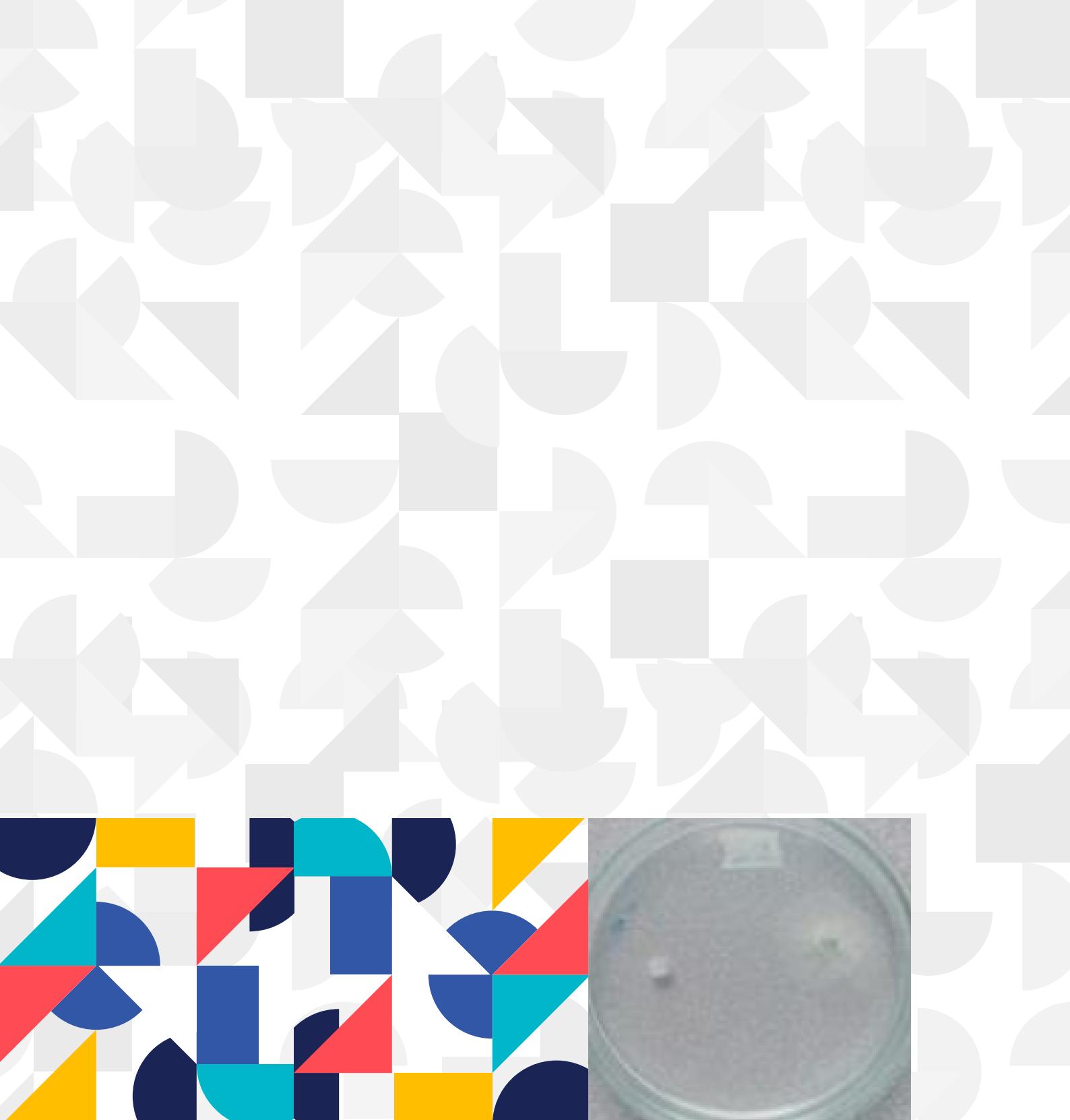
6. AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todas las personas e instituciones que contribuyeron al desarrollo de esta investigación. En particular, expresamos nuestra gratitud a los contribuyentes que participaron en las encuestas y entrevistas, proporcionando información valiosa para el análisis. Asimismo, agradecemos a los funcionarios del Servicio de Rentas Internas (SRI) y a los expertos en tributación digital por compartir su conocimiento y experiencia. Su colaboración fue fundamental para comprender el impacto de la digitalización en la transparencia fiscal. Reconocemos el apoyo de la comunidad académica y de nuestras familias, cuyo respaldo fue esencial en todo el proceso.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] García, M. (2021). La transformación digital de la administración tributaria: Oportunidades y retos en América Latina. *Revista Latinoamericana de Derecho Fiscal*, 34(2), 45-63.
- [2] OCDE. (2020). Digitalización y administración tributaria: Efectividad de la facturación electrónica en la reducción de la evasión fiscal. Recuperado de <https://www.oecd.org>.
- [3] Rodríguez, M., & Pérez, J. (2021). La digitalización en la administración tributaria: Avances en la transparencia fiscal. *Journal of Tax Administration*, 15(1), 11-24.
- [4] Fernández, A., & López, M. (2021). Prácticas de reporte y cumplimiento del Impuesto a la Renta: Análisis y perspectivas.
- [5] Figueroa, J. A., & Cárdenas, L. M. (2022). Política fiscal y comportamiento tributario en América Latina: una mirada comparativa. *Revista de Economía Pública y Política Fiscal*, 18(2), 95–114. <https://doi.org/10.32719/25506641.2022.18.2.6>
- [6] Sánchez, M., & Pérez, A. (2020). Estrategias digitales para mejorar el cumplimiento tributario y la transparencia fiscal en economías emergentes. *International Journal of Taxation*, 18(4), 120-135.
- [7] Mendoza, R. (2022). Cumplimiento tributario en la era digital: Un análisis de la eficiencia de los sistemas electrónicos de reporte fiscal. *Journal of Tax Compliance*, 15(2), 45-59.
- [8] Rodríguez, C. (2021). La evolución del sistema tributario electrónico en Ecuador: Impacto en la eficiencia y cumplimiento del Impuesto a la Renta. *Journal of Taxation in Ecuador*, 14(2), 78-92.
- [9] Vásquez, M., & Fernández, J. (2022). Accesibilidad y uso de plataformas digitales en zonas rurales de Ecuador: Un estudio de caso en Riobamba. *Journal of Public Policy and Technology*, 7(1), 12-27
- [10] Gutiérrez, F., & López, A. (2021). Desafíos y oportunidades de la digitalización tributaria en regiones fuera de los centros urbanos en Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Derecho Tributario*, 19(3), 56-72.
- [11] Salazar, L. (2020). Facturación electrónica y su impacto en el cumplimiento tributario en provincias ecuatorianas: El caso de Riobamba. *Revista de Investigación Fiscal*, 21(1), 34-47.
- [12] López, A., Chacha, C., Arias, I., & Negrete, O. (2022). Costo-beneficio del uso de la facturación electrónica en los contribuyentes de la ciudad de Riobamba, período 2020-2022
- [13] Cedeño, P., García, L., & Pérez, S. (2021). Optimización fiscal a través de la digitalización para el cumplimiento tributario en Ecuador





EFEITO ANTAGÓNICO IN VITRO DE UNA CEPA NATIVA DE TRICHODERMA FRENTE AL PATÓGENO SCLEROTIUM CEPIVORUM

**IN VITRO ANTAGONISTIC EFFECT OF A NATIVE STRAIN OF
TRICHODERMA AGAINST THE PATHOGEN SCLEROTIUM CEPIVORUM**

EFECTO ANTAGÓNICO IN VITRO DE UNA CEPA NATIVA DE TRICHODERMA FRENTE AL PATÓGENO SCLEROTIUM CEPIVORUM

IN VITRO ANTAGONISTIC EFFECT OF A NATIVE STRAIN OF TRICHODERMA AGAINST THE PATHOGEN SCLEROTIUM CEPIVORUM

Carlos Vinicio Alencastro Pavon¹,
Francisco José Prado Guevara²,
Timoteo Ronaldo Pillajo Rivera³,
Riky Valentino Cuamacas⁴,

¹ Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, email: calencastrop@comunidad.uiix.edu.mx

² Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, email: francisjose.pg@istah.edu.ec

³ Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, email: timoty233@istah.edu.ec

⁴ Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, email: rcriky75@istah.edu.ec

RESUMEN

El hongo *Sclerotium cepivorum* Berk. es el agente causal de la pudrición blanca de la cebolla (*Allium cepa* L.), considerada una de las principales limitantes fitosanitarias del cultivo. El objetivo del presente estudio fue evaluar *in vitro* el efecto antagónico de una cepa nativa de *Trichoderma* frente a *S. cepivorum*. La cepa de *Trichoderma* fue aislada mediante trampas de arroz y mostró un crecimiento rápido en medio PDA, con micelio denso y algodonoso que cambió de blanco a verde al madurar. Por su parte, *S. cepivorum* se aisló de bulbos de cebolla con síntomas de pudrición, observándose micelio blanco algodonoso y esclerocios que evolucionaron de masas blancas a estructuras oscuras. La evaluación *in vitro* se realizó mediante confrontación dual en medio PDA, bajo un diseño completamente al azar con dos tratamientos (control y confrontación) y cinco repeticiones. Se aplicó una prueba *t* para muestras independientes ($p < 0.0001$) que evidenció una diferencia significativa entre tratamientos. A las 168 horas de incubación, el crecimiento radial promedio del patógeno en el control fue de 44,9 mm, mientras que en presencia de *Trichoderma* se redujo a 27,9 mm, con un porcentaje de inhibición radial (PICR) de 37,9%. La interacción correspondió al grado 2; en la escala de Bell, donde *Trichoderma* colonizó dos terceras partes del medio y limitó significativamente al patógeno.

Palabras clave: *Trichoderma*, *Sclerotium cepivorum*, *Allium cepa*, antagonismo *in vitro*.

ABSTRACT

The fungus Sclerotium cepivorum Berk. is the causal agent of white rot in onions (*Allium cepa* L.), considered one of the main phytosanitary limitations of the crop. The objective of this study was to evaluate *in vitro* the antagonistic effect of a native *Trichoderma* strain against *S. cepivorum*. The *Trichoderma* strain was isolated using rice traps and showed rapid growth in PDA medium, with dense, cottony mycelium that changed from white to green upon maturity. *S. cepivorum* was isolated from onion bulbs with rot symptoms, observing white, cottony mycelium and sclerotia that evolved from white masses to dark structures. The *in vitro* evaluation was carried out by dual confrontation in PDA medium, under a completely randomized design with two treatments (control and confrontation) and five replicates. A *t*-test for independent samples ($p < 0.0001$) was applied, which



*showed a significant difference between treatments. After 168 hours of incubation, the average radial growth of the pathogen in the control was 44.9 mm, while in the presence of *Trichoderma* it was reduced to 28.3 mm, with a percentage of radial inhibition (PIR) of 37.9%. The interaction corresponded to grade 2 on the Bell scale, where *Trichoderma* colonized two-thirds of the medium and significantly limited the pathogen.*

Keywords: *Trichoderma, Sclerotium cepivorum, Allium cepa, antagonism in vitro*

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) es un rubro agrícola de gran importancia económica [1]; no obstante, diversos agentes patógenos comprometen tanto la productividad como la calidad del producto final. Entre las enfermedades más devastadoras se encuentra la pudrición blanca, provocada por el hongo *Sclerotium cepivorum* Berk, que puede producir la muerte de la planta principalmente en la etapa vegetativa y generar pérdidas económicas debido a la disminución del rendimiento de los bulbos. Este fitopatógeno posee la habilidad de resistir en condiciones edáficas adversas mediante la producción de estructuras de supervivencia denominadas esclerocios, las cuales le confieren capacidad de mantener su patogenicidad y facilitar su dispersión [2, 3].

En los sistemas agrícolas convencionales se emplean fungicidas sintéticos para el manejo de enfermedades fúngicas; sin embargo, la utilización desmedida de estos compuestos químicos genera impactos negativos sobre el ecosistema, la microbiota del suelo e induce la resistencia de cepas, lo cual aumenta los costos de producción [4, 5]. Por ello, la utilización de microorganismos benéficos representa una alternativa agroecológica para disminuir el crecimiento y desarrollo de fitopatógenos a través de mecanismos como la competencia por nutrientes y espacio, la generación de metabolitos antifúngicos y el micoparasitismo [6].

El género *Trichoderma* es ampliamente empleado en el sector agrícola para el control biológico frente a hongos patógenos, estos microorganismos son habitantes del suelo y rizosfera de las plantas [3, 4, 6], así también estudios previos han demostrado que varias cepas de *Trichoderma* spp., incluyendo a *T. harzianum*, *T. viride*, *T. hamatum* y *T. koningii*; son antagonistas de *S. cepivorum*, ya que actúan mediante mecanismos de antagonismo [2, 7].

