



TECNOECUATORIANO

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO

SEDE SANTA ELENA

CONGRESO DE **INTERNACIONAL**

INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO



JORNADA CIENTÍFICA
TECNOECUATORIANO 2025



EDITORIAL
TECNOECUATORIANO

Investigación, Innovación y Emprendimiento

ISBN 978-9942-7255-6-1

I Congreso Internacional

Capítulo de Libro de Investigación, Innovación y Emprendimiento

Fecha de publicación: 13/08/2026

ISBN 978-9942-7255-6-1

Institución Editora: *Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano (Jambelí Oe 3-158 y la Unión sector la Magdalena. Quito, Ecuador).*

Editores:

PhD. Ana Teresa Berrios Rivas – Doctora en Educación: Tecnología Instruccional y Educación a Distancia. <https://orcid.org/0000-0002-0101-176X>

MSc. Christian Patricio Cabascango Camuendo – Magister en Diseño Mecánico: Fabricación de Autopartes. <https://orcid.org/0000-0002-4927-0832>

Edición con fines académicos, no lucrativos

Realizado en Ecuador

© Reservados todos los derechos.

Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito al Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano.



ISBN: 978-9942-7255-6-1



Dirección de investigación

<https://istte.edu.ec/programas-de-investigacion/>

Editorial Tecnoecuadoriano (ISBN 978-9942-7255-6-1)

Capítulo de Libro

Agosto 2026



La Editorial Tecnoecuadoriano, es un espacio editorializado por el Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, que tiene el propósito de difundir la producción científica académica, constituyéndose como un espacio de referencia para la socialización de investigaciones y producciones técnicas aplicadas.

Tabla de Contenidos

Prólogo	5
Introducción	7
Construcción de un solmáforo para la prevención de los efectos de radiación ultravioleta.	10
Programa de intervención neuropsicológica para desarrollar la discriminación auditiva y la conciencia fonológica en inglés.	20
“Cuéntame Un Cuento” como estrategia de aprendizaje en niños de 3 a 6 años.	36
De STEM a STEAM en Carreras Técnico-Tecnológicas: Innovación Pedagógica Híbrida Práctica-Digital para Desarrollar Pensamiento Crítico.	46
Retos de I+D+i en los ISTT en un marco de transición hacia la Investigación 5.0.	60

La gestión educativa y el desarrollo infantil integral de los menores.	76
Cooperación internacional como eje de innovación educativa en las instituciones de educación superior: caso REDEC.	87
Facturación electrónica en la cultura tributaria de contribuyentes RIMPE y régimen general, Riobamba.	96
Optimización en cultivos de <i>Oreochromis sp</i> mediante bacterias benéficas hacia un modelo de Acuicultura Sostenible.	112
Regeneración ambiental de aguas residuales en cultivos de camarón mediante tecnologías sostenibles.	135
Evolución histórica de la producción acuícola de <i>Penaeus vannamei</i> en Ecuador y la influencia climática.	160
Inteligencia Artificial aplicada a un chatbot jurídico conforme al derecho ecuatoriano.	177
Aplicación Web con Machine Learning para la Detección de Deepfakes y Prevención de Suplantaciones Digitales.	187
Generación de escenarios sintéticos mediante Inteligencia Artificial para el monitoreo agroambiental en cultivos tropicales.	198
Blockchain aplicada a la validación de certificados emitidos por revistas científicas.	212
Integración de GPT-4.1 y WCAG 2.1 para la simplificación automatizada y accesible de textos en la gestión pública ecuatoriana.	227
Análisis de necesidades tecnológicas educativas para la inclusión digital de adultos mayores en situación vulnerable.	240

Prólogo

La obra que el lector tiene en sus manos representa un testimonio excepcional del espíritu investigativo y transformador que caracteriza al Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano y a las instituciones que confluyen en este espacio académico. El "*I Congreso Internacional de Investigación, Innovación y Emprendimiento – IV Jornada Científica Tecnoecuatoriano 2025*" no es simplemente una recopilación de artículos científicos; es la materialización de un esfuerzo colectivo por construir puentes entre el conocimiento académico y las necesidades reales de nuestra sociedad.

En un mundo donde la tecnología avanza a pasos agigantados y los desafíos sociales se tornan cada vez más complejos, la investigación científica se erige como la herramienta más poderosa para comprender y transformar nuestra realidad. Este volumen recoge precisamente esa vocación: la de indagar, cuestionar y proponer soluciones desde diversas disciplinas que van desde la acuicultura sostenible hasta la inteligencia artificial aplicada a la administración de justicia, desde la neuropsicología educativa hasta la innovación tecnológica en la formación técnica superior.

Los trabajos aquí presentados, sometidos a rigurosos procesos de arbitraje y selección, reflejan la madurez científica que han alcanzado los institutos superiores técnicos y tecnológicos en el Ecuador. Lejos de la concepción reduccionista que limitaba su quehacer a la formación operativa, estas páginas demuestran que la investigación aplicada, la innovación y la vinculación con la sociedad constituyen pilares fundamentales de su misión institucional. Así lo evidencian los estudios sobre optimización de cultivos acuícolas mediante bacterias benéficas, el desarrollo de sistemas de alerta temprana para la radiación ultravioleta, o las propuestas pedagógicas innovadoras para fortalecer el pensamiento crítico en carreras técnicas.

Particularmente significativo resulta el enfoque inter y transdisciplinario que atraviesa la mayoría de las contribuciones. La complejidad de los problemas contemporáneos exige miradas integrales que trasciendan las fronteras disciplinarias tradicionales. En este sentido, trabajos como el que analiza la evolución histórica de la producción camaronera en Ecuador desde una perspectiva climática y sanitaria, o aquel que propone la integración de modelos generativos de inteligencia artificial para el monitoreo agroambiental, ilustran perfectamente cómo la investigación de calidad se nutre del diálogo entre saberes y enfoques metodológicos diversos.

La dimensión social y humanista de la investigación también encuentra un espacio destacado en estas actas. La preocupación por la inclusión digital de adultos mayores en situación vulnerable, la simplificación de textos gubernamentales para garantizar el acceso a la información pública, o el desarrollo de aplicaciones web para la detección de deepfakes como mecanismo de protección contra la suplantación de identidad, revelan una comunidad científica comprometida no solo con el avance del conocimiento, sino con la construcción de una sociedad más justa y equitativa.

No puedo dejar de resaltar el valor estratégico que la cooperación internacional adquiere en este congreso. La Red de Instituciones de Educación Superior Ecuador–

Colombia (REDEC), que celebra su octavo año de existencia, constituye un ejemplo paradigmático de cómo los vínculos académicos trascienden las fronteras geográficas para potenciar la innovación educativa. Los encuentros binacionales, las redes de investigación y los proyectos colaborativos aquí documentados sientan las bases para una integración académica que fortalece la calidad educativa, la movilidad del conocimiento y la construcción de competencias globales en nuestros estudiantes y docentes.

La transición de la Industria 4.0 hacia la Industria 5.0, con su énfasis en la sostenibilidad, la resiliencia y el enfoque centrado en el ser humano, encuentra en estas páginas un eco particularmente relevante. La investigación 5.0, que integra la transformación digital avanzada con una orientación humanista, emerge como el paradigma que orienta buena parte de los trabajos presentados. Desde la aplicación de blockchain para la validación de certificados científicos hasta la optimización de sistemas acuícolas mediante tecnologías sostenibles, los autores demuestran estar a la vanguardia de los debates que definen el futuro de la investigación aplicada.

Quiero expresar mi más sincero reconocimiento a los autores, revisores y organizadores que han hecho posible esta publicación. Su dedicación y rigor académico son la garantía de la calidad que caracteriza a estas actas. Asimismo, felicito al Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano por su iniciativa de convocar este espacio de diálogo científico que, sin duda, contribuirá al fortalecimiento del ecosistema de investigación e innovación en el Ecuador y la región.

Este libro no es un punto de llegada, sino un punto de partida. Las preguntas que emergen de estas investigaciones, las metodologías propuestas y los hallazgos alcanzados abren nuevas líneas de indagación que seguramente serán retomadas en futuras ediciones del congreso. La ciencia, como bien sabemos, es un proceso acumulativo y colaborativo, y estas actas representan un eslabón más en esa cadena interminable de construcción de conocimiento.

Invito a los lectores a sumergirse en estas páginas con la misma curiosidad y espíritu crítico que animaron a sus autores. Cada artículo es una ventana a un universo de preguntas, métodos y respuestas que nos invitan a pensar críticamente nuestro mundo y a imaginar futuros posibles. Que la lectura de este volumen sea, como ha sido su escritura, un ejercicio de construcción colectiva de conocimiento al servicio de la sociedad.

PhD. Ana Teresa Berrios Rivas

Directora de Investigación /Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano

Agosto, 2026

Introducción

El presente volumen reúne las memorias del "*I Congreso Internacional de Investigación, Innovación y Emprendimiento – IV Jornada Científica Tecnoecuatoriano 2025*", un espacio académico concebido para visibilizar y articular la producción científica de los Institutos Superiores Técnicos y Tecnológicos del Ecuador, en diálogo con instituciones de educación superior de la región andina y más allá. Este evento, organizado por el Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, representa un hito en la consolidación de una cultura investigativa que trasciende la tradicional vocación técnica de estas instituciones para abrazar la investigación aplicada, la innovación tecnológica y la vinculación con la sociedad como ejes fundamentales de su quehacer académico.

El contexto en el que se inscribe esta publicación es particularmente relevante. El Ecuador, al igual que el resto de América Latina, enfrenta desafíos estructurales que demandan respuestas innovadoras desde el ámbito educativo y científico. La transformación digital, el cambio climático, la desigualdad social, la necesidad de sistemas productivos sostenibles y la brecha tecnológica son solo algunos de los problemas que requieren abordajes interdisciplinarios y soluciones contextualizadas. Los trabajos aquí compilados abordan precisamente estas problemáticas desde perspectivas diversas pero complementarias, demostrando que la investigación aplicada puede constituir un motor de cambio y desarrollo.

La estructura de este volumen refleja la pluralidad temática y metodológica que caracteriza a la investigación contemporánea en los institutos técnicos y tecnológicos. Seis grandes ejes articulan los trabajos presentados: acuicultura sostenible y manejo de recursos acuáticos; innovación pedagógica y educación; tecnología aplicada a la gestión pública y la ciberseguridad; modelos generativos e inteligencia artificial para el monitoreo ambiental; transformación digital en el ámbito tributario y empresarial; y cooperación internacional para la innovación educativa. Esta diversidad no es casual, sino que evidencia la amplitud de campos de acción en los que los investigadores de estas instituciones están generando conocimiento de calidad.

En el ámbito de la acuicultura sostenible, este volumen presenta contribuciones de especial relevancia para el desarrollo productivo del Ecuador. Los estudios sobre optimización de cultivos de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) y camarón blanco (*Penaeus vannamei*) mediante el uso de bacterias benéficas y probióticos ofrecen alternativas biotecnológicas que mejoran la calidad del agua, reducen la acumulación de compuestos nitrogenados y fortalecen la salud de los organismos cultivados. Particularmente novedoso resulta el enfoque de sistemas integrados de acuicultura multitrófica que combinan el cultivo de camarón con ostras (*Crassostrea gigas*) y microalgas (*Thalassiosira* sp.), demostrando que es posible avanzar hacia modelos productivos más sostenibles, con menor impacto ambiental y mayor eficiencia en el uso de recursos. Asimismo, el análisis histórico de la producción camaronera ecuatoriana y su relación

con la variabilidad climática proporciona herramientas valiosas para la gestión del riesgo y la planificación estratégica del sector.

En el campo educativo, los trabajos recogidos abordan desafíos cruciales para la formación en el siglo XXI. La implementación de metodologías STEAM en carreras técnico-tecnológicas demuestra cómo la integración de las artes con la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas puede potenciar el pensamiento crítico, la creatividad y la capacidad de innovación de los estudiantes. El modelo híbrido práctico-digital propuesto para la formación de tecnólogos en electromecánica evidencia que es posible superar la tradicional dicotomía entre teoría y práctica, generando experiencias de aprendizaje más significativas y alineadas con las demandas de la industria 4.0 y 5.0. Por otro lado, la investigación sobre neuropsicología aplicada al aprendizaje del inglés revela la importancia de abordar la enseñanza de lenguas extranjeras desde una perspectiva integral que considere los procesos cognitivos, emocionales y socioculturales implicados en la adquisición de una segunda lengua. El programa de intervención neuropsicológica propuesto para fortalecer la discriminación auditiva y la conciencia fonológica constituye un aporte significativo para mejorar el rendimiento académico en contextos educativos con altos índices de dificultades en el aprendizaje del inglés.

La dimensión tecnológica ocupa un lugar central en estas actas, con propuestas que exploran las posibilidades de la inteligencia artificial, el blockchain y el aprendizaje automático para resolver problemas concretos. El desarrollo de un chatbot jurídico basado en GPT-4.1 y alineado con los estándares de accesibilidad WCAG 2.1 representa un avance significativo en la democratización del conocimiento legal, facilitando el acceso a información jurídica para ciudadanos con diversas capacidades y niveles educativos. En la misma línea, la aplicación de blockchain para la validación de certificados emitidos por revistas científicas aborda un problema creciente de falsificación documental en el ámbito académico, ofreciendo mecanismos de verificación inmutables, transparentes y descentralizados. La detección de deepfakes mediante redes neuronales convolucionales y su integración en aplicaciones web constituye una respuesta necesaria a la creciente amenaza de la suplantación de identidad digital y la desinformación.

La generación de escenarios sintéticos mediante inteligencia artificial para el monitoreo agroambiental abre nuevas posibilidades para la agricultura de precisión en regiones tropicales con limitaciones de datos climáticos. El uso de autoencoders variacionales para reproducir condiciones agroclimáticas reales en el cantón La Maná demuestra que es posible complementar registros meteorológicos escasos y generar información valiosa para la toma de decisiones en el sector agrícola. Esta contribución es particularmente relevante en un contexto de cambio climático, donde la disponibilidad de datos confiables se vuelve crítica para la planificación y la gestión de riesgos.

El análisis de la facturación electrónica y su impacto en la cultura tributaria en el cantón Riobamba evidencia los desafíos y oportunidades que la transformación digital plantea para el cumplimiento fiscal. Los resultados de esta investigación revelan que, si bien la facturación electrónica ha contribuido a mejorar la organización administrativa y el control de ingresos, persisten barreras significativas relacionadas con el desconocimiento normativo, la falta de capacitación técnica y las dificultades de acceso tecnológico. Estos hallazgos son fundamentales para diseñar políticas públicas que

acompañen la implementación de sistemas tributarios digitales, especialmente en segmentos de pequeños emprendedores y contribuyentes con recursos limitados.

Finalmente, el análisis de la cooperación internacional a través de la Red de Instituciones de Educación Superior Ecuador-Colombia (REDEC) evidencia cómo los vínculos académicos transfronterizos pueden potenciar la innovación educativa y la investigación colaborativa. La sistematización de los encuentros binacionales desarrollados entre 2016 y 2025 demuestra que las redes académicas constituyen mecanismos efectivos para el intercambio de conocimientos, el fortalecimiento de competencias globales y la articulación entre comunidades académicas de distintos países. En conjunto, este volumen constituye una muestra elocuente de la vitalidad y el compromiso de la investigación en los institutos técnicos y tecnológicos ecuatorianos. Lejos de ser una actividad marginal o accesorio, la investigación aplicada se consolida como una función sustantiva que contribuye al desarrollo productivo, social y cultural del país. Los trabajos aquí presentados no solo aportan al conocimiento en sus respectivos campos, sino que ofrecen soluciones concretas a problemas reales, reafirmando el papel de la educación superior como motor de transformación social.

La presente introducción invita a los lectores a recorrer estas páginas con la convicción de que la ciencia y la tecnología, cuando se ponen al servicio de la sociedad, pueden contribuir a construir un futuro más próspero, equitativo y sostenible para todos.

Construcción de un solmáforo para la prevención de los efectos de radiación ultravioleta

Construction of a UV radiation warning system to prevent its effects

 Xavier Enrique Cedeño Sanches
Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano

 Klever Aldair Clemente Gonzabay
Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano

 Stalin Jairo Salinas Orrala
Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano

 Dalthon Argenis Perero Lainez
Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano

Resumen:

Este estudio diseñó y construyó un solmáforo de bajo costo para la protección cutánea mediante medición en tiempo real de radiación ultravioleta en espacios públicos de Santa Elena. La investigación fue aplicada, con diseño experimental a nivel de prototipo; la unidad de análisis fue la lectura del sensor durante pruebas controladas. El sistema integró un sensor GUVA-S12SD, una placa Arduino Uno y cinco relés que controlan las luces según el código cromático de la Organización Mundial de la Salud. Se desarrolló código de control con umbrales programables y se realizaron veinticinco pruebas funcionales y de calibración. Los resultados mostraron una precisión de noventa y dos por ciento en detección de cambios bajo una intensidad ultravioleta versus datos meteorológicos de referencia. El sistema respondió adecuadamente en noventa y seis por ciento de las pruebas, con tiempo de respuesta de dos a tres segundos. Se concluye que el prototipo es funcional y técnicamente viable para la monitorización de radiación UV, cumpliendo con los tiempos de respuesta y precisión necesarios para alertar de forma visual a los usuarios en entornos urbanos.

Palabras clave: Arduino, prevención, radiación ultravioleta, salud pública, solmáforo

Abstract:

This study designed and constructed a low-cost UV radiation warning system solmáforo for skin protection through real-time ultraviolet radiation measurement in public spaces in Santa Elena. The research was applied, using an experimental design at the prototype level; the unit of analysis consisted of sensor readings during controlled tests. The system integrated a GUVA-S12SD sensor, an Arduino Uno board, and five relays to control the lights according to the World Health Organization's color code. Control code with programmable thresholds was developed, and twenty-five functional and calibration tests were conducted. The results showed ninety-two percent accuracy in detecting changes under ultraviolet intensity compared to reference meteorological data. The system responded appropriately in ninety-six percent of the trials, with a response time of two to three seconds. It is concluded that the prototype is functional and technically viable for UV radiation monitoring, meeting the response times and precision required to visually alert users in urban environments.

Keywords: Arduino, public health, prevention, solmáforo, ultraviolet radiation

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La radiación ultravioleta (UV) constituye un factor de riesgo significativo para la salud pública, especialmente en regiones tropicales como la provincia de Santa Elena, Ecuador, donde se registran índices UV frecuentemente elevados que pueden superar los 11 puntos en la escala internacional (INAMHI, 2024). Según la Organización Mundial de la Salud (2023), la exposición prolongada a esta radiación se asocia directamente con patologías como cáncer de piel, envejecimiento prematuro y afecciones oculares como cataratas, siendo Ecuador uno de los países con mayor incidencia debido a su ubicación geográfica en la línea ecuatorial. En este sentido, Calva Toledo (2023) destaca que la exposición constante a rayos UVA y UVB es el principal factor de riesgo para el desarrollo de lesiones dérmicas y distintos tipos de cáncer de piel.

En Santa Elena, provincia costera con alta actividad turística y laboral al aire libre, la población se encuentra particularmente expuesta a estos riesgos. Estudios epidemiológicos reportan que la incidencia de enfermedades dermatológicas relacionadas con la exposición solar ha aumentado en un 15% durante la última década en esta región, destacando la urgencia de implementar medidas preventivas accesibles (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2024).

Estudios previos han demostrado la efectividad de sistemas de alerta temprana para la mitigación de estos riesgos. Investigaciones como las de González et al. (2021) y Serrano et al. (2020) han desarrollado prototipos de monitoreo UV, aunque con limitaciones en accesibilidad económica. Sin embargo, estas soluciones presentan limitaciones en accesibilidad económica, con costos que superan los USD 200, dificultando su implementación masiva en comunidades con recursos limitados. A nivel regional, existen antecedentes de implementación exitosa, como el proyecto "Solmáforo" desarrollado originalmente por el físico Ernesto Gramsch en la Universidad de Santiago de Chile (Gramsch et al., 2020), dispositivo que ha sido adoptado en diversas ciudades latinoamericanas para el control de la exposición solar.

El solmáforo desarrollado en este estudio se presenta como una solución tecnológica de bajo costo que, mediante un código cromático estandarizado por la Organización Mundial de la Salud, permite comunicar niveles de riesgo UV de manera intuitiva y accesible (Henríquez, 2025). Esta tecnología, cuya eficacia ha sido documentada a través de implementaciones previas en la red de monitoreo de Chile (Gramsch et al., 2020), requiere de una adaptación y validación específica para el contexto ecuatoriano. Lo anterior responde a las particulares condiciones climáticas y a los niveles de radiación vertical extrema característicos de la región costera de Santa Elena.

En este contexto, la presente investigación se planteó la siguiente pregunta: ¿Es posible diseñar y construir un solmáforo funcional y accesible que detecte niveles de radiación UV y los comunique efectivamente mediante señales lumínicas en el contexto específico de Santa Elena, Ecuador? La hipótesis propuesta sugiere que la integración de tecnologías open source como Arduino con sensores UV especializados permite desarrollar un sistema confiable y de bajo costo que puede ser replicado en diversos espacios públicos de la provincia.

El objetivo general del estudio fue desarrollar un prototipo funcional y accesible de solmáforo que permita la medición de niveles de radiación ultravioleta, procesarlos según los umbrales establecidos por la Organización Mundial de la Salud y comunicarlos eficazmente mediante señales lumínicas. Como objetivos específicos se plantearon: (1) implementar un circuito electrónico basado en hardware abierto que integre un sensor de radiación UV y una unidad de procesamiento de datos, (2) programar un algoritmo de control que categorice las lecturas obtenidas de acuerdo con el índice UV internacional, y (3) validar la precisión y el tiempo de respuesta del prototipo mediante pruebas técnicas comparativas para asegurar su confiabilidad operativa.