En otros estudios se ha reportado la eficacia de cepas del género *Trichoderma* en la inhibición del crecimiento y desarrollo del micelio, la reducción de la formación de esclerocios y la disminución de virulencia de patógenos del suelo en condiciones de campo e *in vitro* [8], así también estos microorganismos benéficos puede inducir resistencia sistémica en las plantas y estimular el crecimiento de la planta y mediante la producción de fitohormonas y la solubilización de fosfatos, mejorando la absorción de nutrientes [3, 4, 6, 9]. Por lo tanto, la

identificación y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* son una alternativa ecológica frente a la pudrición blanca en cebolla.

A pesar de los avances y estudios encontrados sobre *Trichoderma* y *Sclerotium cepivorum*, aun existen escasas evaluaciones con cepas nativas en las zonas en andinas. Este vacío justifica la necesidad de evaluar su comportamiento en la zona norte del Ecuador.

El presente estudio se enfoca en evaluar el efecto antagonístico *in vitro* de una cepa nativa de *Trichoderma* frente a *Sclerotium cepivorum*, con la finalidad de proponer estrategias de control biológico adaptadas a las necesidades de los productores de la zona.

Por tanto, se ha establecido la siguiente hipótesis: la cepa nativa de *Trichoderma* inhibe significativamente el crecimiento radial de *Sclerotium cepivorum* *in vitro*, reduciendo su crecimiento y alcanzando un grado ≥ 2 en la escala de Bell.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El presente estudio se realizó en el cantón Espejo, provincia del Carchi en las instalaciones del Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera a 3000 msnm. La investigación fue de tipo experimental y con un enfoque cuantitativo, realizado bajo condiciones de campo y laboratorio, a continuación, se indica el proceso realizado:

Fase 1. Aislamiento e identificación morfológica de cepas de *Trichoderma*

La captura de *Trichoderma* se realizó utilizando trampas de arroz, las cuales fueron previamente esterilizadas y colocadas en el suelo a 15 cm de profundidad (Fig. 1). Las trampas se mantuvieron en condiciones ambientales durante 7 días para favorecer el desarrollo de hongos; luego, los granos colonizados se llevaron al laboratorio, y se sembraron en medio Papa Dextrosa Agar (PDA) e incubaron a 25 °C durante 5 días. Las colonias que presentaron morfología característica de *Trichoderma* fueron subcultivadas para una correcta purificación (Fig. 2). La identificación se realizó con base en características macroscópicas y microscópicas, siguiendo los criterios de [4-5].





Fig.1: Trampas de arroz colocadas en el suelo.



Fig. 2: Siembra de granos de arroz en PDA.

Fase 2. Aislamiento e identificación morfológica de cepas de *Sclerotium*

El aislamiento de *Sclerotium cepivorum* se realizó a partir de bulbos de cebolla (*Allium cepa*) con síntomas de pudrición blanca (Fig. 3). Los tejidos infectados se desinfectaron superficialmente mediante inmersión en hipoclorito de sodio al 1% durante 3 minutos, seguidos de tres lavados con agua destilada estéril; luego, se sembraron fragmentos de tejido en placas con medio Papa Dextrosa Agar (PDA) y se incubaron a 20 °C durante 7 días (Fig. 3). La identificación del patógeno se basó en la observación de esclerocios y características miceliares, siguiendo los criterios morfológicos descritos por Sammour et al. [10].



Fig. 3: Bulbos de cebolla con síntomas de pudrición blanca.

Fase 3. Evaluación *in vitro* de *Trichoderma* frente a *Sclerotium*.

La evaluación del efecto antagónico de la cepa nativa de *Trichoderma* frente a *Sclerotium cepivorum* se realizó mediante la técnica de enfrentamiento dual en placas de Petri con medio PDA, siguiendo el protocolo descrito por [11] (Fig. 4).

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con dos tratamientos y cinco repeticiones; un control con cultivos individuales y una confrontación dual entre la cepa nativa de *Trichoderma* sp. y *Sclerotium cepivorum*. En cada placa de PDA se inocularon discos de 5 mm de ambos hongos ubicados en extremos opuestos, separados por 4 cm. se comparó el crecimiento radial (mm) de *S. cepivorum* entre control y confrontación a las 24, 48, 72, 96, 144 y 168 horas (h).

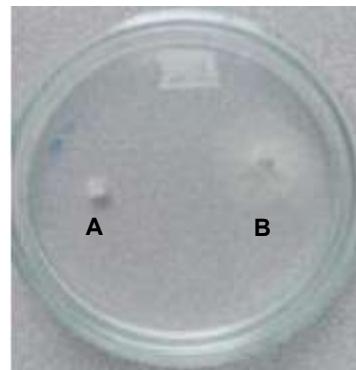


Fig. 4: Siembra en medio PDA de *Sclerotium* (A) frente a *Trichoderma*.

Las placas se incubaron a 25 °C en oscuridad durante 7 días y crecimiento radial de los microorganismos se midió a diario, para lo cual se consideró la distancia desde el centro del inóculo hasta el borde de la colonia. El efecto antagónico se cuantificó mediante el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR), calculado con la siguiente fórmula [12]:

$$PICR = \frac{(R1 - R2)}{R1} \times 100$$

donde $R1$ es el crecimiento radial del patógeno en el grupo control y $R2$ es el crecimiento en presencia de *Trichoderma*.

Además, se utilizó la clasificación propuesta por Bell et al. (1982) [13] en donde se categoriza el tipo de

interacción entre los hongos en función del crecimiento y la formación de zonas de inhibición (Tabla 1).

Tabla 1. Escala para clasificación del antagonismo según Bell et al. (1982)

Grado	Capacidad antagonística
1	<i>Trichoderma</i> coloniza el 100% de la superficie del medio y crece sobre el fitopatógeno.
2	<i>Trichoderma</i> coloniza dos terceras partes de la superficie del medio de cultivo y limita el crecimiento del fitopatógeno.
3	<i>Trichoderma</i> y el fitopatógeno colonizan cada uno la mitad de la superficie, ningún hongo domina.
4	El fitopatógeno coloniza dos terceras partes de la superficie del medio y limita el crecimiento de <i>Trichoderma</i> .
5	El fitopatógeno coloniza el 100% de la superficie del medio y crece sobre <i>Trichoderma</i> .

Los datos obtenidos fueron analizados en el software *InfoStat*. Se verificaron normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). Luego se realizó una prueba t de Student para muestras independientes ($\alpha = 0,05$).

3. RESULTADOS

Fase 1. Cepas de *Trichoderma* aisladas

Se aisló la cepa nativa de *Trichoderma* la cual a los cinco días mostró un crecimiento rápido en medio Papa Dextrosa Agar (PDA), formando colonias con micelio denso, algodonoso y de color blanco siendo características típicas del género. Estas propiedades morfológicas reflejan una alta capacidad de colonización, lo que es fundamental para su potencial uso como agentes de control biológico. Así también, se realizó la observación a 40X y se encontraron hifas septadas y conidias agrupadas en conidióforos [4]; estas estructuras son estructuras clave para su reproducción y dispersión, posteriormente, las colonias desarrollaron una coloración verde característica de *Trichoderma*, que indica la madurez y producción de esporas (Fig. 5).

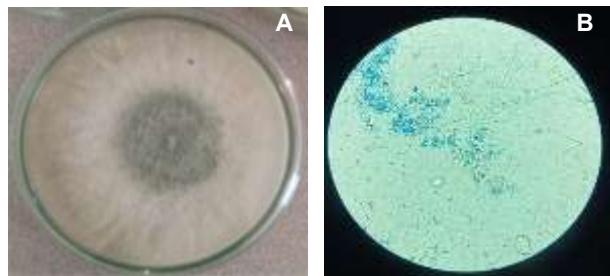


Fig. 5: Colonia de *Trichoderma* con micelio (A). Micelio de *Trichoderma* visto en el microscopio a 40X a los cinco días (B).

Fase 2. Cepas de *Sclerotium* aisladas

Se aisló *Sclerotium cepivorum* de bulbos de cebolla con pudrición blanca, observándose un micelio blanco algodonoso y esclerocios que cambiaron de masas blancas a estructuras endurecidas y oscuras, luego se realizó la microscopía y se identificaron hifas septadas y células iniciales, inmaduras y maduras de esclerocios, siendo características típicas de la especie. Estos resultados confirman la presencia del patógeno de acuerdo a lo reportado por [14], quienes destacan la importancia de los esclerocios para la supervivencia y diseminación del hongo en el suelo.



Fig. 6: Crecimiento de micelio de *Sclerotium* en medio PDA.

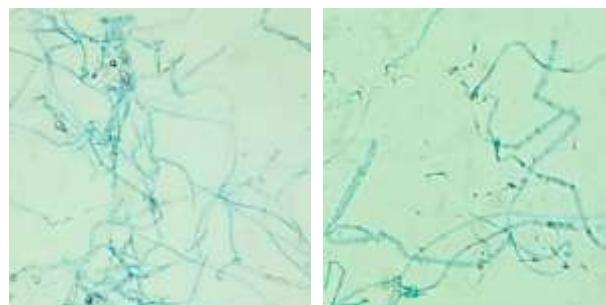


Fig. 7: Micelio visto en el microscopio a 40X

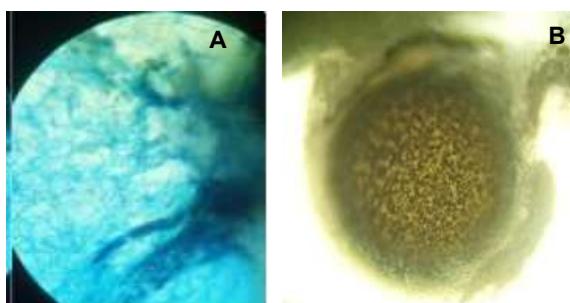


Fig. 8: Esclerocios inmaduros (A) y maduros (B) de *Sclerotium cepivorum* observados a 40× en medio PDA.

Fase 3. Evaluación *in vitro* de *Trichoderma* frente a *Sclerotium*.

Durante el ensayo de antagonismo *in vitro* se evaluó el crecimiento radial de *Sclerotium sp.* frente a *Trichoderma sp.* durante 168 horas. Los valores del radio se calcularon a partir de la medición en milímetros del diámetro de las colonias, y se registró que el radio de crecimiento de *Sclerotium* en el control varió entre 44.5 y 45.5 mm, mientras que en presencia de *Trichoderma* se mantuvo dentro de un rango de 27 a 29.9 mm (Fig. 8). Además, se determinó que el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) tuvo un promedio de 37.9% a las 168 horas [12] (Tabla 2).

Tabla 2. Porcentaje de inhibición y crecimiento radial en milímetros (mm) de *Trichoderma* (T1) y *Sclerotium sp.* vs *Trichoderma sp.* a las 168 horas.

Repetición	T1	T2	PICR (%)
1	44.5	27.0	39.3
2	45.2	27.5	39.2
3	44.8	28.0	37.5
4	45.5	28.0	38.5
5	44.7	29.0	35.1
Promedio	44.9	27.9	37.9

En la Tabla 3 se observa que el tratamiento 2 redujo significativamente el radio ($p < 0.0001$) en comparación con el control. La diferencia de medias fue de 17.04 mm, con un intervalo de confianza del 95% entre 16.17 y 17.91 mm. La homogeneidad de varianzas se cumplió; $pHomVar = 0.2658$ y el valor t fue 45.12 con 8 grados de libertad. Por tanto, el tratamiento 2 tiene un efecto significativo sobre la variable medida.

Tabla 3. Prueba t para muestras independientes entre grupo Control (T1) y confrontación *Sclerotium* vs *Trichoderma* (T2), sobre la variable radio (mm).

Parámetro	Valor
Variable	Radio (mm)
n	5
Grupo 1	T1: Control
Grupo 2	T2: Confrontación
Media (1) \pm DE	44.94 \pm 0,40
Media (2) \pm DE	27.90 \pm 0,73
Diferencia de medias	17.04
LI (95%)	16.17
LS (95%)	17.91
Intervalo de confianza (95 %)	16.17 – 17.91
pHomVar	0.2658
t de Student (gl = 8)	45.12
prueba bilateral	
p-valor	<0.0001

En la Figura 9 se observa por separado el crecimiento micelial de *Trichoderma* (A) y *Sclerotium* (B) a las 168 horas. Posteriormente y de acuerdo con la clasificación propuesta por Bell et al. (1982), se determinó que la interacción entre los hongos evaluados correspondió a la clase 2; donde *Trichoderma* coloniza dos terceras partes de la superficie del medio de cultivo, limitando el crecimiento del fitopatógeno.