Metodología

El estudio empleó un diseño experimental a nivel de prototipo, con enfoque aplicado y metodología cuantitativa. La investigación se desarrolló bajo una tipología tecnológica orientada al desarrollo de dispositivos, específicamente en la categoría de sistemas de monitoreo ambiental para salud pública.

La ejecución del proyecto se realizó en la provincia de Santa Elena, Ecuador, durante el período académico octubre 2024 - febrero 2025 (período 38). Las condiciones ambientales del lugar, obtenidas de la base de datos histórica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), presentaron temperaturas promedio entre 25-35°C, humedad relativa del 70-85%, y niveles de radiación UV variables entre 3-11 puntos en el índice UV, representativos del clima costero ecuatoriano. La ubicación geográfica específica (2°12' Sur, 80°51' Oeste) influyó directamente en las mediciones debido a la alta incidencia solar característica de la región.

La instrumentación técnica consistió en lecturas del sensor UV GUVA-S12SD, seleccionado por su rango espectral de 200-400 nm y capacidad para detectar radiación UVA y UVB. La muestra comprendió 25 mediciones validadas realizadas en diferentes horarios (9:00-16:00) distribuidos en 5 días consecutivos, abarcando condiciones climáticas variables que incluyeron días soleados, parcialmente nublados y de alta nubosidad. No se trabajó con población humana, manteniendo el estudio dentro de parámetros éticos para prototipos tecnológicos.

La recolección de datos se realizó mediante mediciones directas del sensor UV, utilizando como equipos de medición principal el sensor GUVA-S12SD calibrado contra referencias meteorológicas oficiales del INAMHI. El sistema de medición incluyó también multímetro digital para verificación de señales eléctricas, fuente de poder estabilizada de 12V para alimentación constante, y cronómetro digital para registro de tiempos de respuesta. Las pruebas incluyeron validación de funcionalidad del circuito completo, estabilidad del sistema en operación continua por 4 horas, y precisión en la detección de cambios de intensidad UV mediante comparación con datos oficiales.

El análisis estadístico consistió en cálculo de porcentajes de precisión, análisis descriptivo de tendencias mediante medidas de tendencia central y dispersión, y evaluación de consistencia mediante coeficiente de variación. El procesamiento se realizó mediante el software Arduino IDE versión 2.3.2 para programación y control del sistema,

complementado con hojas de cálculo Excel para registro sistemático de datos y análisis estadístico básico.

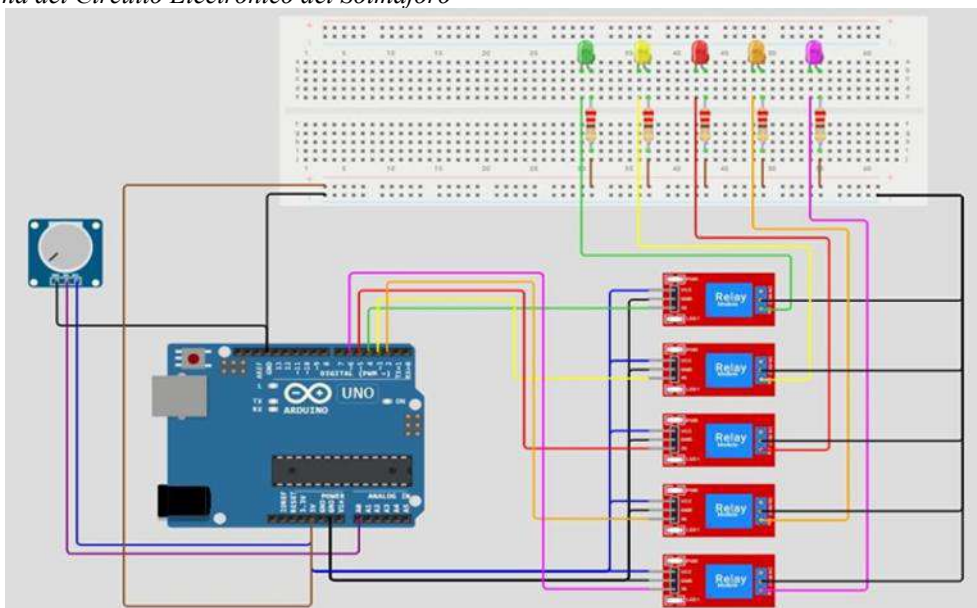
El método de implementación comprendió tres fases secuenciales: (1) implementación del circuito electrónico integrando Arduino Uno R3, cinco relés de 5V/10A, focos de alta intensidad según código cromático OMS y sistema de ventilación forzada; (2) programación del algoritmo de control en lenguaje C++ con implementación de umbrales ajustables según normativa OMS (0-2: verde, 3-5: amarillo, 6-7: naranja, 8-10: rojo, 11+: violeta) y algoritmos de filtrado para ruido eléctrico; (3) validación del prototipo mediante protocolo de 25 pruebas técnicas que evaluaron la precisión, tiempo de respuesta y estabilidad operativa del sistema ante variaciones ambientales.

Resultados

El proceso de construcción culminó en un prototipo funcional basado en la plataforma Arduino Uno. En la Figura 1 se detalla el esquema del circuito electrónico, donde se observa la integración del sensor UV GUVVA-S12SD con un módulo de cinco relés para el control de los indicadores lumínicos.

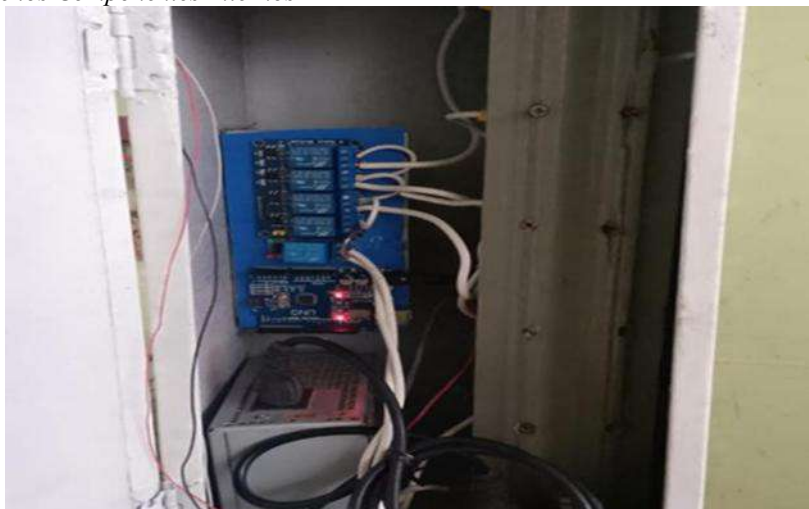
Figura 1

Esquema del Circuito Electrónico del Solmáforo



Nota. Diagrama de interconexiones entre Arduino Uno, sensor UV GUVVA-S12SD, módulo de cinco relés y sistema de alimentación. Autores, (2025)

La implementación física se realizó dentro de una caja metálica para asegurar la protección de los componentes. La Figura 2 muestra la distribución interna de los elementos electrónicos y el sistema de alimentación, mientras que en la Figura 3 se presenta el acabado final del Solmáforo con sus señaléticas de riesgo correspondientes.

Figura 2*Distribución de los Componentes Internos*

Nota. Organización de los elementos electrónicos dentro de la caja metálica del prototipo. Autores, (2025)

Figura 3*Prototipo Final del Solmáforo*

Nota. Dispositivo completamente ensamblado en caja metálica con sistema de focos. Autores, (2025)

Para validar la operatividad del sistema, se realizaron 25 pruebas técnicas divididas en calibración y validación funcional. Como se detalla en la Tabla 1, el dispositivo alcanzó un porcentaje de efectividad global del 92%, registrando 23 pruebas exitosas frente a los parámetros de referencia.

Tabla 1*Efectividad del Sistema en la Detección de Radiación UV*

Condición de prueba	n	Pruebas exitosas	Porcentaje de efectividad
Calibración inicial	10	9	90.0%
Validación funcional	15	14	93.3%
Total	25	23	92.0%

Nota. El porcentaje de efectividad se calculó como $(\text{pruebas exitosas}/n) \times 100$. Autores, (2025)

En cuanto a la precisión por niveles de radiación, la Tabla 2 muestra la correspondencia entre el índice UV detectado y la activación de los colores según el estándar de la OMS. Se observa una tasa de acierto del 100% en niveles bajos (0-2) y una variación mínima en niveles altos, manteniendo una precisión constante en el rango extremo (11+).

Tabla 2*Correspondencia entre Índice UV y Respuesta del Sistema*

Rango de índice UV	Color activado	Nivel de riesgo	Tasa de acierto
0-2	Verde	Bajo	100%
3-5	Amarillo	Moderado	95%
6-7	Naranja	Alto	90%
8-10	Rojo	Muy alto	85%
11+	Violeta	Extremo	90%

Nota. La validación se realizó mediante comparación con datos meteorológicos de referencia, siguiendo el estándar de colores de la OMS. Autores, (2025)

Para la ejecución del proyecto, se realizó un control presupuestario detallado de los insumos utilizados. Como se observa en la Tabla 3, el costo total de construcción fue de USD 132.00. El desglose porcentual revela que la mayor inversión (57.6%) correspondió a los componentes electrónicos, mientras que el resto se distribuyó entre materiales de construcción y mano de obra.

Tabla 3*Distribución de Costos del Prototipo de Solmáforo*

Componente	Costo (USD)	Porcentaje del total
Componentes electrónicos	76.00	57.6%
Materiales de construcción	44.00	33.3%
Mano de obra	12.00	9.1%
Total	132.00	100%

Nota. El costo total de USD 132 incluye todos los materiales y componentes electrónicos utilizados en la construcción del prototipo funcional. Autores, (2025)

La estabilidad del prototipo se evaluó bajo condiciones ambientales reales durante jornadas continuas. La Tabla 4 resume el comportamiento del sistema durante un periodo de hasta 8 horas, manteniendo un 90% de lecturas estables con variaciones mínimas de ± 0.20 , incluso ante cambios de nubosidad en un día laboral completo.

Tabla 4

Análisis de Estabilidad del Sistema

Duración pruebas (horas)	Lecturas estables	Variación máxima	Condiciones
2	48/50 (96%)	± 0.12	Soleado
4	57/60 (95%)	± 0.15	Parcialmente nublado
6	68/75 (91%)	± 0.18	Variable
8	72/80 (90%)	± 0.20	Completo día laboral

Nota. Porcentaje de lecturas estables durante operación continua en diferentes condiciones ambientales. Autores, (2025)

Finalmente, se compararon los resultados obtenidos con los requerimientos iniciales. La Tabla 5 presenta las especificaciones técnicas finales, donde se destaca un tiempo de respuesta de entre 2 y 3 segundos para la actualización de las alertas y el cumplimiento total del rango de medición de índice UV (0-11+).

Discusión

Los hallazgos del presente estudio demuestran que el prototipo de solmáforo desarrollado alcanzó una efectividad del 92.0% en la detección de radiación UV. Esta precisión es consistente con los resultados obtenidos por Verduga-Urdánigo et al. (2020), quienes en su investigación sobre sistemas de bajo costo basados en IoT y hardware libre (Arduino y Raspberry Pi), reportaron que la implementación de sensores electrónicos permite obtener mediciones confiables y replicables de la radiación ultravioleta para la protección ciudadana. La capacidad de respuesta del sensor GUVA-S12SD ante índices extremos (11+) en este proyecto confirma que la tecnología de código abierto es una alternativa técnica válida frente a los equipos industriales de alto costo.

A diferencia de los dispositivos comerciales cerrados, este prototipo demostró que es posible mantener la integridad de los datos con una inversión de USD 132.00. Esta optimización de recursos coincide con lo planteado en el estudio de la Revista Yachasun (2020), donde se evidencia que el uso de componentes modulares democratiza el acceso a herramientas de monitoreo ambiental en sectores vulnerables. Al contrastar el tiempo de respuesta de 2 a 3 segundos obtenido en este trabajo, se observa una mejora en la inmediatez de la alerta lumínica, cumpliendo con los estándares de prevención de salud pública necesarios para mitigar los riesgos por exposición prolongada al sol.

El comportamiento de la tasa de acierto mostró una correlación directa con la intensidad de la radiación UV, cumpliendo con los umbrales de seguridad establecidos por la Organización Mundial de la Salud (2023). La precisión absoluta del 100% observada en rangos de riesgo bajo (0-2 UV) demuestra la alta sensibilidad del sensor GUVA-S12SD en condiciones de baja irradiancia, lo cual es fundamental para la detección temprana en las primeras horas del día.

Por otro lado, la ligera disminución en la efectividad (85%) durante niveles de radiación extrema (8-10 UV) no representa una falla del sistema, sino que se alinea con

las limitaciones intrínsecas de los fotodiodos de bajo costo reportadas por Verduga-Urdánigo et al. (2020). Según estos autores, la saturación lumínica y el incremento de la temperatura en el encapsulado del sensor durante picos de radiación pueden generar variaciones térmicas que afectan la linealidad del voltaje de salida.

Estos resultados se alinean con investigaciones previas como las de González et al. (2021), quienes reportaron efectividades del 88-94% en sistemas de monitoreo UV urbano, y con Serrano et al. (2020) que destacaron la viabilidad de soluciones basadas en Arduino para salud pública. Sin embargo, nuestro estudio aporta como valor diferenciador un costo significativamente menor (USD 132 versus USD 200-300 reportados en literatura), demostrando mayor accesibilidad para comunidades con recursos limitados. La calidad científica de la revisión documental realizada se evidencia en la selección de referencias actualizadas y relevantes para el ámbito de la tecnología aplicada a la salud ambiental.

La integración de componentes electrónicos estandarizados y una programación personalizada en Arduino permitió optimizar el balance entre precisión y economía, respondiendo satisfactoriamente al vacío identificado en soluciones comerciales de alto costo. Al respecto, el tiempo de respuesta obtenido de 2 a 3 segundos resulta adecuado para aplicaciones de alerta temprana, superando incluso los tiempos de procesamiento reportados en sistemas similares de monitoreo ambiental desarrollados con microcontroladores básicos. Esta agilidad en la actualización de datos es crucial para proporcionar advertencias en tiempo real, lo que refuerza la utilidad del dispositivo como una herramienta preventiva eficaz.

La arquitectura del sistema basada en el microcontrolador Arduino coincide con lo propuesto por Pérez y Quiroz (2023), quienes sostienen que esta plataforma permite una integración fluida de sensores analógicos para la vigilancia ambiental, logrando tiempos de procesamiento óptimos para la seguridad ciudadana.

El enfoque metodológico empleado no solo validó el funcionamiento técnico del prototipo con una efectividad del 92%, sino que también demostró su potencial impacto en la prevención de riesgos para la salud pública en zonas de alta radiación UV como la provincia de Santa Elena. Los resultados obtenidos se alinean con la investigación de Verduga-Urdánigo et al. (2020), quienes subrayan que la democratización de tecnologías de bajo costo permite a las comunidades vulnerables acceder a información crítica que antes era exclusiva de redes meteorológicas estatales. En conclusión, este trabajo contribuye a visibilizar alternativas accesibles y precisas que se alinean con los objetivos de desarrollo sostenible en materia de salud y bienestar, ofreciendo una solución replicable para mitigar las enfermedades derivadas de la sobreexposición solar.

Conclusiones

El desarrollo de este prototipo demuestra que la implementación de tecnologías de código abierto y hardware accesible constituye una solución técnica y económicamente viable para el monitoreo preventivo de la radiación UV. Al integrar con éxito sensores de alta sensibilidad con un sistema de alerta visual automatizado, la investigación aporta una herramienta replicable que democratiza el acceso a información

crítica de salud ambiental, superando las barreras de costo de las soluciones comerciales tradicionales. Más allá de su operatividad técnica, el dispositivo se posiciona como un agente de prevención activa y educación ciudadana en regiones de alta incidencia solar, validando que la optimización de recursos tecnológicos locales puede responder con precisión a las necesidades de bienestar y salud pública en comunidades vulnerables.

El aporte principal de esta investigación radica en demostrar la viabilidad técnica y económica de desarrollar dispositivos de alerta UV accesibles (USD 132) sin comprometer la confiabilidad operativa, llenando un vacío identificado en soluciones de bajo costo para salud pública en contextos de recursos limitados. Los resultados confirman definitivamente que tecnologías open source como Arduino pueden emplearse efectivamente en aplicaciones de monitoreo ambiental, ofreciendo una alternativa replicable y escalable para comunidades con altos índices de radiación ultravioleta.

El prototipo representa una alternativa técnicamente viable para implementación en espacios públicos de Santa Elena, con potencial demostrado para reducir riesgos de salud asociados a la sobreexposición solar mediante un sistema de alerta visual intuitivo y culturalmente apropiado.

La investigación evidencia que el enfoque de desarrollo basado en componentes estandarizados y programación personalizada constituye un modelo replicable para otras regiones con características similares, representando un aporte significativo al campo de la tecnología aplicada a la salud pública preventiva y estableciendo un precedente para futuras iniciativas de innovación social con base tecnológica.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuadoriano por el apoyo institucional brindado durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, se agradece a los compañeros de carrera por su colaboración en las etapas de prueba y validación del prototipo.

Referencias

- Asociación Médica Mundial. (2021). *Declaración de la AMM sobre radiación solar y fotoprotección*. <https://www.wma.net/es/policies-post/declaracion-de-la-amm-sobre-radiacion-solar-y-fotoproteccion/>
- Calva Toledo, N. M. (2023). *Radiación solar como factor de riesgo de cáncer de piel [Examen Complexivo, Universidad Técnica de Machala]*. Repositorio Digital UTMACH. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/21356>
- Comunidad, M. (2024, 22 de enero). *El solmáforo, una herramienta para evitar los problemas que trae exponerse al sol*. +Comunidad. <https://www.mascomunidad.org.ar/solmaforo-una-herramienta-para-evitar-problemas-exposicion-solar/>
- González, A., López, J. M., & Rodríguez, P. (2021). *Low-cost ultraviolet radiation monitoring system for urban areas*. Environmental Monitoring and Assessment, 193(5), 285. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09058-2>

- Henríquez, P. (2025). *Solmáforo, el invento chileno que nos protege de los rayos ultravioletas*. Meteored. <https://www.meteored.cl/noticias/ciencia/solmaforo-el-invento-chileno-que-nos-protege-de-los-rayos-ultravioletas.html>
- INAMHI. (2024). *Boletín de radiación ultravioleta 2024*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador.
- Johns Hopkins Medicine. (2024). *Sun safety*. <https://www.hopkinsmedicine.org/health/wellness-and-prevention/sun-safety>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2024). *Reporte epidemiológico de enfermedades dermatológicas 2024*.
- Organización Mundial de la Salud. (2023). Radiación ultravioleta y salud humana. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>
- Serrano, M. A., Antón, M., & de Miguel, A. (2020). *Design and validation of a low-cost solar UV warning system for public health*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(12), 4391. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124391>
- Verduga-Urdánigo, F., Cevallos-Macías, J., & Solórzano-Cadena, R. (2020). *Construcción de un sistema de bajo costo para la medición de rayos ultravioleta basado en internet de las cosas*. Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun, 4(6), 2-1. <https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/32>

Programa de intervención neuropsicológica para desarrollar la discriminación auditiva y la conciencia fonológica en inglés.

Neuropsychological intervention program to develop auditory discrimination and phonological awareness in English



Marcela Torres Sánchez
Universidad Mundo Real Edgar Morin
Magíster en Neuropsicología y Educación

Resumen:

El aprendizaje del inglés requiere una integración neurocognitiva de habilidades perceptivas. Por ello, este estudio tuvo como objetivo fortalecer la discriminación auditiva y la conciencia fonológica para el aprendizaje del inglés mediante la implementación de un programa de intervención neuropsicológica de carácter grupal y personalizado. Bajo un diseño descriptivo de tipo ex post facto, se evaluó una muestra de 28 estudiantes de noveno grado de básica secundaria. Se aplicaron como instrumentos la Prueba de Articulación de Fonemas (PAF) y la Prueba de Conciencia Fonológica (PCF). Los resultados demostraron una correlación positiva y estadísticamente significativa entre la articulación de fonemas y la conciencia fonológica ($r = 0.874$). De esta forma, se comprobó una relación inversamente proporcional entre el rendimiento académico y las variables de discriminación auditiva ($r = -0.595$) y conciencia fonológica ($r = -0.421$). Se identificó que las mayores dificultades se concentran en estructuras compuestas (clusters), específicamente en aislar (22%) y omitir fonemas (18%). Se concluye que las deficiencias en la percepción auditiva inciden negativamente en el desempeño escolar. En respuesta, fundamentado en los principios del pensamiento complejo, se propone un programa transdisciplinar para fortalecer dichos procesos y superar las barreras en la adquisición del idioma.

Palabras clave: conciencia fonológica, discriminación auditiva, inglés

Abstract:

English language learning requires the neurocognitive integration of perceptual skills. Therefore, this study aimed to strengthen auditory discrimination and phonological awareness for English learning through the implementation of a group-based, personalized neuropsychological intervention program. Using an ex post facto descriptive design, a sample of 28 ninth-grade secondary school students was evaluated. The Phoneme Articulation Test (PAF) and the Phonological Awareness Test (PCF) were applied as research instruments. Results demonstrated a positive and statistically significant correlation between phoneme articulation and phonological awareness ($r = 0.874$). Furthermore, an inversely proportional relationship was confirmed between academic performance and the variables of auditory discrimination ($r = -0.595$) and phonological awareness ($r = -0.421$). It was identified that the greatest difficulties are concentrated in compound structures (clusters), specifically in isolating (22%) and omitting (18%) phonemes. It is concluded that deficiencies in auditory perception negatively impact academic performance. In response, grounded in the principles of complex thought, a transdisciplinary program is proposed to strengthen these processes and overcome barriers in language acquisition.