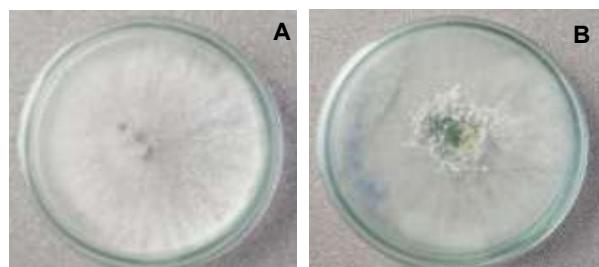


Fig. 9: Crecimiento micelial de *Sclerotium* (A) y *Trichoderma* (B) a las 168 horas de incubación (25 °C).

En la Figura 10 se observa la evolución del efecto antagonístico entre los dos microorganismos a las 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 horas.

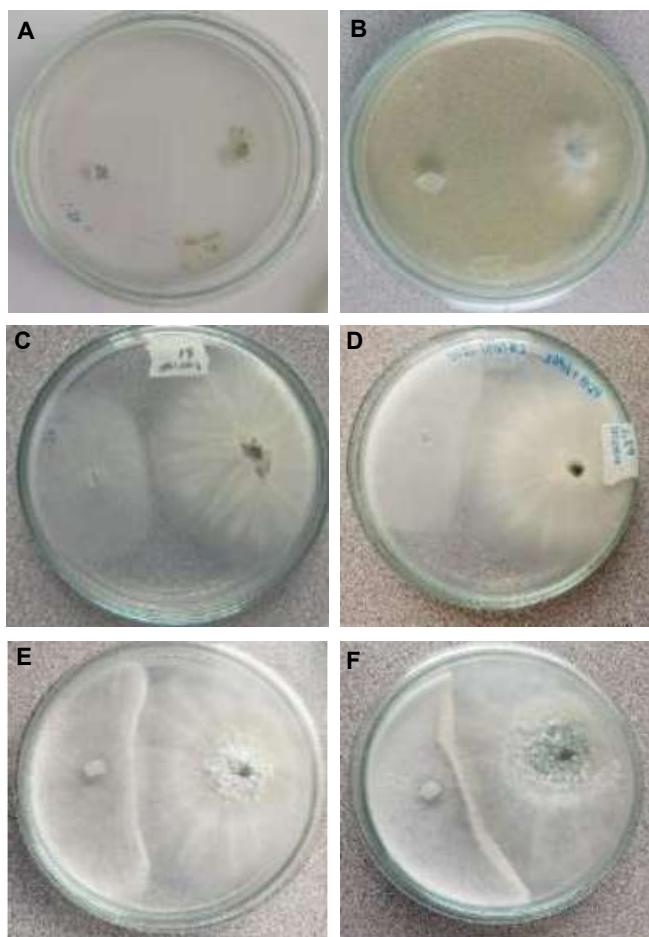


Fig. 10: Evolución del efecto antagónico entre *S. cepivorum* y una cepa nativa de *Trichoderma* en medio PDA a 25 °C, registrada a las 0 h (A), 24 h (B), 48 h (C), 72 h (D), 120 h (E), 144 h (F) y 168 h (G).

En la figura 11 se observa la desaceleración del crecimiento de *Sclerotium* en presencia de *Trichoderma* a partir de las 48 horas, lo que evidencia la acción inhibitoria del antagonista y uso potencial como biofungicida.

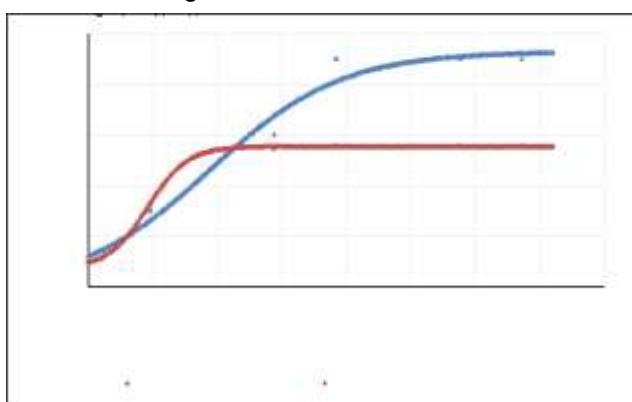


Fig. 11: Crecimiento radial (mm) de *S. cepivorum* con (T2) y sin *Trichoderma* sp. (T1) a las 168 h.

4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

A continuación, se indican el análisis de los resultados:

a) Aislamiento de *Trichoderma*

La cepa nativa de *Trichoderma* mostró un crecimiento rápido y la formación de colonias fueron densas y algodonosas en medio PDA, lo que coincide con lo reportado por [15, 16] donde también se menciona que el cambio de color blanco a verde en las colonias observada durante la maduración es un rasgo distintivo del género, asociado a la producción de esporas, y ha sido ampliamente documentado como un indicador de viabilidad y potencial de colonización en diferentes especies de *Trichoderma*.

Por su parte, la presencia de hifas septadas y conidios agrupados en conidióforos, tal como se observó en este trabajo, es fundamental para la identificación y caracterización del género, en concordancia con [16-18]. Otra característica que permite caracterizar a *Trichoderma* es el color de las colonias que varía del verde oscuro al verde claro, con conidios de entre 2,69 y 5,10 µm de longitud [19].

b) Aislamiento de *Sclerotium*

Los resultados de este estudio en relación con el aislamiento de *Sclerotium* sp. coinciden con lo reportado [20], quienes mencionan que la observación de esclerocitos pequeños, globosos y oscuros en la madurez es fundamental para la identificación precisa de *Sclerotium* spp. Por su parte, [21-22] indican, la importancia que tienen los esclerocitos como estructuras de reposo y su papel en la supervivencia del patógeno ante condiciones adversas.

Así también [23] señalan que, *S. sclerotiorum* produce esclerocitos negros, esféricos o irregulares de 2,4 a 8,6 mm. Asimismo, el cambio de colonias

blancas y esponjosas a tonos oscuros en medios como PDA, observada en este trabajo, coincide con las descripciones de [21-23], complementando de esta manera la identificación morfológica realizada en el presente trabajo. Además, la presencia de hifas septadas y la observación de estructuras como conexiones de pinza y ascos cilíndricos con ascosporas ovaladas son típicas del género *Sclerotium* [24].

La caracterización morfológica del patógeno representa el sustento técnico y práctico inicial de la investigación, ya que de esta manera se evita el riesgo de confusiones entre otros patógenos y se asegura que la interacción evaluada corresponde a *S. cepivorum*, de acuerdo con los criterios micro y macroscópicos descritos en [21, 22, 24].

c) Evaluación *in vitro* de *Trichoderma* frente a *Sclerotium*.

El porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) obtenido en el presente estudio fue de 37.9% para *Trichoderma* sp. frente a *Sclerotium* sp.; este valor se encuentra por encima de los reportados por Zúñiga y Ceja (2017), donde obtuvieron un PICR de 22.2% contra *S. cepivorum* y 17.4% contra *S. rolfsii* después de 72 y 48 horas, respectivamente [25]. Sin embargo, este nivel de inhibición es menor que el reportado en otros estudios, como el de [26], quienes observaron inhibiciones del 63.6% para *T. harzianum*, y [27], quienes reportaron hasta 77.4% de inhibición con *T. harzianum* y 76.5% con *T. viride* contra *S. rolfsii*. Estas diferencias pueden atribuirse a la especificidad de la cepa utilizada y a las condiciones experimentales, ya que la eficacia antagonista de *Trichoderma* varía considerablemente entre cepas y ambientes, como también lo mencionan [28], quienes observaron que una cepa comercial de *T. harzianum* fue parcialmente superada por *S. rolfsii*, mientras que otra cepa mostró una inhibición mucho mayor.

En cuanto a la clasificación de la interacción según la escala de Bell et al. (1982), en este estudio se determinó una clase 2, lo que indica que *Trichoderma* colonizó dos terceras partes del medio

y limitó el crecimiento del fitopatógeno, resultado que supera lo reportado por [28], quienes clasificaron la interacción con *S. rolfsii* como grado 3. En comparación, con un cepa aislada del suelo de La Ciénega de Chapala, Michoacán - México, alcanzó un grado de antagonismo de 1 sobre *S. cepivorum* y 2 sobre *S. rolfsii*, mostrando un control aún más efectivo en el primer caso. Además, se destaca que *T. harzianum* redujo significativamente la producción de esclerocios de *S. cepivorum* (95%) y *S. rolfsii* (78%).

En la prueba t para muestras independientes se obtuvo un $p < 0.0001$, lo que evidencia un efecto altamente significativo de la confrontación sobre el crecimiento radial de *S. cepivorum*. Este resultado confirma la hipótesis planteada y demuestra que la cepa nativa posee una capacidad inhibitoria. El patrón de inhibición observado puede atribuirse a mecanismos combinados de competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo y producción de metabolitos antifúngicos, descritos por varios autores en estudios similares [6, 7, 11].

Los resultados obtenidos confirman el potencial antagonístico de la cepa nativa de *Trichoderma* para utilizarla en programas de manejo biológico de la pudrición blanca de la cebolla, en beneficio de los productores. La utilización de esta alternativa biológica podría favorecer el manejo y efectividad en campo, así también, reduciendo la dependencia de fungicidas sintéticos. Se recomienda continuar con investigaciones posteriores utilizando y validando los resultados obtenidos; mediante ensayos en invernadero y campo, incorporando pruebas de antagonismo con otros agentes biocontroladores [6-9, 22].

5. CONCLUSIÓN

Se aisló una cepa nativa de *Trichoderma* la cual; en medio PDA, presentó un crecimiento rápido, micelio algodonoso y conidios agrupados en conidióforos

Se aisló *Sclerotium* sp. a partir de bulbos de cebolla con pudrición blanca, en medio PDA presentó micelio blanco algodonoso y la formación de



esclerocios que evolucionaron a estructuras oscuras y endurecidas.

La cepa nativa de *Trichoderma* redujo significativamente el crecimiento radial de *S. cepivorum*; en la evaluación *in vitro*, alcanzando un porcentaje de inhibición del 37,9% a las 168 horas de incubación. La interacción correspondió al grado 2 en la escala de Bell, en el que *Trichoderma* colonizó dos terceras partes del medio y limitó el crecimiento del patógeno.

Como proyección del estudio, se contempla efectuar la caracterización molecular de la cepa nativa de *Trichoderma* utilizando marcadores ITS, con el propósito de corroborar su identidad genética a nivel de especie y sustentar futuras investigaciones en otras condiciones.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera por facilitar sus instalaciones y el apoyo brindado durante la ejecución de la presente investigación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Leta and T. Selvaraj, "Evaluation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and *Trichoderma* species for the control of onion white rot (*Sclerotium cepivorum* Berk)," *J. Plant Pathol. Microbiol.*, vol. 4, no. 1, p. 159, 2013, <https://doi:10.4172/2157-7471.1000159>.
- [2] E. Marques et al., "New isolates of *Trichoderma* antagonistic to *Sclerotinia sclerotiorum*," *Biota Neotrop.*, vol. 16, no. 3, e20160218, 2016, <https://doi:10.1590/1676-0611-BN-2016-0218>.
- [3] C. Ríos-Velasco, J. M. Caro-Cisneros, D. I. Berlanga-Reyes et al., "Identification and antagonistic activity *in vitro* of *Bacillus* spp. and *Trichoderma* isolates against common phytopathogenic fungi," *Rev. Mex. Fitopatol.*, vol. 34, no. 1, pp. 84–99, 2016, <https://doi:10.18781/R.MEX.FIT.1507-1>.
- [4] J. López-López et al., "Antagonismo de cepas de *Trichoderma* spp. aisladas en Tanaxuri, Michoacán, México contra patógenos del aguacate (*Persea americana* Mill)," *Biotecnia*, vol. 25, no. 1, pp. 24–33, 2023, <https://doi:10.18633/biotecnia.v25i1.1726>.
- [5] C. Guigón-López et al., "Identificación molecular de cepas nativas de *Trichoderma* spp., su tasa de crecimiento *in vitro* y antagonismo contra hongos fitopatógenos," *Rev. Mex. Fitopatol.*, vol. 28, no. 2, pp. 87–96, 2010.
- [6] R. F. Troian et al., "Mycoparasitism studies of *Trichoderma harzianum* against *Sclerotinia sclerotiorum*," *Biotechnol. Lett.*, vol. 36, pp. 2095–2101, 2014, <https://doi:10.1007/s10529-014-1583-5>.
- [7] M. T. Abdullah, N. Y. Ali, and P. Suleman, "Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary with *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens*," *Crop Prot.*, vol. 27, no. 10, pp. 1354–1359, 2008, <https://doi:10.1016/j.cropro.2008.05.007>.
- [8] D. Sabaté et al., "Biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary on common bean by native lipopeptide-producer *Bacillus* strains," *Microbiol. Res.*, vol. 211, pp. 21–30, 2018, <https://doi:10.1016/j.mires.2018.04.003>.
- [9] G. Sun et al., "Identification and biocontrol potential of antagonistic bacteria strains against *Sclerotinia sclerotiorum* and their growth-promoting effects on *Brassica napus*," *Biol. Control*, vol. 104, pp. 35–43, 2017, <https://doi:10.1016/j.bioc.2016.10.008>.
- [10] R. H. Sammour, "Effective and cheap methods to control *Sclerotium cepivorum* through using Clorox or sulfur powder and/or calcium oxide," *Res. J. Microbiol.*, vol. 6, no. 12, pp. 904–911, 2011, <https://doi:10.3923/jm.2011.904.911>.
- [11] F. D. Hernández-Castillo et al., "In vitro antagonist action of *Trichoderma* strains against *Sclerotinia sclerotiorum* and *Sclerotium cepivorum*," *Am. J. Agric. Biol. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 410–417, 2011, <https://doi:10.3844/AJABSSP.2011.410.417>.
- [12] S. Hlaiem et al., "In vitro evaluation of antagonistic potentiality of *Trichoderma harzianum* against *Diplodia* spp. phytopathogenic fungi," *Egypt. J. Biol. Pest Control*, vol. 33, 2023, <https://doi:10.1186/s41938-023-00719-7>.
- [13] D. K. Bell, "In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens," *Phytopathology*, vol. 72, no. 4, pp. 379–382, 1982, <https://doi:10.1094/Phyto-72-379>.



- [14] W. Ulloa et al., "Identificación y caracterización molecular del hongo causante de la pudrición blanca en *Allium cepa* en Costa Rica," *Rev. Tecnol. Marcha*, vol. 29, sup. 3, p. 516, 2016, <https://doi:10.18845/tm.v29i7.2705>.
- [15] V. Kumar et al., *Trichoderma* spp.: Identification and characterization for pathogenic control and its potential application, Apple Academic Press, 2019, <https://doi:10.1201/9781351247061-5>.
- [16] K. K. Sharma and U. S. Singh, "Cultural and morphological characterization of rhizospheric isolates of fungal antagonist *Trichoderma*," *J. Appl. Nat. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 451–456, 2014, <https://doi:10.31018/JANS.V6I2.481>.
- [17] M. E. López-López et al., "Isolation and characterization of *Trichoderma* spp. for antagonistic activity against avocado fruit pathogens," *Horticulturae*, vol. 8, no. 8, p. 714, 2022, <https://doi:10.3390/horticulturae8080714>.
- [18] J. S. Muljowati et al., "Exploration and morphological characterization of *Trichoderma* spp. from organic waste at TPST Rempoah-Baturraden, Banyumas Regency," *E3S Web Conf.*, vol. 609, p. 01003, 2025, <https://doi:10.1051/e3sconf/202560901003>.
- [19] P. Vashisht et al., "Morpho cultural and biochemical characterization of different isolates of *Trichoderma* species isolated from rhizospheric soil of cotton in Haryana," *preprint, Research Square*, 2024, <https://doi:10.21203/rs.3.rs-4353981/v1>.
- [20] B. Chethana and M. K. P. Kumar, "Rice stem rot *Sclerotium hydrophilum* Sace isolated and characterized in Southern Karnataka," *Oryza Int. J. Rice*, vol. 56, no. 2 pp. 242–245, 2019, <https://doi:10.35709/ORY.2019.56.2.10>.
- [21] C. Ordóñez-Valencia et al., "Morphological development of sclerotia by *Sclerotinia sclerotiorum*: a view from light and scanning electron microscopy," *Ann. Microbiol.*, vol. 65, no. 2, pp. 765–770, 2015, <https://doi:10.1007/s13213-014-0916-x>.
- [22] L. Valdés-Santiago et al., "Application of two-photon microscopy to study *Sclerotium cepivorum* Berk. sclerotia isolated from naturally infested soil and produced in vitro," *Curr. Microbiol.*, vol. 78, pp. 749–755, 2021, <https://doi:10.1007/s00284-020-02341-4>.
- [23] J.-H. Kwon, H.-K. Lee, and H.-D. Lee, "Sclerotium rot of onion caused by *Sclerotium rolfsii*," *Research in Plant Disease*, vol. 17, no. 2, pp. 222–224, 2011, <https://doi:10.5423/RPD.2011.17.2.222>
- [24] F. Yin et al., "Sclerotinia rot of *Zephyranthes candida* caused by *Sclerotinia sclerotiorum* and *Sclerotinia minor*," *Front. Microbiol.*, vol. 15, 2024, <https://doi:10.3389/fmicb.2024.1414141>.
- [25] E. Zúñiga-Mendoza and L. F. Ceja-Torres, "In vitro antagonism of *Trichoderma harzianum* on *Sclerotium cepivorum* Berk. and *S. rolfsii* Sacc. causal agents of onion rot," *Phyton-Int. J. Exp. Bot.*, vol. 86, no. 1, pp. 7–13, 2017, <https://doi:10.32604/PHYTON.2017.86.007>.
- [26] S. K. Kushwaha et al., "Eficacia de *Trichoderma* contra *Sclerotium rolfsii*, causante de la podredumbre del collar de la lenteja en condiciones *in vitro*," *Rev. Cienc. Appl. Nat.*, vol. 10, no. 1, pp. 307–312, 2018.
- [27] M. Basumatary et al., "Some *in vitro* observations on the biological control of *Sclerotium rolfsii*, a serious pathogen of various agricultural crop plants," *J. Agric. Vet. Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 87–94, 2015.
- [28] M. Garrido-Rondoy and N. Vilela-Severino, "Capacidad antagónica de *Trichoderma harzianum* frente a *Rhizoctonia*, *Nakatea* *sigmoidea* y *Sclerotium rolfsii* y su efecto en cepas nativas de *Trichoderma* aisladas de cultivos de arroz," *Sci. Agropec.*, vol. 10, no. 2, pp. 199–206, 2019, <https://doi:10.17268/sci.agropec.2019.02.05>.





VARIACIÓN DEL PH DE UN SUELO ÁCIDO MEDIANTE ENMIENDAS CALCÁREAS EN LA PARROQUIA 27 DE SEPTIEMBRE, CARCHI

PH VARIATION OF AN ACIDIC SOIL THROUGH CALCAREOUS AMENDMENTS IN THE SEPTEMBER 27 PARISH, CARCHI

VARIACIÓN DEL PH DE UN SUELO ÁCIDO MEDIANTE ENMIENDAS CALCÁREAS EN LA PARROQUIA 27 DE SEPTIEMBRE, CARCHI

PH VARIATION OF AN ACIDIC SOIL THROUGH CALCAREOUS AMENDMENTS IN THE SEPTEMBER 27 PARISH, CARCHI

Carlos Vinicio Alencastro Pavon¹,
Oswaldo Paul Pozo Imbaquingo²,
José Ignacio Ayala Colimba³

¹ Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, email: calencastrop@comunidad.uiix.edu.mx

² Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, email: paulpozo12@istah.edu.ec

³ Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, email: jose_ig3@istah.edu.ec

RESUMEN

La acidez de los suelos se origina por la presencia de Al+3 e Hidrógeno, ya que limita el desarrollo de las plantas, debido a la baja disponibilidad de bases cambiables como Ca, P, Mg. En el presente trabajo se evaluó la variación del pH de un suelo ácido mediante la aplicación de tres tipos de encalado: T1: cal agrícola (malla 100), T2: Yeso agrícola, T3: Óxido de calcio líquido y T4: Testigo. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con 4 tratamientos y cuatro repeticiones dando un total de 16 unidades experimentales. Se evaluó el pH a los 0, 15, 30, 45, 60 días. Las diferencias entre tratamientos fueron significativas ($p<0.05$), evaluadas mediante ANOVA y prueba DGC al 10%. Además, se obtuvo un modelo matemático, para predecir el pH en función de los días de encalado. El pH inicial del suelo fue de 4.46 y a los 60 días se registró que el tratamiento 1 y 3 fueron los que mejores resultados presentaron; con un resultado final de pH de 5.62 y 5.56.

Palabras clave: Alcalinidad, enmienda, aluminio, hidrógeno en el suelo

ABSTRACT

Soil acidity originates from the presence of Al+3 and Hydrogen, since it limits plant development due to the low availability of exchangeable bases such as Ca, P, Mg. In the present work, the pH variation of an acidic soil was evaluated by applying three types of liming: T1: agricultural lime (100 mesh), T2: Agricultural gypsum, T3: Liquid calcium oxide and T4: Control. A completely randomized design was used with 4 treatments and four replications giving a total of 16 experimental units. The pH was evaluated at 0, 15, 30, 45, 60 days. An analysis of variance and comparison of means tests were performed. In addition, a mathematical model was obtained to predict the pH based on the days of liming. The initial soil pH was 4.46, and after 60 days, treatments 1 and 3 were found to have the best results, with final pH values of 5.62 and 5.56.

Keywords: Alkalinity, amendment, aluminum, hydrogen in soil

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025

Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La acidez del suelo se origina por la presencia de iones Al+3 e hidrógeno (H+). Un pH bajo afecta a las características químicas y biológicas del suelo, reduciendo el crecimiento de las plantas debido a la no disponibilidad de nutrientes tales como Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fosforo (P) y Potasio (K) [1]. Los suelos ácidos están presentes en zonas con elevadas precipitaciones, asimismo las zonas andinas presentan acidez, es por ello necesario determinar un manejo adecuado que sirva como modelo para solucionar la acidez del suelo y proveer las condiciones químicas ideales para los cultivos. Una de las causas de la acidez es el lavado de bases cambiables como P, Ca, y Mg; elementos fundamentales en el crecimiento y desarrollo de las plantas [2].

El óxido de calcio al ser incorporado al suelo ácido, libera el fósforo de formas retenidas o de forma insoluble [3- 4] mencionan que el requerimiento de cal se lo define como "La cantidad de cal necesaria para elevar el pH a un nivel deseado". La incorporación de estas enmiendas a base de calcio permite neutralizar la acidez; la cual es medida de acuerdo con la cantidad de hidrógeno y aluminio presente en el suelo. El encalado permite elevar el pH del suelo, debido a la aportación de calcio presente en las enmiendas, trasportando el aluminio y el hidrógeno de los coloides, que se desplazan al reaccionar con el carbonato para formar agregados no dañinos para las plantas [5].

[6] menciona que el óxido de calcio al mezclarse con el agua produce hidroxilo de calcio, el cual es descompuesto en calcio y en moléculas de hidroxilo (2OH-); encargados de neutralizar el hidrógeno aumentando el pH del suelo. Otra fuente utilizada para el mejoramiento de suelos ácidos es el hidróxido de calcio; Ca(OH)2, obtenida de la reacción de óxido de calcio más agua que al mezclarse con el agua produce iones de calcio y oxhidrilos que aumenta el pH; este material es de rápida reacción en el suelo, presentando un 56% de Ca, mientras que la dolomita contiene un 21,6% Ca y un 13,1% de Mg, subministrando magnesio que con frecuencia es deficiente en suelos ácidos, con una reacción más lenta frente al hidróxido de calcio [6].

El sulfato de calcio di hidratado (CaSO4 2H2O) comúnmente conocido como yeso agrícola es una enmienda que mejora las propiedades físicas y

químicas del suelo permitiendo un aumento en la producción agrícola [7]. El yeso es el reemplazo del calcio por sodio en el intercambio catiónico, formando sulfato de sodio; el cual es lixiviado [8]. El uso de carbonato de calcio (CaCO3) tiene como propósito mejorar el pH de suelos ácidos trasportando el Al y Mn intercambiable de las arcillas del suelo, para neutralizarlos por precipitación de la solución del suelo. En general la utilización del carbonato de calcio permite que la planta recupere todos los nutrientes presentes, mejorando las condiciones físicas y biológicas, fijación simbiótica de nitrógeno y mejorando la eficiencia de algunos herbicidas [9].

El encalado permite corregir la acidez del suelo. Si el pH está por debajo de un "valor crítico", una solución rápida y efectiva para evitar problemas de toxicidad del aluminio es aplicar un aditivo de cal. La profundidad de las raíces de muchos cultivos es entre 20 y 40 cm, por lo que la efectividad de la cal debe extenderse hasta esta profundidad para brindar una protección integral de las raíces contra los efectos de los ácidos [10].

En Ecuador, y particularmente en la provincia del Carchi, los suelos agrícolas de la parroquia 27 de Septiembre presentan valores de pH entre 4.3 y 4.

6, lo que limita la producción de cultivos como cebolla, papa y avena. A pesar de la importancia de este problema, existen pocos estudios que evalúen y comparan los diferentes tipos de enmiendas en condiciones edafoclimáticas altoandinas.

Por tanto, el presente estudio busca aportar información acerca del comportamiento del pH frente a tres tipos de enmiendas (cal agrícola, yeso agrícola y óxido de calcio líquido), con la finalidad de definir prácticas agronómicas sostenibles para la corrección de suelos ácidos en este sector.