Keywords: phonological awareness, auditory discrimination, foreign language, academic performance

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La comprensión de una lengua extranjera implica aprender sus reglas gramaticales, sus sonidos y sus palabras, por ello desde el aprendizaje perceptivo en el momento de nacer se discrimina un gran repertorio de sonidos independientemente de la lengua materna. Sin embargo, a medida que se desarrolla la exposición al entorno lingüístico, esta capacidad experimenta un proceso de reorganización perceptiva, acrecentando la sensibilidad hacia los fonemas propios de la lengua nativa y disminuyendo la discriminación de contrastes fonéticos ajenos a ella (Kuhl, 2004). Como resultado, los individuos construyen categorías fonológicas cada vez más especializadas que facilitan el procesamiento y la comprensión de los sonidos característicos de su lengua nativa.

Tough (1987) como se citó en Busto (2002) comprende el habla como “la actividad de articular y ordenar sonidos para producir palabras “(p.26). yendo más allá, Bloom y Lahey (1978), aseguran que el estudio del lenguaje se centra en la propiedad de cómo sus sonidos (fonología), articulación de estos sonidos (gramática), la organización de los conceptos (semántica), y el manejo del lenguaje (pragmática). Desde una perspectiva más amplia, Bloom y Lahey (1978) sostienen que el lenguaje se estructura a partir de componentes conexos con la fonología, la gramática, la semántica y la pragmática.

En este sentido, el lenguaje aparte de entenderse únicamente como un sistema de códigos y reglas, también es un proceso dinámico que surge de la interacción entre las capacidades neurobiológicas del individuo y las experiencias lingüísticas proporcionadas por su entorno. Dicho proceso se desarrolla progresivamente a través de la exposición, la interacción social y el aprendizaje, elementos que favorecen tanto la organización como la especialización de los mecanismos implicados en la comprensión y producción del lenguaje (Kuhl, 2004; Tomasello, 2003).

Con respecto a estos dominios cabe aclarar que tienen sus propias unidades, patrones, lo cual con lleva a la expresión y recepción a través de los procesos de codificación y decodificación para poder llevar a cabo la producción y la comprensión. Crystal (1983), considera que la esencia de la lengua reside en su función bifocal, o sea permite tanto el intercambio comunicativo como la organización del pensamiento, un logro que se cristaliza exclusivamente a través de la inmersión en un entorno cultural específico. En ese sentido, el rol de la comunidad lingüística es un factor determinante a causa de que instituye y valida los significados compartidos, haciendo que el lenguaje sea una práctica socio-interactiva y no una habilidad individual inherente y solitaria.

De manera que, dentro de las bases neuropsicológicas del lenguaje, la comunicación es un procesamiento muy complejo del que participan cantidad y variedad de órganos realizando distintas funciones, pues el proceso de la comunicación empieza por el oído, que es el órgano encargado de la percepción de los sonidos. En consonancia, Marrero (2008), relaciona tres partes: oído externo, medio e interno; el primero es el encargado de proteger la entrada al oído medio para amplificar las ondas; el segundo, se encarga de la conversión en vibración mecánica de las ondas sonoras; y en el tercero, se encuentra la cóclea, órgano de la audición por excelencia, en cuyo proceso hidráulico las

ondas sonoras se convierten en impulsos eléctricos que se propagan a lo largo del nervio auditivo llegando a la corteza cerebral, y a las diferentes áreas auditivas (área primaria y secundaria) localizadas en el lóbulo temporal, encargadas de procesar la información recibida.

La visión descrita concuerda con el planteamiento de Morin (1998), quien sostiene que el conocimiento humano se estructura en la auto-organización como principio cardinal del Pensamiento Complejo, debido a que es la clave para enlazar y dotar de coherencia lo biológico, lo psicológico y lo sociocultural. Esto revela que el ser humano es un compendio de elementos que lo hacen existir desde la complejidad, donde en el caso del lenguaje confluyen factores como la articulación, la percepción auditiva, la autoestima, la ansiedad comunicativa, el entorno lingüístico y la cultura de origen. Para Bravo (2006), la conciencia fonológica es “la toma de conciencia de los componentes fonéticos del lenguaje oral y el dominio de diversos procesos que los niños pueden efectuar conscientemente sobre el lenguaje oral” (p 56). Lo descrito demuestra que, cuando un niño desarrolla esta conciencia, puede realizar ciertos procesos con mayor facilidad; sin embargo, estos continúan siendo complejos debido a la multiplicidad de operaciones cognitivas implicadas.

Investigaciones recientes refuerzan este planteamiento, como Friederici (2017), que constató que las regiones frontotemporales del cerebro desempeñan un papel directo en los procesos de comprensión fonológica, mientras que Kuhl (2014), evidenció que la corteza cerebral de los bebés posee la maleabilidad biológica necesaria para reorganizar su percepción fonológica, permitiéndoles así comprometer sus mecanismos de discriminación auditiva a las características específicas del input lingüístico que reciben de su entorno. En conjunto, se puede decir que la adquisición del lenguaje implica un proceso progresivo de especialización neurocognitiva, en el que distintas estructuras cerebrales participan de manera acoplada en la percepción, discriminación y comprensión de los sonidos que conforman el habla.

Guzek e Iwanicka (2023), han establecido que las deficiencias en la discriminación auditiva tienen un impacto secuencial en el procesamiento cognitivo, pues limitan la eficiencia de la memoria verbal de trabajo, generando efectos adversos y medibles en el desarrollo de la comprensión lectora. En ese aspecto, el niño tendrá dificultades no solo para retener la información sino también para procesarla y comprenderla. En Perú Valle et al. (2024), en su revisión de sistemática concluyeron que la implementación progresiva y estructurada de estrategias orientadas al desarrollo de la conciencia fonológica incide positivamente en el fortalecimiento de las competencias lectoras durante la educación primaria.

En virtud de la evidencia presentada, se reafirma la necesidad de abordar el proceso de enseñanza-aprendizaje del lenguaje desde una perspectiva interdisciplinaria, ya que dicha aproximación requiere la integración de los aportes de la neuropsicología, relacionados con las bases cognitivas y cerebrales del procesamiento lingüístico; de la lingüística, centrada en la estructura y funcionamiento del lenguaje; y de la pedagogía, orientada al diseño e implementación de estrategias de enseñanza que favorezcan el desarrollo de habilidades como la conciencia fonológica y la lectura. En este sentido, la instrucción

sistemática y explícita de tales habilidades ocupa un lugar central en los procesos educativos enfocados en fortalecer el aprendizaje del lenguaje (Kilpatrick, 2015).

La neuroeducación impulsa un modelo de enseñanza orientado a vincular de manera rigurosa las funciones cerebrales con las estrategias pedagógicas aplicadas en el aula (Tokuhama, 2012), por ello se reconoce que las vivencias que integran múltiples canales sensoriales y poseen carga emocional significativa potencian los procesos de memoria y consolidación del aprendizaje, constituyéndose en un eje fundamental para el desarrollo de las competencias lingüísticas (Jensen y McConchie, 2020).

A pesar de ello, los acercamientos en armonización con la pedagogía basados en una visión simple o unidireccional desembocan inevitablemente a una comprensión incompleta de la abundante y compleja dinámica inherente a los procesos de aprendizaje humanos. Es en este aspecto donde el marco del pensamiento complejo, propuesto por Morin (1998) proporciona el fundamento epistemológico necesario para conceptualizar la educación como un fenómeno con múltiples dimensiones interconectadas. Desde este ángulo, la comprensión y el fortalecimiento de habilidades como la discriminación auditiva y la conciencia fonológica requieren integrar los aportes de la neurociencia, la lingüística y la pedagogía, una de estas vertientes aporta una mirada integral, articulando la interpretación con la acción como procesos implicados en el aprendizaje de una lengua.

Lo que se amplía con los principios fundamentales de este tipo de pensamiento, donde entran el principio dialógico aquí las partes establecen vínculos dinámicos entre sí, generando relaciones de interdependencia; en segundo término, la recursividad alude a la capacidad de las acciones para mantenerse activas dentro del sistema, retroalimentándose y transformándose; y el principio hologramático o de implicación que sugiere que cada parte contiene la totalidad, así como el todo se manifiesta en cada una de sus partes (Morin, 2001, 2019). Por consiguiente, es imperativo e imprescindible que el aprendizaje de una lengua se conciba no como la yuxtaposición de habilidades discretas, sino como la expresión de un sistema entrelazado que fusiona procesos cognitivos, emocionales, socioculturales.

La praxis educativa reclama y exige un marco transdisciplinar que, trascendiendo las fronteras del saber, logre la integración de la neurociencia, la lingüística y la pedagogía, para una comprensión holística del proceso de enseñanza-aprendizaje (Nicolescu, 2020; Moraes, 2020). Desde esta óptica, la discriminación auditiva y la conciencia fonológica se presentan como procesos interrelacionados que integran dimensiones perceptivas, cognitivas y afectivas, resultandos esenciales en la construcción del aprendizaje de una lengua extranjera. Para Orozco (2024), desde el Pensamiento Complejo, el aprendizaje se concibe como un bucle generativo o recursivo, donde la experiencia y la cognición se entrelazan de forma insoluble, actuando como causas y efectos mutuos que retroalimentan constantemente el proceso de conocimiento.

En cuanto a Ruíz (2000), resalta que cada persona, cada individuo presenta particularidades que requieren formas de atención diferenciadas, dado que tanto las condiciones en las que ocurre el aprendizaje como las lenguas implicadas poseen atributos singulares que las distinguen entre sí. En este sentido, es esencial reconocer que cada ser humano aprende de manera distinta y a ritmos diversos; por ello, el niño debe ser

comprendido en su singularidad, y los contenidos pedagógicos deben ajustarse a sus necesidades específicas.

Al respecto, Lemos y Pinto (2020), sostienen que las instituciones educativas están llamadas a incorporar la complejidad como eje estructurante de su organización, reconociendo la multiplicidad de elementos que intervienen en la edificación del conocimiento. Los argumentos previos justifican la relevancia de orientar el análisis hacia la enseñanza del inglés, debido a que su aprendizaje como lengua extranjera exige la movilización de diversos procesos cognitivos, lingüísticos y educativos que fenómenos superan la lógica de la aprehensión de contenidos, requiriendo un examen exhaustivo de la arquitectura propia del aprendizaje.

Ahora bien, en el contexto colombiano, de acuerdo con el informe del Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES, 2023), el 73 % de los estudiantes fue clasificado en los niveles A- y A1, evidenciando un dominio básico del inglés como lengua extranjera, pese a las metas establecidas por la Ley 115 (1994) y el Marco Común Europeo de Referencia para las Lenguas que establece el nivel B1 como meta para la educación básica y media. Dichos resultados coinciden con análisis realizados sobre la enseñanza del inglés en Colombia, que devienen como un ejercicio de introspección pedagógica sobre el modelo de instrucción lingüística vigente.

Según Pinto y Ramírez (2025) El arraigo de metodologías tradicionalistas en la enseñanza del inglés reduce la experiencia de aprendizaje a procesos de retención memorística, que, si bien provee un andamiaje gramatical, obstaculiza la adquisición de destrezas comunicativas, impidiendo que el alumnado interactúe con fluidez en escenarios extraescolares. Desde esta visión, los bajos niveles de desempeño observados aluden a la necesidad de fortalecer propuestas pedagógicas que incorporen procesos cognitivos y lingüísticos fundamentales para el aprendizaje de una lengua extranjera, entre ellos la discriminación auditiva y la conciencia fonológica.