Por tanto, se ha planteado la siguiente hipótesis: La aplicación de cal agrícola y óxido de calcio líquido incrementa significativamente el pH del suelo respecto al testigo, alcanzando valores superiores a 5.5 durante los 60 días de evaluación.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El estudio se realizó en la provincia del Carchi, cantón Espejo, parroquia 27 de Septiembre ubicada a una altitud de 3300 msnm en una parcela de 256



m² (Figura 1). La temperatura media anual es de 13°C y la precipitación varía de 700 mm a 1000 mm. El estudio se llevó a cabo en un suelo de textura franco arcillosa, clasificado como Andisol, además se determinó el pH inicial del suelo registrando un valor de 4.46, considerado como muy ácido e idóneo para el presente estudio.



Fig.1: Mapa de ubicación de la investigación

Diseño Experimental

Debido a las condiciones homogéneas del terreno, se estableció un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, dando un total de 16 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo compuesta por una parcela de 4 m × 4 m; en un área total de 256 m². Se evaluaron cuatro tratamientos: T1 (Cal agrícola), T2 (Yeso agrícola), T3 (Óxido de calcio líquido - OCL) y T4 (Testigo) (Tabla 1). Previa comprobación de la normalidad de datos y homogeneidad de varianzas, se evaluaron los resultados obtenidos mediante un análisis de varianza (ANOVA). Antes del análisis, se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk, $p>0.05$) y homogeneidad de varianzas ($p>0.05$). Además, se realizaron pruebas de comparación de medias mediante DGC al 10%, para determinar diferencias entre tratamientos.

El nivel de significancia del 10 % se seleccionó por su mayor sensibilidad para detectar diferencias entre tratamientos en ensayos agrícolas con reducido número de repeticiones y alta variabilidad de campo, de acuerdo con las recomendaciones de [13]. Los datos obtenidos se procesaron en el software estadístico *Infostat* versión 2020.

Tabla 1. Descripción de tratamientos

Tratamiento	Descripción	Dosis*
T1	Ca agrícola	1.5 t/ha
T2	Yeso agrícola	1.5 t/ha
T3	OCL	20 L/ha
T4	Testigo	N/A

* Las dosis aplicadas se establecieron según las recomendaciones técnicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP [11]

Las enmiendas sólidas (T1 y T2) se incorporaron manualmente al suelo en la capa arable (0–20 cm) con azadón y rastrillo, en una aplicación única al inicio del ensayo. El óxido de calcio líquido (T3) se aplicó por aspersión uniforme con bomba manual, para lograr una distribución homogénea sobre cada parcela experimental.

Fase 1. Cambio de pH del suelo a los 15, 30, 45 y 60 días

Se procedió a colectar y homogenizar 10 submuestras de suelo a una profundidad de 20 cm de la parcela experimental (Figura 2). Para la determinación del pH de la muestra de suelo obtenida se utilizó la metodología propuesta por [12]. Se transfirió 10 gramos de suelo a un vaso plástico de 50 cm³ de capacidad, luego se adicionó 20 ml de agua destilada, para finalmente agitar durante 1 minuto con una varilla de vidrio. Se determinó el pH con un pH-metro de marca HANNA debidamente calibrado (con soluciones buffer de 4.0 y 7.0) (Figura 3). Para esto se introdujo el electrodo en la mezcla de agua y suelo y finalmente se registró el pH obtenido. Para la determinación del pH a los 15, 30, 45 y 60 días se realizó el mismo procedimiento.





Fig. 2: Muestreo a de 20 cm profundidad



Fig. 3: Equipo y soluciones buffer de 4.0 y 7.0

Fase 2. Desarrollo de un modelo matemático que permite predecir los cambios de pH, mediante un análisis de regresión estadístico

Se determinó un modelo matemático con la finalidad de predecir la variación del pH en función de los días después del encalado, para lo cual los resultados obtenidos se sometieron a análisis de regresión lineal; el cual se validó mediante el análisis de valores estadísticos de R^2 , R^2_{Aj} , p -value y Cp Mallows. Los datos obtenidos se procesaron en el software estadístico *Infostat* versión 2020.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detallan los resultados:

Variación del pH del suelo a los 15, 30, 45 y 60 días

En la tabla 2 y 3 se observa la variación de pH del suelo a los 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de tres tipos de enmienda y un testigo. La prueba DGC al 10% indica que existen diferencias

significativas entre tratamientos al final del ensayo (60 días), siendo el tratamiento 1 y 3 los que mejores resultados presentaron; con un resultado final de pH de 5.62 y 5.56 respectivamente siendo estadísticamente iguales. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por [14] el cual indica que un suelo debe tener un rango de pH 5.5 a 7, posterior a la aplicación de una enmienda.

Al día 0 después de aplicada la enmienda el pH promedio de las unidades experimentales fue de 4.46; al día 15 después de aplicada la enmienda no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, mientras que los datos obtenidos a los 45 días de haber iniciado el ensayo presentaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo el tratamiento T1 el que mayor nivel de pH presentó con un valor de 5.61 (Figura 4). En un estudio similar [12] evaluaron un ligeramente ácido con pH 5.7 antes del encalado, pH 6.44 después del encalado y pH 5.75. al final de la investigación. Estos resultados demuestran que la aplicación de enmiendas permite elevar el nivel de pH de suelos ácidos.

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, lo que confirma que las enmiendas utilizadas influyeron de manera directa en la reducción de la acidez del suelo. Los tratamientos con cal agrícola (T1) y óxido de calcio líquido (T3) lograron los mayores incrementos de pH en comparación con el testigo, demostrando su eficacia, para la neutralización de la acidez. [16] confirmaron una alta correlación entre el porcentaje de saturación de bases y el pH, lo que demuestra que las enmiendas calcáreas modifican eficazmente la química del suelo.

[17] destacaron además que las enmiendas a base de calcio son los mejores productos para corregir la acidez del suelo, capaces de aumentar el pH y neutralizar el aluminio intercambiable. Estos estudios demuestran que los productos calcáreos, como el carbonato de calcio y el óxido de calcio, desempeñan un papel crucial en el manejo del pH del suelo al transformar químicamente los componentes ácidos del suelo.

El comportamiento y las diferencias registradas entre los tratamientos se relaciona con la solubilidad y la velocidad de reacción de las enmiendas. El óxido de calcio líquido (T3) obtuvo una reacción más rápida y de efecto inmediato, mientras que la cal agrícola (T1) presentó un incremento gradual, prolongando el efecto neutralizante. Por su parte, el

yeso agrícola (T2) no aumentó significativamente el pH, ya que su función principal radica en mejorar la estructura del suelo y favorecer el intercambio catiónico, más que en elevar la alcalinidad. [15] menciona que la cal y sus combinaciones pueden mejorar los efectos correctores sobre la acidez del suelo, como se ha observado en los estudios realizados con CaCO₃ y otros materiales calcáreos comerciales

Tabla 2. Variación del pH a los 0 y 15 días después de la aplicación de tres tipos de enmienda y un testigo. (Prueba DGC; alfa = 0.10). Medias con una letra en común no son significativamente diferentes.

Tratamiento	Día 0 (18/11/2023)	Día 15 (03/12/2023)	Día 30 (18/12/2023)	Día 45 (02/01/2024)	Día 60 (17/01/2024)
T1: Cal agrícola	4.46 ± 0.04	4.73 a ± 0.05	5.38 a ± 0.05	5.61 a ± 0.05	5.82 a ± 0.05
T2: Yeso agrícola	4.46 ± 0.04	4.81 a ± 0.05	5.46 a ± 0.05	4.89 b ± 0.05	4.76 b ± 0.05
T3: OCL	4.46 ± 0.04	4.44 a ± 0.05	4.54 b ± 0.05	5.26 b ± 0.05	5.96 a ± 0.05
T4: Testigo	4.46 ± 0.04	4.43 a ± 0.05	4.56 b ± 0.05	5.12 b ± 0.05	4.13 b ± 0.05
p_valor	—	0.3096	0.0383	0.0636	0.0924
CV (%)	—	7.36	10.29	6.53	10.76

A continuación, se presenta la figura 4 en la cual se puede visualizar la variación de pH del suelo a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de tres tipos de enmienda y un testigo.

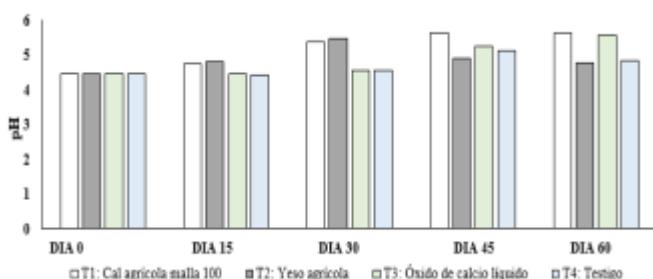


Fig.4: Variación del pH a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de tres tipos de enmienda y un testigo.

Modelo matemático para predecir los cambios de pH, mediante un análisis de regresión estadístico

Para realizar el análisis de regresión, primero se determinó que el tratamiento 1: Cal agrícola malla 100 fue el que mejor resultado presentó en cuanto a la corrección del pH del suelo. Es así como, el tratamiento 1 se ajustó a un modelo lineal, que describe la relación entre la variación del pH del suelo con los días después de la aplicación de la enmienda. Se obtuvo un R² de 0,47; R² Aj de 0,44 y un CpMallows de 16. Lo que muestra que el modelo predice la respuesta en un 47% para nuevas observaciones, así también el modelo explica en un

44% toda la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su variable independiente (pH) (Tabla 3).

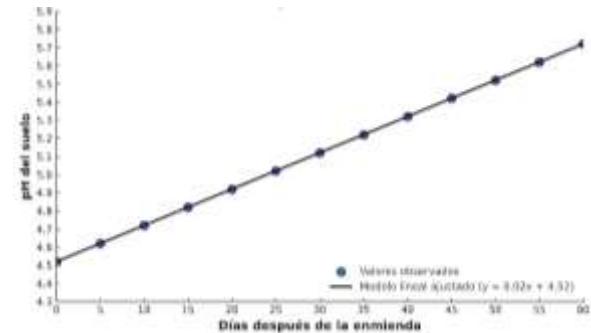
De acuerdo con el análisis se obtuvo la siguiente ecuación lineal; $y = 0.02x + 4.52$; siendo Y, la variación del pH; y X, los días después de la enmienda (Figura 6). [13] indica que el Aluminio intercambiable disminuirá con el aumento de la dosis de Ca (OH)₂. Esto se describe mediante la función exponencial ($y = A * \exp(k*X)$) entre Ca (OH)₂ aplicado y Al intercambiable extractado luego de la incubación.

Tabla 3. Coeficientes de regresión entre la variación del pH del suelo y días después de la enmienda, para el tratamiento 1: Cal agrícola malla 100.

Coeficiente	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	Cp Mallows	VIF
Constante (a)	4.52	0.2	4.11	4.93	23.07	<0.0001	—	1
Días (b)	0.02	0.01	0.01	0.03	4	0.0038	16	1
R ²	0.47							
R ² ajustado	0.44							
Significancia (F)	—							<0.001

En la figura 6, se visualiza la relación entre la variación del pH; de acuerdo con el modelo matemático obtenido a partir de los días después de la enmienda, durante 60 días.

Fig. 6: Predicción de la variación del pH del suelo



con relación a los días después de la enmienda mediante cal agrícola malla 100.

El modelo obtenido; $y = 0.02x + 4.52$, muestra un aumento gradual del pH, con un R² de 0,47. Si bien la tendencia es evidente, el R² moderado sugiere que otros factores probablemente influyen en el pH del suelo más allá del tiempo de encalado. [15] respaldan este resultado, observando un comportamiento similar del pH en suelos volcánicos del sur de Chile. En su investigación reveló que por cada gramo de CaCO₃ aplicado por kilogramo de suelo, el pH aumentó 0,2 unidades, el contenido de calcio intercambiable aumentó un 70 % y el de aluminio intercambiable disminuyó un 50 %. El incremento del pH observado podría estar asociado

a una disminución en la acidez intercambiable, efecto que se relaciona con la neutralización del aluminio en suelos ácidos, aunque este parámetro no fue cuantificado directamente en el presente estudio [17-19].

Los resultados de esta investigación confirman que las enmiendas calcáreas constituyen una alternativa técnica, para la corrección de la acidez en suelos andinos del Carchi. La mejora significativa del pH, refleja la efectividad del manejo químico aplicado y su potencial de transferencia a productores de la zona norte del país.

4. CONCLUSIÓN

El pH inicial del suelo fue de 4.46 y a los 60 días se registró que el tratamiento 1 y 3 fueron los que mejores resultados presentaron; con un resultado final de pH de 5.62 y 5.56. Lo cual favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales y la reducción de la toxicidad por aluminio.