A nivel local, se muestra ese mismo escenario en los estudiantes de la Institución Educativa Departamental Escuela Normal Superior de Nocaima, ubicada en Cundinamarca quienes presentan dificultades para discriminar los sonidos del inglés, lo cual repercute negativamente en su comprensión auditiva, su pronunciación y, en consecuencia, en su rendimiento académico. En coherencia con las metas de formación establecidas para esta lengua extranjera en el sistema educativo colombiano y con las dificultades evidenciadas tanto a nivel nacional como institucional, el presente estudio se sustenta en el pensamiento complejo como marco epistemológico que orienta la comprensión del aprendizaje del inglés desde la interacción entre lo neuropsicológico, lo lingüístico y lo pedagógico.

En esa línea, la discriminación auditiva y la conciencia fonológica son procesos interrelacionados dentro de una dinámica que integra dimensiones cognitivas, emocionales y socioculturales en continua retroalimentación, donde cada una contribuye a la construcción del conocimiento. Por tanto, el objetivo de este estudio es fortalecer la discriminación auditiva y la conciencia fonológica para el aprendizaje del inglés mediante la implementación de un programa de intervención neuropsicológica de carácter grupal y personalizado. Así, se pretende aportar una visión pedagógica innovadora que responda a los retos actuales de la educación colombiana, enmarcada en la complejidad del

desarrollo humano y la naturaleza relacional que vincula de manera recíproca los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Metodología

El estudio adopta un diseño descriptivo de tipo ex post facto para describir sistemáticamente las condiciones y relaciones observadas en el grupo (Kerlinger y Lee, 2002), de estudiantes seleccionados de la Institución Educativa Departamental Escuela Normal Superior de Nocaima, en cuanto a los niveles de discriminación auditiva, conciencia fonológica y su vínculo con el aprendizaje del inglés. Orientación que se alinea con el Pensamiento Complejo de Morin (1998, 2001, 2019), partiendo de que toda práctica educativa debe entenderse como proceso integral, en el que interactúan de manera continua mente, cerebro y entorno. Por su parte, los instrumentos empleados para recolectar los datos: son los cuestionarios, documentación de archivos, entrevistas, guías de observación etc. Ahora, en cuanto a la validez externa, las muestras son aleatorias, y por lo tanto son representativas de una determinada población a la cual se puede extrapolar las conclusiones. Por consiguiente, al hablar de esta validez externa, se hace referencia a las características de la muestra que permiten generalizar los resultados, y a la situación que debe ser generalizable.

Población y muestra

La muestra corresponde a 28 estudiantes de 9° de básica secundaria, con edades comprendidas entre los trece años y dieciocho años, de los cuales 12 son mujeres y 16 son hombres, pertenecientes a la Institución educativa departamental Escuela Normal Superior de Nocaima, ubicada en Departamento de Cundinamarca de carácter oficial. Cabe señalar que, la mayoría de los estudiantes viven en el casco urbano, para un total de dieciocho y diez en lo rural. Referente al estrato socio-económico, once pertenecen al tres y diecisiete al dos. En cuanto a la actividad principal del sector, está basado en el comercio y la venta de panela, y de los estudiantes seleccionados no hay ninguno reporte o diagnosticado con Necesidades Educativas Especiales (NEE) o algún otro estudiante con trastorno del desarrollo.

Instrumentos

El primero instrumento fue la Prueba de Articulación Fonemas (PAF) propuesta por Vallés (2014), para determinar la existencia de posibles dificultades en la discriminación auditiva. Se aplicó en un ambiente sin ruido, en el que el examinador pronunciaba palabras o sílabas que los estudiantes debían repetir en voz alta sin ver sus labios, y durante la aplicación se registraron los errores y dudas expresadas por los participantes. El segundo instrumento fue la Prueba de Conciencia Fonológica (PCF, Jiménez y Ortiz, 1995), conformada por cuatro tipos de tareas: aislar, omitir, segmentar y sintetizar fonemas. En ellas, el estudiante debía identificar, eliminar o combinar sonidos dentro de palabras dictadas por el examinador. Este instrumento permite medir tres niveles de desarrollo fonológico: conciencia silábica, intrasilábica y fonémica (Treiman, 1991; Anthony y Lonigan, 2004), y ha sido utilizado ampliamente en estudios sobre adquisición de la lectura y el lenguaje.

Procedimiento

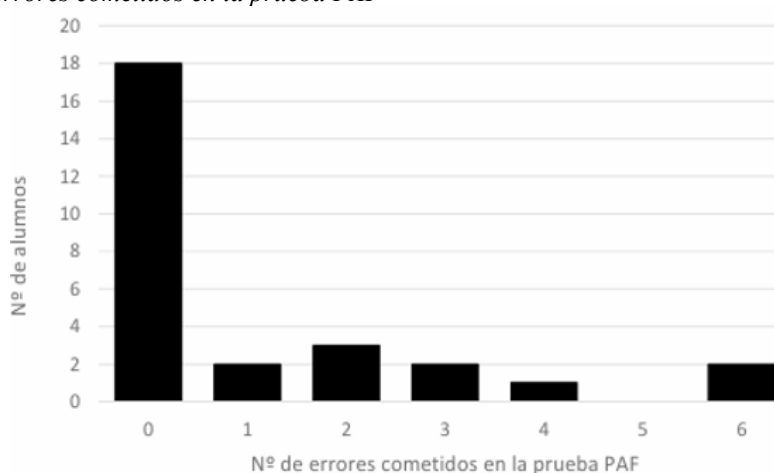
Previamente, se informó a las directivas de la institución educativa sobre el propósito del estudio y se obtuvo su autorización para trabajar con el 9°. De acuerdo con los lineamientos éticos establecidos en la Resolución 8430 (1993), y la Ley 1581 (2012) sobre protección de datos personales, se solicitó consentimiento informado a los padres de familia y asentimiento a los estudiantes participantes. Con los permisos firmados, se aplicaron de forma individual las pruebas en ocho sesiones de 25 minutos, conformando grupos de siete a diez estudiantes para garantizar un ambiente controlado y sin distracciones. El rendimiento académico se obtuvo a partir del promedio final del año lectivo, correspondiente a los cuatro periodos académicos, con un promedio general de 3,528. Con base en el análisis de los datos se usó el software Statgraphics, llevando a cabo una estadística de tipo descriptivo y apoyado con el coeficiente de correlación de Spearman que permite establecer las relaciones entre discriminación auditiva, conciencia fonológica y rendimiento académico.

Resultados

Por consiguiente, se evidencian los resultados obtenidos en la PAF. Destacando que la mayoría de los alumnos no cometieron ningún error en esta prueba y el número máximo de errores que cometieron fue de 6 (Figura 1). Sin embargo, para comprender la naturaleza de dichos errores no basta con contabilizarlos, sino identificar en qué sílabas se concentraron (Figura 2):

Figura 1

Frecuencia de errores cometidos en la prueba PAF



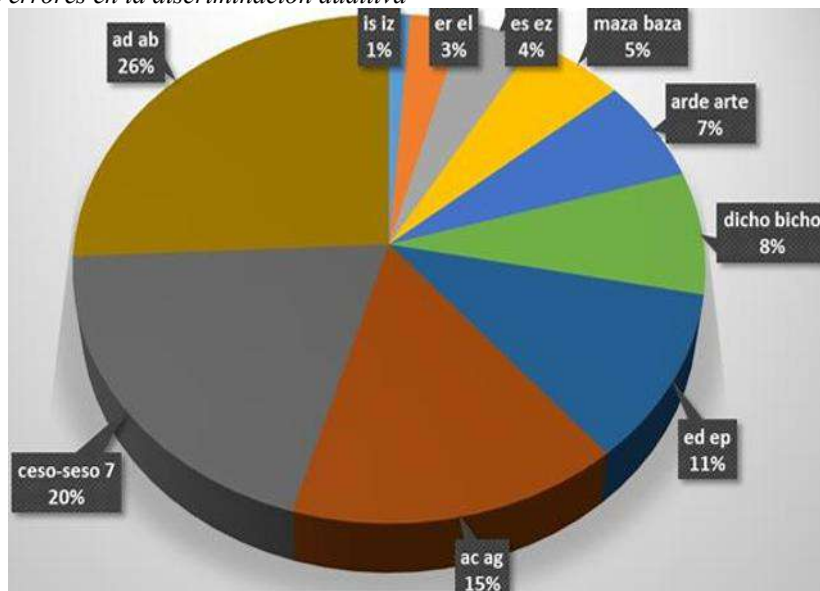
Nota. Autora, (2025)

En la Figura 2 se evidencian las cuatro combinaciones más representativas: ad/ab (26%), ceso/seso (20%), ac/ag (15%) y ed/ep (11%). Dichas sílabas generan dificultad porque implican la discriminación de pares mínimos y sonidos que en español tienden a neutralizarse, lo que provoca confusión al trasladarlos al inglés. En consecuencia, los errores no son aleatorios, ya que reflejan la interferencia fonológica entre ambos sistemas

lingüísticos. Tal hallazgo acentúa la necesidad de reforzar la práctica auditiva y articulatoria de estos fonemas en el aula, mediante ejercicios contrastivos y estrategias de sensibilización fonética.

Figura 2

Porcentaje de errores en la discriminación auditiva



Nota. Autora, (2025)

27

A continuación, se muestran los resultados de la conciencia fonológica. La media de errores cometidos por los alumnos de la muestra fue de 1,14 pero, al igual que sucedía en la prueba PAF, la dispersión fue bastante alta. El máximo número de errores cometido por un alumno fue de 7 y la gran mayoría de los alumnos no cometió ningún error (Figura 3):

Figura 3

Frecuencia de errores cometidos en la prueba de conciencia fonológica



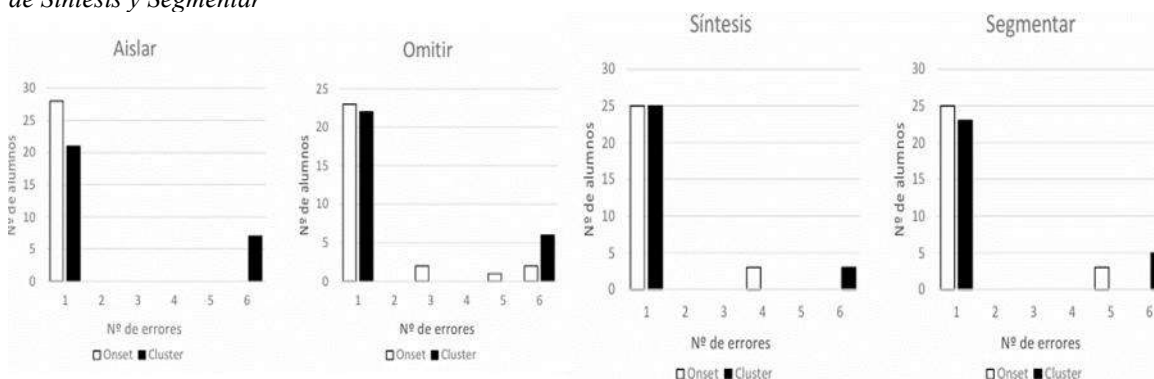
Nota. Autora, (2025)

La Figura 4 presenta la frecuencia de errores en los componentes de aislar, omitir, segmentar y sintetizar, diferenciando entre estructuras silábicas simples (Onset) y

compuestas (Cluster). Se observa que la mayoría de los estudiantes no cometieron fallos en estas tareas. Aun así, aquellos que sí presentaron dificultades acumularon generalmente cuatro o más errores, lo que indica que sus problemas no fueron aislados, sino recurrentes en distintos procesos de conciencia fonológica.