De acuerdo con el análisis de regresión se obtuvo la siguiente ecuación lineal; $y = 0.02x + 4.52$; siendo Y, la variación del pH; y X, los días después de la enmienda. Esto permite predecir la variación del pH en función del tiempo de encalado, lo que representa un aporte práctico y una herramienta técnica útil, para planificar futuras aplicaciones de enmiendas en suelos ácidos.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera por facilitar sus instalaciones y el apoyo brindado durante la ejecución de la presente investigación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. E. Sumner and M. A. Pavan, "Alleviating soil acidity through organic matter management," in *Simpósio de Rotação Soja/Milho no Plantio Direto*, Piracicaba, SP, Brazil, 2000. POTAPOS.
- [2] E. Castillo, "Evaluación de la variación del pH y CIC de un suelo ácido mediante encalado y su efecto en la producción de alfalfa var. Macate," *Tesis Ing. Agr.*, Univ. Nacional Agraria La Molina, Lima, 2014.
- [3] R. Bernier and M. Alfaro, "Acidez de los suelos y efectos del encalado," *Boletín Técnico 15*, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago de Chile, 2006.
- [4] G. Arévalo and C. Gauggel, *Manual de prácticas de laboratorio: manejo de suelos y nutrición vegetal*, Zamorano, Honduras, 2017.
- [5] M. Toledo, "Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras," *Tesis MSc.*, Univ. Zamorano, Tegucigalpa, 2016.
- [6] J. Nazar, "Efecto del encalado en el crecimiento de *Valeriana pilosa* RyP en Huanico," *Tesis Ing. Agr.*, Univ. Nacional de Cajamarca, 2015,
- [7] F. Rasouli, A. Pouya, and N. Karimian, "Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil affected by applied gypsum," *Geoderma*, vol. 193–194, pp. 246–255. 2013, doi: 10.1016/j.geoderma.2012.10.007.
- [8] G. S. Sibbett, "Manejo de suelos calcáreos, salinos, sódicos y con pH alto en la región occidental de cultivo de nogal," *HortTechnology*, vol. 5. no. 3, pp. 222–225. 1995.
- [9] I. Lazcano, "Cal agrícola: conceptos básicos para la producción de cultivos," Instituto de la Potasa y el Fósforo, México, 2003.
- [10] C. F. Udaeta, "Variaciones de pH, aluminio y calcio intercambiable en un Alfisol encalado bajo cultivo de maíz," *Agron. Trop.*, vol. 59, no. 3, pp. 211–220, 2009.
- [11] Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP, *Manual técnico para el manejo de suelos ácidos del Ecuador*. Quito, Ecuador: INIAP, 2019.
- [12] N. W. Osorio, "pH del suelo y disponibilidad de nutrientes," *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, vol. 1, no. 4, pp. 1–4, 2012.
- [13] K. A. Gómez and A. A. Gómez, *Statistical Procedures for Agricultural Research*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1984. ISBN 978-0-471-87092-0.
- [14] E. B. Morales, J. B. Sánchez, R. León, S. B. Aguas, and J. Mohiddin, "Evaluación del pasto miel



(*Setaria sphacelata*) por efecto de la fertilización y enmienda química," *Ciencia*, vol. 20, no. 2, pp. 118–130, 2018, doi: 10.33936/rsciencia.v20i2.1769.

[15] D. Pinochet, F. Ramírez, and D. Suárez, "Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de cenizas volcánicas," *Agric. Téc.*, vol. 65, no. 1, pp. 55–64, 2005. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072005000100006>

[16] Mora Erraez, R. M., & Vásquez, E. (2023). Enmienda de cal en suelos degradados por la ganadería en la parroquia Panguitza, cantón Zumbi, provincia de Zamora Chinchipe. *Bosques Latitud Cero*, 13(1), 49–67. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1539>

[17] Sadeghian, S., & Marín, C. D. (2020). Corrección de la acidez del suelo: alteraciones químicas del suelo. *Revista Cenicafé*, 71-1, 07-20. <https://doi.org/10.38141/1116>





SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN PARA ROBOTS MÓVILES EN INTERIORES EMPLEANDO LIFI

*OPTICAL INDOOR LOCALIZATION SYSTEM FOR MOBILE ROBOTS
USING LIFI*

SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN PARA ROBOTS MÓVILES EN INTERIORES EMPLEANDO LIFI

OPTICAL INDOOR LOCALIZATION SYSTEM FOR MOBILE ROBOTS USING LIFI

Leonardo Fabián Rentería Bustamante¹,
Alex Fernando Quille Vega²,
Klever Hernán Torres Rodríguez³,
Celia Margarita Mayacela Rojas⁴

¹ Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador, leonardo.renteria@unach.edu

² Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador, afquille.fie@unach.edu.ec

³ Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador, ktorres@unach.edu.ec

⁴ Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador, celia.mayacela@unach.edu.ec

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo y evaluación de un sistema de localización en interiores basado en tecnología LiFi, utilizando una matriz de transmisores LED codificados y un receptor óptico integrado en un robot móvil. Se implementaron tres trayectorias experimentales con diferentes características geométricas de curvas suaves, curvas cerradas y cambios bruscos con el fin de analizar la precisión y estabilidad del sistema en condiciones reales de operación. Los resultados muestran que el método Cell-ID utilizado permite reconstruir la trayectoria recorrida con errores absolutos entre **12.5% y 22.2%**, dependiendo de la complejidad del movimiento. Los mapas de calor obtenidos evidencian una mayor estabilidad de lectura en celdas centrales y un incremento en lecturas ambiguas en zonas de transición luminosa. Los hallazgos confirman que LiFi es una alternativa viable para la localización en interiores, especialmente en entornos donde las tecnologías basadas en radiofrecuencia presentan limitaciones por interferencias o restricciones operativas.

Palabras clave: LiFi, localización en interiores, comunicaciones ópticas, IM, robot móvil, geolocalización, VLC.

ABSTRACT

*This work presents the development and evaluation of an indoor localization system based on LiFi technology, using a matrix of coded LED transmitters and an optical receiver integrated into a mobile robot. Three experimental trajectories with different geometric characteristic of smooth curves, sharp turns, and abrupt direction changes were executed to analyze the system's accuracy and stability under real operating conditions. Results show that the implemented Cell-ID method is capable of reconstructing the robot's path with absolute errors ranging from **12.5% to 22.2%**, depending on trajectory complexity. The generated heat maps reveal higher reading stability in central cells and increased ambiguous detections in illumination transition areas. The findings confirm that LiFi is a viable alternative for indoor positioning, particularly in environments where radio-frequency technologies face limitations due to interference or operational constraints.*

Keywords: LiFi, indoor localization, optical wireless communications, IM, mobile robot, positioning, VLC.

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025
Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

La tecnología LiFi (Light Fidelity), derivada del estándar IEEE 802.15.7, implementa comunicaciones ópticas inalámbricas mediante la modulación de alta frecuencia de fuentes LED, cuyas variaciones de intensidad son indetectables para el ojo humano. La señal óptica es captada por un fotodetector —generalmente un fotodiodo o un sensor LDR— que convierte la irradiancia incidente en una señal eléctrica digitalizable para su decodificación [1]. Este esquema ubica a LiFi dentro del marco de las Optical Wireless Communications (OWC), que abarcan enlaces ópticos no guiados en rangos infrarrojo, visible y ultravioleta, diferenciándose de los sistemas guiados como la fibra óptica [2].

Dentro de las OWC, las Visible Light Communications (VLC) utilizan exclusivamente el espectro visible para establecer enlaces punto a punto, empleando LEDs como emisores y fotodetectores como receptores. Tanto VLC como LiFi comparten mecanismos de modulación y control definidos por IEEE 802.15.7, aunque LiFi extiende estas capacidades hacia redes bidireccionales, movilidad y handover, configurándose como un análogo óptico de WiFi [3].

El uso del espectro visible otorga a LiFi ventajas técnicas significativas: inmunidad a interferencias electromagnéticas, operación en un ancho de banda extremadamente amplio, alta densidad de celdas y mayor seguridad física del canal debido a la contención espacial del haz luminoso [4]. Asimismo, los LEDs presentan una elevada eficiencia energética y permiten la simultaneidad entre iluminación y comunicación. No obstante, el estado emergente de la tecnología conlleva costos elevados y limitaciones de alcance y línea de vista.

La necesidad de sistemas de localización en interiores robustos y precisos se ha incrementado en sectores como salud, logística, manufactura avanzada, navegación robótica, control de accesos y trazabilidad de activos [5]. Las tecnologías basadas en radiofrecuencia como WLAN, Bluetooth o UWB, presentan limitaciones vinculadas a interferencias, vulnerabilidades de seguridad y degradación de desempeño en entornos densos [6]. Desde los primeros experimentos de Haas, que demostraron tasas superiores a 10 Mbps y posteriormente del orden de gigabits por segundo en laboratorio [7], LiFi se ha consolidado como un candidato para aplicaciones de posicionamiento en entornos electromagnéticamente complejos. En escenarios de localización, los transmisores LED

pueden emitir códigos ópticos únicos asociados a celdas espaciales, permitiendo al receptor determinar su posición mediante identificación directa, análisis de escena o detección de proximidad [8].

A pesar del potencial de la tecnología, los sistemas LiFi aún presentan limitaciones, principalmente costos elevados, dependencia de línea de vista y sensibilidad a condiciones de iluminación. Sin embargo, diversos desarrollos internacionales demuestran su madurez creciente. Por ejemplo, el proyecto AAL x AAL, desarrollado por el VDA Group, Solari Spa y la Universidad de Udine, busca integrar LiFi en entornos sanitarios debido a su nula contaminación electromagnética, lo cual resulta crítico en la operación de equipos como los escáneres IMR. Actualmente, esta implementación se encuentra en fase de pruebas en el Oncological Reference Center (CRO) en Aviano, Italia [9].

Asimismo, LiFi ha sido evaluado en aplicaciones de seguridad crítica. En un simulacro de ataque a la red de metro, Verizon, Nokia y Aegex Technologies utilizaron LiFi para mantener comunicaciones bidireccionales seguras con la central de control. En el ámbito militar y de inteligencia, BT Defence desplegó infraestructura LiFi en las instalaciones de Adastral Park, proporcionando conectividad a más de 3.700 empleados bajo estrictos requisitos de seguridad [10]. Por su parte, la empresa PureLiFi, pionera en el sector, desarrolló el sensor LiFi OFE, capaz de alcanzar velocidades del orden de 1 Gbps, aunque aún persiste la limitación fundamental inherente a la tecnología: la comunicación depende de la presencia de luz; sin iluminación, no existe enlace [11].

En paralelo, la creciente demanda de sistemas de localización en interiores para sectores como logística, salud, manufactura inteligente, navegación robótica o monitoreo de ocupación ha evidenciado las limitaciones de tecnologías basadas en RF, afectadas por interferencias, multipath y vulnerabilidades de seguridad [6]. En este contexto, LiFi constituye una alternativa robusta para la localización, permitiendo etiquetar espacialmente áreas mediante transmisores LED que emiten códigos ópticos únicos. El receptor, integrado en un robot móvil, decodifica dichos códigos para inferir su posición dentro del entorno.

Considerando estas propiedades, el presente trabajo investiga el uso de LiFi como sistema de geolocalización en interiores para un dispositivo móvil, implementando un prototipo experimental compuesto por transmisores LED codificados y un



receptor óptico de bajo costo, con el fin de evaluar la viabilidad, precisión y estabilidad del método en un entorno controlado.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

La localización en interiores es un componente crítico en la navegación autónoma de robots móviles, especialmente en entornos donde las señales de sistemas globales como GPS son inexistentes o altamente degradadas. Tradicionalmente, estas tareas se han sustentado en tecnologías basadas en radiofrecuencia (RF), visión artificial o sensores iniciales; sin embargo, cada una presenta limitaciones asociadas a interferencias electromagnéticas, occlusiones visuales, acumulación de error o falta de precisión absoluta. En este contexto, LiFi se posiciona como una alternativa óptica robusta y de alta granularidad para la estimación de posición en tiempo real.

Para evaluar la viabilidad de la geolocalización en interiores mediante tecnología LiFi, se desarrolló un sistema experimental compuesto por una matriz de transmisores LED codificados y un receptor óptico integrado en un robot móvil. La metodología empleada combina diseño electrónico, modelado del canal óptico, integración de hardware de bajo costo y ejecución de pruebas controladas en un entorno delimitado. En primera instancia se estableció la arquitectura general del sistema, definiendo los componentes electrónicos y la configuración de transmisión óptica; posteriormente se implementó el algoritmo de decodificación en el módulo receptor y se diseñaron trayectorias repetibles para validar la estabilidad de la localización. Finalmente, los datos obtenidos en cada trayectoria fueron analizados mediante herramientas estadísticas y representados mediante mapas de calor para cuantificar la precisión y la repetibilidad del posicionamiento. A continuación, se detallan los materiales empleados y la metodología seguida en cada etapa del proceso experimental.

2.1 Principios de localización basado en LiFi.

El enfoque adoptado en este trabajo se fundamenta en la técnica Cell-ID basada en iluminación codificada [12], donde un transmisor LED emite un identificador único que representa una celda espacial dentro del entorno de navegación. El robot móvil, equipado con un receptor óptico, interpreta

este identificador para determinar su ubicación instantánea dentro del área iluminada, Fig. 1.

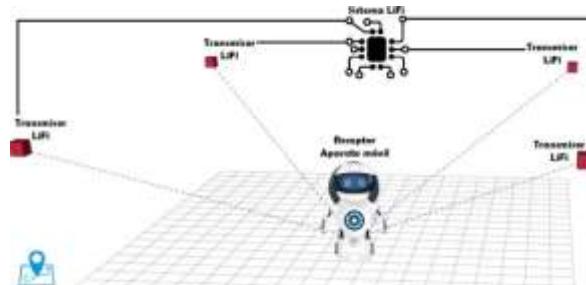


Fig.1: Esquema general del sistema LiFi propuesto.

La localización se basa en los siguientes principios:

1. **Asociación directa entre el ID recibido y la posición física del transmisor LED.**
La posición (x, y) de cada LED se conoce previamente y se almacena en la memoria del microcontrolador.
2. **Cobertura de iluminación parcialmente superpuesta.**
Cada celda luminosa define una región de validez espacial donde el receptor puede leer con fiabilidad la trama óptica correspondiente.
3. **Decodificación de tramas de alta frecuencia.**
El robot identifica las zonas del entorno según el ID óptico detectado y las transiciones entre celdas se interpretan como desplazamiento espacial.
4. **Independencia de interferencias electromagnéticas.**
El uso del espectro visible elimina los problemas de multipath RF, congestión de bandas y ruido electromagnético típicos de WiFi, Bluetooth o UWB.

2.2 Sistema de transmisión LiFi.

El transmisor óptico tiene forma circular con un diámetro de 4.5 cm e integra 20 diodos LED color blanco, es controlado por un Arduino Pro Mini y se alimenta con una fuente de 5V 200mA, Fig. 2. La modulación utilizada para la transmisión de información se basó en IM (Intensity Modulation) mediante PWM (Pulse Width Modulation), codificando los datos en la intensidad de luz [13].



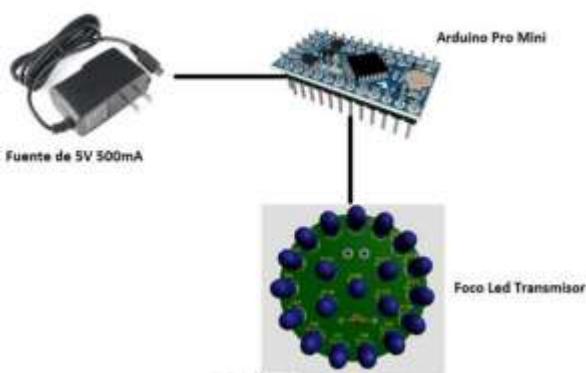


Fig.2: Arquitectura básica de transmisor LiFi.

En total, se utilizaron 16 transmisores LED de alta luminosidad configurados en una matriz 4x4 dispuesta en un plano superior a una altura constante, Fig. 3; cada celda se codificó según su posición, utilizando 8 bits por transmisor: 3 bits de sincronismo y 5 bits de información (Tabla 1).

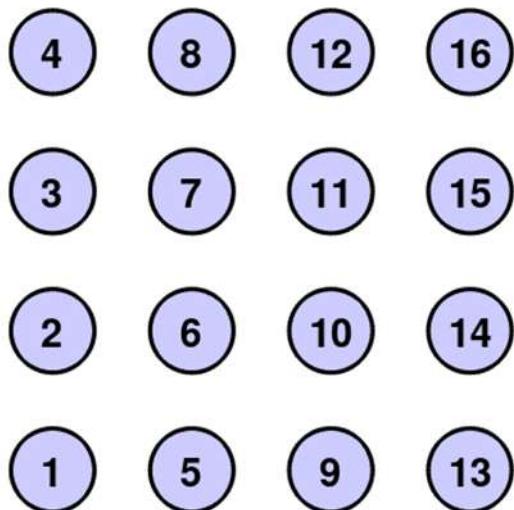


Fig.3: Matriz de transmisores Led.

Tabla 1. Codificación de la posición de los transmisores LiFi

Posición	Bits de sincronismo	Bits de información
1	110	00001
2	110	00010
3	110	00011
4	110	00100
5	110	00101

6	110	00110
7	110	00111
8	110	01000
9	110	01001
10	110	01010
11	110	01011
12	110	01100
13	110	01101
14	110	01110
15	110	01111
16	110	10000

Los bits de sincronismo se transmitieron en 18 ms, mientras que los 5 bits de información se transmitieron en 75 ms, de manera que cada transmisor completaba la emisión de su información codificada en 93 ms, Fig. 4.



Fig.4: Modulación PWM del transmisor LiFi para la celda 1 (11000001).

Para asegurar uniformidad de emisión y estabilidad fotométrica, cada transmisor fue alimentado mediante un driver regulado con protección contra fluctuaciones de corriente.

2.3 Sistema de recepción LiFi.

El sistema de recepción fue diseñado para detectar la modulación óptica emitida por los transmisores LED y convertirla en información digital interpretable. El receptor está compuesto por dos elementos principales: un sensor LDR (Light Dependent Resistor) como fotodetector y un módulo ESP32 como unidad de procesamiento, adquisición y decodificación.

El sensor LDR opera como un convertidor óptico-eléctrico pasivo, cuya resistencia disminuye en función de la intensidad luminosa recibida. Dado que la modulación empleada en el sistema LiFi se basa



en variaciones de intensidad PWM, el LDR permite obtener una señal eléctrica proporcional a dichos niveles luminosos. Esta señal es leída por el conversor ADC (Analog-to-Digital Converter) del ESP32, el cual muestrea el valor instantáneo y lo transforma en valores digitales entre 0 y 4095 (resolución de 12 bits).

Para la decodificación, se estableció un umbral dinámico de intensidad que permite distinguir los dos niveles lógicos utilizados por el transmisor:

- Un valor digital alto asociado al PWM = 255
→ interpreta bit “1”
- Un valor digital bajo asociado al PWM = 136
→ interpreta bit “0”

El algoritmo implementado en el ESP32 realiza la lectura continua del ADC y reconstruye la trama de 8 bits (3 de sincronismo + 5 de datos). Primero, el sistema identifica la secuencia de sincronismo “110”, la cual permite validar la recepción y ubicar el inicio de la trama. Una vez sincronizado, los siguientes 5 bits son decodificados secuencialmente y convertidos al número de identificación de la celda LiFi, lo que corresponde a la posición física específica del robot dentro del escenario.

El ESP32 incorpora además un servidor web embebido, mediante el cual se visualizan en tiempo real:

- los valores digitales recibidos por el ADC,
- la secuencia binaria decodificada,
- y la celda LiFi correspondiente a la posición detectada.

El módulo receptor fue integrado físicamente en un robot móvil seguidor de línea, ubicado en su parte superior para mantener una línea de visión estable hacia los transmisores LED (Fig. 5). De este modo, el robot puede avanzar siguiendo la trayectoria marcada en el suelo mientras el sistema LiFi determina su posición en cada instante, generando un historial de localización para su posterior análisis.

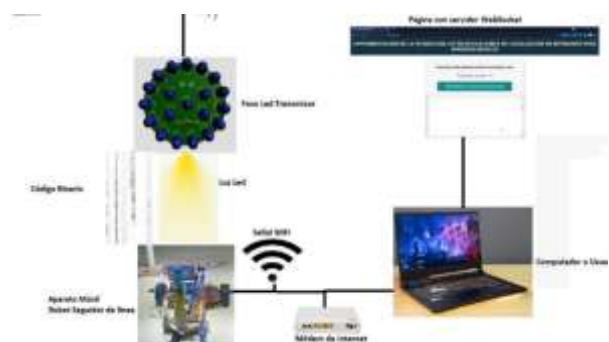


Fig.5: Diagrama de bloques básico del sistema de recepción LiFi.

Para validar el desempeño del sistema de geolocalización LiFi y evaluar su precisión en condiciones reales de operación, se construyó un escenario experimental que permitiera ejecutar múltiples trayectorias repetibles utilizando un robot móvil seguidor de línea. Este escenario consistió en una maqueta física con dimensiones de 122 cm x 122 cm y una altura de 38 cm, sobre la cual se instaló una matriz de 16 transmisores LED distribuidos en una configuración de 4x4, Fig 6.



Fig.6: Escenario de pruebas.

El piso del escenario se preparó con trayectorias pintadas en color negro sobre una superficie blanca, diseñadas para ser detectadas por el sensor infrarrojo del robot seguidor de línea. Cada trayectoria representó un escenario distinto de navegación, incluyendo desplazamientos rectilíneos y giros suaves (Fig. 7), curvas cerradas (Fig. 8), y trayectorias con cambios abruptos de dirección (Fig. 9).

Estas variaciones permitieron evaluar el comportamiento del sistema LiFi ante movimientos dinámicos y diferentes ángulos de recepción respecto a las fuentes luminosas.

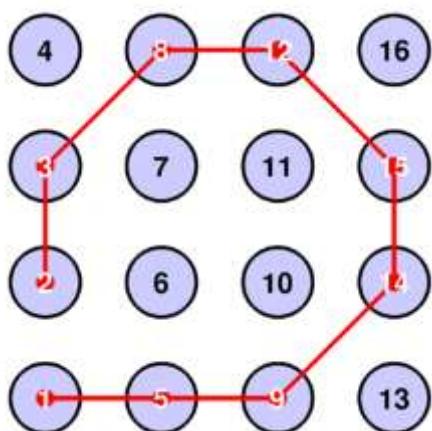


Fig.7: Trayectoria con curvas suaves.

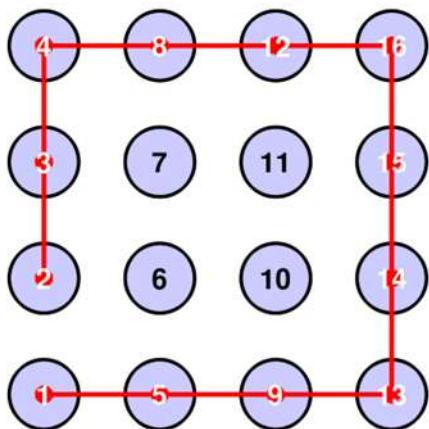


Fig.8: Trayectoria con curvas cerradas.

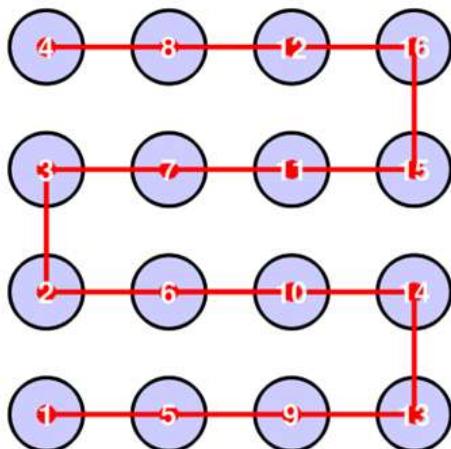


Fig.9: Trayectoria con cambios abruptos de dirección.

Durante las pruebas, el robot recorría cada trayectoria siguiendo la línea negra en el piso, mientras el módulo de recepción (LDR + ESP32) decodificaba continuamente la información óptica emitida por el transmisor correspondiente a la celda dentro de la cual se encontraba. De esta manera, el sistema registró en tiempo real un historial completo de posiciones a medida que el robot avanzaba a lo largo del recorrido.

Cada trayectoria fue repetida un número significativo de veces para analizar la repetibilidad, estabilidad y dispersión espacial de las posiciones detectadas. Estos datos permitieron posteriormente generar mapas de calor que representan la frecuencia de detección en cada celda de la cuadrícula LiFi, facilitando la evaluación cuantitativa del sistema y permitiendo identificar zonas con mayor precisión y áreas donde el receptor experimentó pérdidas de señal o decodificación errónea.

Este enfoque experimental permitió validar la funcionalidad del sistema LiFi en un entorno controlado, modelando condiciones reales de navegación de robots móviles en interiores.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la evaluación del prototipo de localización de robots móviles mediante LiFi, se registraron las trayectorias recorridas por el robot dentro de la matriz de 16 transmisores (4x4), considerando las tres trayectorias de ejemplo planificadas. Los resultados se presentan en términos de error, mapas de calor y secuencias de pasos, permitiendo una comparación visual entre la trayectoria planificada y la trayectoria real registrada.

Para cuantificar la diferencia entre la trayectoria planificada y la trayectoria real, se utilizó la distancia euclídea media por paso, error promedio (EP), definida como:

EP

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_i^{plan} - x_i^{real})^2 + (y_i^{plan} - y_i^{real})^2} \quad (1)$$

Donde N es el número de pasos de la trayectoria, (x_i^{plan}, y_i^{plan}) son las coordenadas de la celda planificada en el paso i , y (x_i^{real}, y_i^{real}) son las coordenadas de la celda real registrada en el mismo paso.