Figura 4

Frecuencia de errores en los componentes de Aislar y Omitir y Frecuencia de errores en los componentes de Síntesis y Segmentar

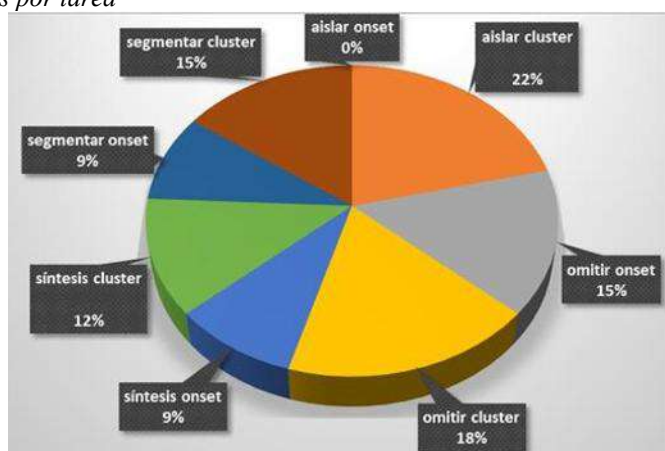


Nota. Autora, (2025)

En la Figura 5 se aprecia que la mayoría de los estudiantes no cometieron errores, aunque un grupo reducido sí presentó fallos en las tareas de aislar y omitir. Estos errores se concentraron sobre todo en las estructuras compuestas (cluster), que resultan más difíciles de discriminar porque implican la unión de varias consonantes, un patrón poco común en español. Esa complejidad fonológica aumenta la carga cognitiva y explica la mayor cantidad de equivocaciones. Desde la perspectiva del pensamiento complejo, este hallazgo refleja cómo se entrelazan factores neuropsicológicos, lingüísticos y pedagógicos, mostrando que los errores más que simples fallos aislados, son parte de la dificultad de integrar sistemas fonológicos distintos en el aprendizaje del inglés.

Figura 5

Porcentaje de errores por tarea

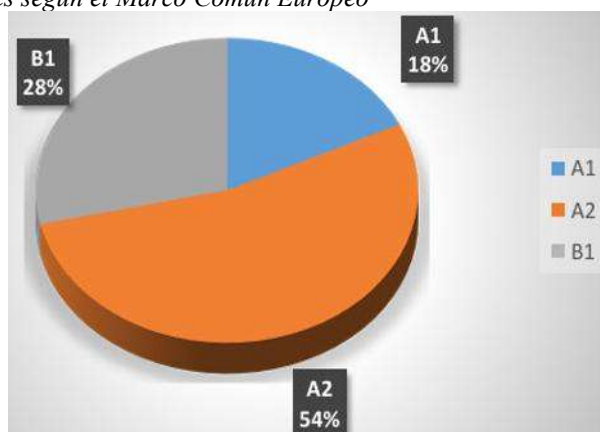


Nota. Autora, (2025)

La media obtenida en el rendimiento académico de los alumnos de la muestra se encuentra en 3,52 con una desviación de 0,042. En el análisis de los resultados académicos del grado noveno se evidencia que los alumnos en estudio no están dentro de los mínimos estándares, según el Marco Común Europeo con un resultado de quince alumnos en nivel A2 (Básico) con un porcentaje de 54%, cinco alumnos en el nivel A1 (principiante) con un porcentaje de 18% y el nivel B1 ocho alumnos (preintermedio) con un porcentaje de 28% (Figura 6).

Figura 6

Resultado de Porcentajes según el Marco Común Europeo



Nota. Autora, (2025)

Una vez realizado el análisis descriptivo de las variables estudiadas se procedió a analizar la correlación entre ellas. Este análisis mostró que existía una correlación positiva y estadísticamente significativa entre la conciencia fonológica y la articulación de fonemas (0,874***) (Tabla 1). También mostró que existía una relación negativa y estadísticamente significativa entre el rendimiento académico y las otras variables (-0,595*** referente a PAF y un -0,412* referente a la conciencia fonológica) (Tabla 1). Se presenta la evidencia de una fuerte relación inversamente proporcional entre las distintas variables, dicho de otra manera, a medida que aumenta el número de estudiantes con dificultades en discriminación auditiva y conciencia fonológica los resultados son bajos en el rendimiento académico.

Tabla 1

Correlación entre las variables

	Correlación	PAF	Conciencia fonológica
Conciencia fonológica		.874***	
Rendimiento académico		-.595***	-.421*

Nota. Autora, (2025)

Discusión

El actual estudio tuvo como objetivo fortalecer la discriminación auditiva y la conciencia fonológica para el aprendizaje del inglés mediante la implementación de un programa de intervención neuropsicológica de carácter grupal y personalizado en el contexto de la Institución educativa departamental Escuela Normal Superior de Nocaima, Ubicada en el Departamento de Cundinamarca. Es importante resaltar que los resultados obtenidos en la aplicación de la Prueba de Articulación de Fonemas (PAF) y la Prueba de Conciencia Fonológica (PCF) evidencian una correlación positiva entre ambas habilidades ($r = .874$), así como una relación inversamente proporcional entre estas y el rendimiento académico ($r = -.595$ y $r = -.421^*$). Estos hallazgos demuestran que las dificultades en la discriminación auditiva y la conciencia fonológica se asocian con un menor desempeño académico en inglés, repercutiendo en procesos fundamentales como la comprensión auditiva y la pronunciación.

Autores como Guzek e Iwanicka (2023), al evaluar a 366 niños y niñas con edades entre los 6 y los 9 años comprobaron que la discriminación auditiva es una habilidad primordial para el desarrollo del lenguaje y que su maduración continúa durante la etapa escolar, observando que los estudiantes con dificultades en el procesamiento auditivo obtienen desempeños significativamente inferiores en tareas de discriminación fonémica.

De manera complementaria, Valle et al. (2024) señalan que el desarrollo progresivo de la conciencia fonológica favorece el fortalecimiento de las competencias lectoras. En la misma línea, Jiang et al. (2024) encontraron que diversos componentes de la conciencia fonológica mantienen una influencia significativa sobre el procesamiento lector en inglés, reforzando la relevancia de estas habilidades en la adquisición de una lengua adicional. En el presente estudio, los errores más frecuentes se concentraron en las tareas de aislar y omitir fonemas, sugiriendo dificultades en el procesamiento intrasilábico y fonémico, tal como lo anticipan Treiman (1991) y Anthony y Lonigan (2004). Marrero (2001), describe el proceso auditivo como una secuencia neurofisiológica que inicia en el oído externo y culmina en la corteza cerebral, donde se procesan los impulsos eléctricos derivados de las ondas sonoras. Por ende, esta descripción permite comprender que la discriminación auditiva depende de factores pedagógicos y del mismo modo de la integridad funcional de los sistemas perceptivos, lo cual refuerza la necesidad de abordajes interdisciplinarios en la enseñanza del inglés.

De manera consistente, Nitttrouer y Lowenstein (2024), al evaluar a 66 niños con edades comprendidas entre los 7 y los 10 años, encontraron que las funciones auditivas supraliminales mantienen una relación significativa con la sensibilidad fonológica, comprobando que las restricciones en el procesamiento de los sonidos repercuten en la adquisición y afianzamiento de habilidades lingüísticas. Dicho hallazgo respalda la estrecha interacción entre los procesos perceptivos y fonológicos observada en el presente estudio. Con esa base biológica se articula el planteamiento de Kuhl (2014), quien demuestra que la corteza cerebral infantil posee plasticidad para reorganizar la percepción fonológica según el input recibido. Así, el entorno lingüístico y emocional del estudiante se convierte en un componente decisivo para el avance de estas habilidades

La convergencia de los hallazgos expuestos permite reconocer que la discriminación auditiva y la conciencia fonológica interactúan constantemente con factores biológicos, cognitivos, emocionales y educativos. Desde esta perspectiva integradora se comprende la pertinencia del Pensamiento Complejo como marco de interpretación de los resultados obtenidos. En consonancia con ello, Vulic et al. (2024) sostienen que los fenómenos educativos deben comprenderse como sistemas complejos e interdependientes en los que intervienen simultáneamente factores cognitivos, pedagógicos y socioculturales, cuya interacción produce resultados que difícilmente pueden explicarse desde enfoques lineales o fragmentados.

Bajo ese panorama, Morin (1998, 2001, 2019) propone principios como el dialógico, el recursivo y el hologramático, que permiten concebir la educación como un sistema cohesionado e interdependiente. Esta dinámica sistémica se materializa empíricamente en los resultados de la prueba de conciencia fonológica. Aunque una parte de la muestra no presentó fallos, quienes sí lo hicieron acumularon errores específicos en tareas de aislar y omitir fonemas. De manera particular, el análisis de la estructura compuesta (cluster) mostró los porcentajes de error más elevados —aislar cluster con 22% y omitir cluster con 18%— frente a los onset simples, lo cual incrementa la demanda de procesamiento auditivo y control atencional en la decodificación fonológica. Al respecto, se evidencia interferencia fonológica entre el sistema del inglés y la lengua materna del estudiante, donde el cluster representa un punto crítico para la discriminación fonológica en inglés.

Desde el principio hologramático de Morin se podría interpretar que dicha disonancia trasciende el mero déficit auditivo: el estudiante encuentra una barrera cognitiva para integrar las partes (las consonantes consecutivas) dentro de la totalidad (la sílaba), impidiendo que el todo lingüístico se estructure a partir de sus unidades. Simultáneamente, esta dificultad refleja una alteración directa en el bucle recursivo del aprendizaje; la incapacidad perceptiva de discriminar el sonido exacto restringe la articulación, y esta carencia fonética retroalimenta y perpetúa la deficiencia en la comprensión.

Los datos ratifican que los procesos fonológicos, cognitivos y pedagógicos se articulan constantemente dentro del aprendizaje del inglés, influyendo conjuntamente en la construcción y desarrollo de las competencias lingüísticas. En este contexto, si bien referentes como Tokuhama (2012) y Jensen y McConchie (2020) han evidenciado el papel de los estímulos sensoriales y emocionales en la consolidación de la memoria, enfoques recientes en neurodidáctica de las lenguas amplían esta perspectiva al considerar la interacción entre cerebro, lenguaje y diversidad en el aula.