Este indicador permite cuantificar de manera objetiva cuán cercana es la trayectoria real a la planificada.

A continuación, se presentan los resultados individuales para cada trayectoria.

3.1 Trayectoria 1: Curvas suaves.

La trayectoria planificada conectaba progresivamente las celdas [1,5,9,14,15,12,8,3,2]. La trayectoria real registró un intercambio entre las celdas 12 y 15, generando la secuencia [1,5,9,14,12,15,8,3,2], esta se determinó en base las frecuencias mostradas en la Tabla 2. Este desvío originó un error absoluto del 22.2%, correspondiente a dos discrepancias en nueve pasos.

Tabla 2. Repeticiones por celda – Trayectoria 1.

Celda	Repeticiones por celda
1	5
2	1
3	2
4	1
5	1
6	0
7	1
8	3
9	2
10	2
11	0
12	1
13	2
14	1
15	0
16	1

La Fig. 10 muestra la comparación entre la trayectoria planificada (azul) y la real (rojo) junto con el mapa de calor. Se observa que los errores se localizan en las transiciones centrales, lo cual sugiere que las zonas donde convergen varias celdas presentan mayor probabilidad de lecturas ambiguas debido a la superposición luminosa parcial. Así mismo, el mapa de calor mostró una mayor concentración de detecciones en la región central del escenario, consistente con la mayor estabilidad del receptor en zonas con iluminación homogénea.

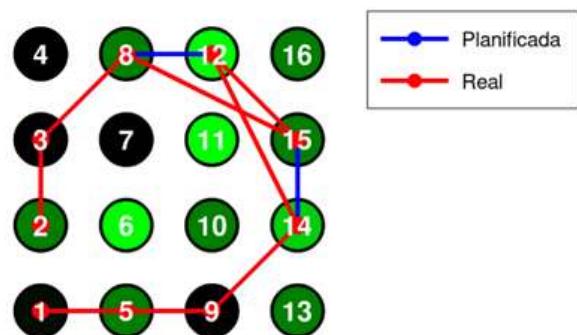


Fig. 10: Mapa de calor de trayectoria con curvas suaves.

3.2 Trayectoria 2: Curvas cerradas.

La trayectoria planificada seguía un recorrido cerrado compuesto por las celdas [1,5,9,13,14,15,16,12,8,4,3,2]. En la trayectoria real se observó un intercambio entre las celdas 3 y 4, lo cual generó la secuencia [1,5,9,13,14,15,16,12,8,3,4,2], establecida utilizando los valores de frecuencia presentados en la Tabla 3. Este intercambio produjo un error absoluto del 16.7%, correspondiente a dos discrepancias en doce pasos.

Tabla 3. Repeticiones por celda – Trayectoria 2.

Celda	Repeticiones por celda
1	4
2	1
3	1
4	2
5	2
6	1
7	1
8	3
9	2
10	2
11	0
12	1
13	2
14	1
15	1
16	2

La Fig. 11 muestra la comparación entre la trayectoria planificada y la real. En este caso, los errores se concentran en la parte final del recorrido, donde el robot ejecuta las curvas cerradas. Esto coincide con lo observado en el mapa de calor, donde se aprecia una dispersión más amplia en la zona central y en las columnas laterales, lo cual indica que los cambios bruscos en la orientación del sensor ocasionan variaciones en el ángulo de incidencia, reduciendo la estabilidad luminosa recibida por el LDR. Pese a ello, la mayor parte del recorrido se mantuvo estable gracias a la alineación geométrica entre celdas contiguas.

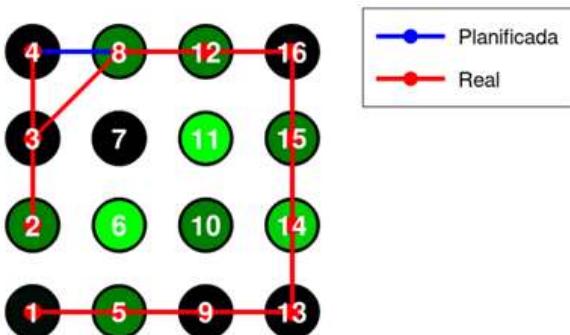


Fig. 11: Mapa de calor de trayectoria con curvas cerradas.

3.3 Trayectoria 3: Trayectoria con cambios abruptos de dirección.

La trayectoria planificada consideraba múltiples giros abruptos, siguiendo la secuencia [1,5,9,13,14,10,6,2,3,7,11,15,16,12,8,4]. La trayectoria real presentó un intercambio entre las celdas 2 y 3, generando la secuencia [1,5,9,13,14,10,6,3,2,7,11,15,16,12,8,4], determinada en base a las frecuencias mostradas en la Tabla 4. Este desvío produjo un error absoluto del 12.5%, el más bajo entre las tres trayectorias evaluadas.

Tabla 4. Repeticiones por celda – Trayectoria 3.

Celda	Repeticiones por celda
1	5

2	2
3	2
4	3
5	1
6	0
7	2
8	3
9	2
10	3
11	0
12	2
13	1
14	1
15	1
16	2

La Fig. 12 evidencia que, a pesar de los cambios bruscos de dirección, la trayectoria real se mantuvo cercana a la planificada. La menor superposición entre celdas no adyacentes redujo la ambigüedad luminosa, lo cual explica el error reducido. El mapa de calor mostró concentraciones definidas en zonas específicas, con menor dispersión que en las trayectorias anteriores, lo que indica una recepción más estable incluso en presencia de cambios rápidos en la dirección de movimiento.

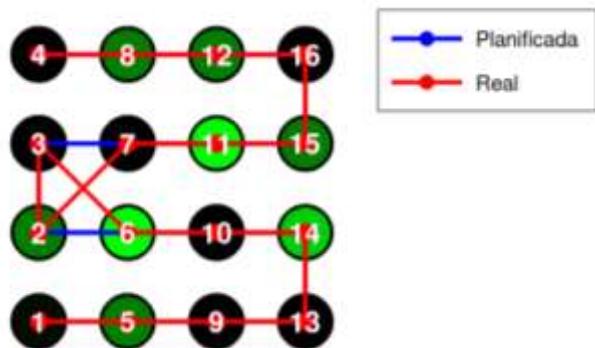


Fig. 12: Mapa de calor de trayectoria cambios abruptos de dirección.

En general, al analizar en conjunto los resultados de las tres trayectorias, se observa que el desempeño del sistema LiFi depende directamente de:

a. La geometría de la trayectoria.

Las trayectorias con curvas suaves (Trayectoria 1) y curvas cerradas (Trayectoria 2) generaron mayor error debido a que el robot permanecía más tiempo



en zonas donde dos o más celdas iluminan simultáneamente.

En cambio, la trayectoria con saltos bruscos (Trayectoria 3) redujo la superposición de patrones luminosos, facilitando la decodificación.

b. La variación del ángulo de incidencia sobre el LDR

Los errores coincidieron con los momentos en que el robot modificaba su orientación respecto a los transmisores.

La sensibilidad angular del LDR afecta la lectura del PWM, en especial cuando el nivel de iluminación entre celdas es similar.

c. La distribución espacial de los transmisores

Las zonas centrales del escenario muestran mayor densidad en el mapa de calor, indicando que la iluminación homogénea favorece la decodificación. Las zonas limítrofes presentan menor repetición debido a que la potencia luminosa decae con la distancia.

En síntesis, el sistema LiFi de localización demostró un desempeño consistente y replicable, con errores absolutos entre 12.5% y 22.2% según la geometría del recorrido. Los resultados concuerdan con limitaciones ya reportadas en sistemas LiFi basados en Cell-ID: superposición luminosa, sensibilidad angular y dependencia de línea de vista. No obstante, la estabilidad del sistema en trayectorias de mayor complejidad geométrica evidencia su viabilidad como alternativa de bajo costo para la localización de robots móviles en entornos interiores.

4. CONCLUSIÓN

El desarrollo del sistema de localización en interiores basado en LiFi demostró que es posible estimar la posición de un robot móvil mediante iluminación codificada utilizando hardware de bajo costo. Las pruebas realizadas sobre tres trayectorias evidenciaron que el sistema reconstruye las secuencias de movimiento con errores absolutos entre 12.5% y 22.2%, valores aceptables considerando el uso de un fotodetector simple (LDR) y un esquema de identificación tipo Cell-ID.

Los mapas de calor mostraron que las celdas centrales presentan mayor estabilidad y frecuencia de detección, mientras que los bordes y zonas de transición fueron las regiones con más errores. Esto confirma que la superposición parcial de iluminación

entre celdas afecta la precisión y que la geometría de la trayectoria influye directamente en el desempeño: las curvas suaves y cerradas incrementaron la ambigüedad luminosa, mientras que los cambios bruscos favorecieron una lectura más clara.

En conjunto, los resultados indican que LiFi es una alternativa viable para aplicaciones de localización en interiores donde las tecnologías de radiofrecuencia pueden ser ineficientes o no permitidas. Si bien la dependencia de la línea de vista y la sensibilidad angular siguen siendo limitantes, el sistema mostró estabilidad y repetibilidad suficientes para escenarios controlados. Como mejora futura se sugiere emplear fotodetectores más rápidos, filtros ópticos y algoritmos de fusión sensorial que permitan aumentar la precisión espacial del método.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Haas and C. Chen, "What is LiFi?," European Conference on Optical Communication, vol. 2015-November, Nov. 2015, doi: 10.1109/ECOC.2015.7341879.
- [2] A. Krishnamoorthy et al., "Optical wireless communications: enabling the next generation network of networks," [ieeexplore.ieee.org](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10974735/), Accessed: Nov. 16, 2025. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10974735/>
- [3] S. Jindal et al., "Tbps wide-field parallel optical wireless communications based on a metasurface beam splitter," nature.com, vol. 146, no. 37, pp. 25536–25543, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.jacs.4c05812.
- [4] S. Ma et al., "Feasibility Conditions for Mobile LiFi," IEEE Trans Wirel Commun, vol. 23, no. 7, pp. 7911–7923, 2024, doi: 10.1109/TWC.2023.3346056.
- [5] T. Aziz and I. Koo, "A Comprehensive Review of Indoor Localization Techniques and Applications in Various Sectors," Applied Sciences 2025, Vol. 15, Page 1544, vol. 15, no. 3, p. 1544, Feb. 2025, doi: 10.3390/APP15031544.
- [6] I. Ullah, D. Adhikari, H. Khan, M. S. Anwar, S. Ahmad, and X. Bai, "Mobile robot localization: Current challenges and future prospective," Comput Sci Rev, vol. 53, p. 100651, Aug. 2024, doi: 10.1016/J.COSREV.2024.100651.
- [7] C. Chen et al., "100 Gbps Indoor Access and 4.8 Gbps Outdoor Point-to-Point LiFi Transmission Systems Using Laser-Based Light Sources," Journal



- of Lightwave Technology, vol. 42, no. 12, pp. 4146–4157, 2024, doi: 10.1109/JLT.2024.3400192.
- [8] H. Cui, S. C. Liew, and H. Chen, “Wi-LiFi: Integrated Optical Wi-Fi for Enhanced Mobile Robotic Communications and Localization,” IEEE Trans Veh Technol, vol. 74, no. 4, pp. 6209–6221, 2025, doi: 10.1109/TVT.2024.3516755.
- [9] M. Sharma, S. Sharma, and O. P. Jindal, “Engineering Management in Production and Services Light Fidelity (Li-Fi) overview and investigation into connection speed,” vol. 13, doi: 10.2478/emj-2021-0005.
- [10] J. M. Gnanasekar and T. Veeramakali, “Light Fidelity (Li-Fi) technology: The future man-machine-machine interaction medium,” Human Communication Technology: Internet-of-Robotic-Things and Ubiquitous Computing, pp. 91–112, Nov. 2021, doi: 10.1002/9781119752165.CH4;JOURNAL:JOURNA
L:BOOKS;WGROU
P:STRING:PUBLICATION.
- [11] V. Georlette, V. M.-2023 23rd I. Conference, and undefined 2023, “Li-Fi and Visible Light Communication for Smart Cities and Industry 4.0: challenges, research & market status in 2023,” ieeexplore.ieee.org, Accessed: Nov. 16, 2025. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10207438/>
- [12] D. W. Dawoud, H. Mukhtar, A. Copiaco, W. Mansoor, and S. Atalla, “Advancing Passenger Experience and Reliability of Autonomous Buses through LiFi Technology,” SAE Technical Papers, Dec. 2023, doi: 10.4271/2023-01-1904.
- [13] M. S. Islim and H. Haas, “Modulation Techniques for Li-Fi,” ZTE Communications, Apr. 2016, Accessed: Nov. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.research.ed.ac.uk/en/publications/modulation-techniques-for-li-fi/>





INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO
CARLOS CISNEROS

TECH

• CARLOS CISNEROS •

ISNN 2737-6036