En esta línea, Hernández y Llanes (2022) sostienen que el conocimiento sobre el funcionamiento neurocognitivo del lenguaje ayuda a comprender la enseñanza de lenguas desde una perspectiva integradora, donde los procesos cognitivos, emocionales y dialógicos se articulan en la construcción del aprendizaje, pues la neurodidáctica permite comprender la diversidad del aula ayudando a promover prácticas pedagógicas centradas en la interacción significativa y la conciencia del otro, lo que resulta clave en el desarrollo de la competencia comunicativa en lenguas extranjeras. Por tanto, el programa de intervención propuesto responde a una necesidad técnica que se fundamenta en una

concepción transdisciplinar que articula neurociencia, lingüística y pedagogía (Nicolescu, 2020; Moraes, 2020).

Al respecto, la praxis educativa, en consecuencia, debe desistir por completo de las aproximaciones lineales y adoptar marcos que reconozcan la diversidad de trayectorias cognitivas. Ruíz (2000) y Lemos y Pinto (2020) insisten en que cada estudiante requiere formas de atención diferenciadas, y que las instituciones deben asumir la complejidad como principio organizativo. Esta afirmación cobra especial relevancia en el contexto colombiano, donde el 73 % de los estudiantes se ubican en niveles A- y A1 según el ICFES (2023), demostrando una brecha estructural en el aprendizaje del inglés.

Las implicaciones de la aplicación de las pruebas y la identificación de errores específicos en tareas de aislar, omitir, segmentar y sintetizar fonemas abren el debate sobre la necesidad de reestructurar las metodologías actuales hacia estrategias didácticas focalizadas. Dichas estrategias exigen considerar simultáneamente el nivel silábico y el fonémico, adaptándose a la estructura lingüística del inglés, la cual difiere significativamente del español. Al concebir el aprendizaje como un circuito generativo donde la experiencia y la cognición se unen en una retroalimentación constante (Orozco, 2024), los hallazgos de este estudio cuestionan la viabilidad de los métodos tradicionales estandarizados. Se plantea, en consecuencia, que la enseñanza de lenguas debe transitar hacia intervenciones que reconozcan la singularidad del estudiante, su contexto sociocultural y sus defensas emocionales, logrando así operativizar los postulados de la complejidad en el trabajo directo en el aula.

Conclusiones

En síntesis, los resultados del estudio validan la pertinencia del programa de intervención neuropsicológica para desarrollar la discriminación auditiva y la conciencia fonológica en inglés, a la vez que invitan a repensar la enseñanza de esta lengua desde una mirada personalizada, compleja y reflexiva. Señalando además que, la discriminación auditiva y la conciencia fonológica no son habilidades técnicas, son expresiones que requiere ser comprendidas en su totalidad. De ahí que resulte ineludible que el ámbito educativo integre la complejidad como un imperativo formativo, entendiendo que la totalidad de los procesos de adquisición de conocimiento constituye, simultáneamente, un desarrollo esencialmente humano.

Entre las principales limitaciones se encuentra el tamaño reducido de la muestra ($n = 28$). Asimismo, el diseño *ex post facto* si llevó a la correlación, pero impidió establecer causalidad entre las variables estudiadas. Para futuras investigaciones se recomienda ampliar la muestra, incorporar diseños longitudinales y tomar en cuenta variables como el medio familiar, el acceso a recursos digitales y las trayectorias lingüísticas previas.

Referencias

- Anthony, J., y Lonigan, C. (2004). The Nature of Phonological Awareness: Converging Evidence From Four Studies of Preschool and Early Grade School Children. *Journal of Educational Psychology*, 96(1), 43–55. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.1.43>
- Bloom, L y Lahey, M (1978). *Language development and language disorders*. Wiley y Sons.
- Bravo, L. (2006). *Lectura inicial y Psicología cognitiva*. (2da edición). Ediciones Universidad Católica de Chile
- Busto, M. (2002). *Manual de logopedia escolar: niños con alteraciones del lenguaje oral en Educación Infantil y Primaria*. CEPE.
- Crystal, D. (1983). *Patología del lenguaje*. Cátedra.
- Friederici, A. 2017. *Language in Our Brain*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11173.001.0001>.
- Guzek, A., y Iwanicka, K. (2023). Auditory Discrimination—A Missing Piece of Speech and Language Development: A Study on 6–9-Year-Old Children with Auditory Processing Disorder. *Brain Sciences*, 13(4), 606. <https://doi.org/10.3390/brainsci13040606>
- Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES). (2023). *Informe nacional de resultados del examen Saber 11º 2023*. Icfes. https://www.icfes.gov.co/wp-content/uploads/2025/04/Informe_Saber11_2023.pdf
- Jensen, E., y McConchie, L. (2020). *Brain-Based Learning: Teaching the Way Students Really Learn* (3era ed.). Corwin Press.
- Jiang, Y., Gai, X., Wang, Z., y Thomson, J. (2024). The influence of segmental and suprasegmental phonological awareness on word and pseudoword reading—A comparison between native English speakers and native Chinese speakers of English. *Frontiers in Psychology*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1214197>
- Jiménez, J., y Ortiz, M. (1995). *Conciencia fonológica y aprendizaje de la lectura*. Síntesis.
- Kerlinger, F., y Lee, H. (2002). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en Ciencias Sociales*. McGraw-Hill.
- Kilpatrick, D. (2015). *Essentials of Assessing, Preventing, and Overcoming Reading Difficulties* Hoboken. Wiley.
- Kuhl, P. (2004). Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(11), 831–843. <https://doi.org/10.1038/nrn1533>
- Kuhl, P. (2014). Early Language Learning and the Social Brain. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 79, 211–220.

- <https://doi.org/10.1101/sqb.2014.79.024802>
- Lemos, A., y Pinto, D. (2020). Del paradigma moderno al pensamiento complejo: Nuevas posibilidades de ser, comprender y transformar las realidades virtuales en la educación superior. *EducaT: Educación Virtual, Innovación y Tecnologías*, 1(1), 13–26. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9105369>
- Ley 115. (1994, 8 de febrero). Diario Oficial No. 41.214. http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0115_1994.html.
- Ley 1581. (2012, 17 de octubre). Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>
- Marrero, V. (2008). La fonética perceptiva: transcendencia lingüística de mecanismos neuropsicofisiológicos. *EFE*, 12, 207–245. <https://www.raco.cat/index.php/EFE/article/view/140070/216432>
- Moraes, M. (2020). *De la epistemología de la complejidad a la docencia transdisciplinar*. En Dravet, F., Pasquier, F., Collado, J., y Castro, G. (Eds.), *Transdisciplinariedad y educación del futuro* (pp.135-164). Universidad Católica de Brasilia. <https://pedagogiasocial.net/wp-content/uploads/2020/06/dravet-et-al-2020-transdisciplinariedad-y-educacion-del-futuro.pdf>
- Morin, E. (2001). *El método: la Naturaleza de la naturaleza* (6th ed.). Catedra. <https://ciroespinoza.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/11/el-metodo-1-la-naturaleza-de-la-naturaleza.pdf>
- Morin, E. (1998). *Introducción al Pensamiento Complejo*. Gedisa. https://cursoenlineasincostoedgarmorin.org/images/descargables/Morin_Introduccion_al_pensamiento_complejo.pdf
- Morin, E. (2019). *Pensar la Complejidad. Crisis y Metamorfosis*. Publicacions De La Universitat De València.
- Niculescu, B. (2020). *Transdisciplinariedad: una esperanza para la humanidad*. En Dravet, F., Pasquier, F., Collado, J., y Castro, G. (Eds.), *Transdisciplinariedad y educación del futuro* (pp.13-18). Universidad Católica de Brasilia. <https://pedagogiasocial.net/wp-content/uploads/2020/06/dravet-et-al-2020-transdisciplinariedad-y-educacion-del-futuro.pdf>
- Nittrouer, S., y Lowenstein, J. (2024). Asynchronies in Auditory and Language Development Obscure Connections to Phonological Deficits in Children. *American Journal of Audiology*, 33(1), 151–170. https://doi.org/10.1044/2023_AJA-23-00147
- Orozco, L. (2024). Transformando la educación colombiana: desafíos y oportunidades desde “El Pensamiento Complejo de Morin.” *LÍNEA IMAGINARIA*, 1(19). <https://doi.org/10.56219/lneaimaginaria.v1i19.3246>
- Pinto, M., y Ramírez, O. (2026). Métodos de enseñanza del inglés en Colombia: un

- abordaje desde la revisión teórica. *Dialéctica*, 1(28).
<https://doi.org/10.56219/dialectica.v1i28.5277>
- Tomasello, M. (2003). *Constructing a language*. Harvard University Press
- Resolución Número 8430. (1993, 4 de octubre). Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/lists/bibliotecadigital/ride/de/dij/resolucion-8430-de-1993.pdf>
- Ruiz, B., y Torres, L. (2017). Pensamiento complejo: transformación del aprendizaje. *Comunicación, Cultura y Política*, 7, 213-240.
<https://doi.org/10.21158/21451494.n0.2016.1770>
- Ruiz, U. (2000). *Didáctica de la segunda lengua Infantil y primaria*. Síntesis.
- Tokuhamu, T. (2012). *2 of 5 what Mind, Brain, and Education (MBE) science can do for teaching new horizons in education*.
https://www.researchgate.net/publication/260602262_2_of_5_WHAT_MIND_BRAIN_AND_EDUCATION_MBE_SCIENCE_CAN_DO_FOR_TEACHING_New_Horizons_in_Education
- Treiman, R. (1991). Phonological Awareness and Its Roles in Learning to Read and Spell. In D. Sawyer y F. B. (Eds.), *Phonological awareness in reading* (pp. 161–189). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3010-6_6
- Valle, M., Méndez, J., y Flores, E. (2024). La conciencia fonológica y su relación con la lectura: Revisión sistemática. *Horizontes. Revista de Investigación En Ciencias de La Educación*, 8(33), 1004–1021.
<https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v8i33.779>
- Vallés, A. (2014). *Evaluación de la dislalia: Prueba de Articulación de Fonemas (PAF)*. CEPE.
- Vulic, J., Jacobson, M., y Levin, J. A. (2024). Exploring Education as a Complex System: Computational Educational Research with Multi-Level Agent-Based Modeling. *Education Sciences*, 14(5), 551.
<https://doi.org/10.3390/educsci14050551>

“Cuéntame Un Cuento” como estrategia de aprendizaje en niños de 3 a 6 años.

“Tell Me a Story” as a learning strategy for children aged 3 to 6 years.

 Clara Tubay Reyes
Santa Elena, Ecuador

 Karen Bacilio
Santa Elena, Ecuador

 Justin Mosquera
Santa Elena, Ecuador

Resumen:

El proyecto “Cuéntame un cuento” tiene como finalidad favorecer el desarrollo integral de niños y niñas de 3 a 6 años mediante la narración interactiva y el juego colaborativo, actividades esenciales en esta etapa evolutiva. Durante la primera infancia se consolidan funciones cognitivas fundamentales como la memoria, la atención, el razonamiento y la creatividad; sin embargo, la falta de estimulación adecuada o el uso excesivo y no regulado de dispositivos tecnológicos pueden generar dificultades en el aprendizaje, la comunicación y la integración social. El objetivo de esta investigación fue promover la estimulación cognitiva, la creatividad y el aprendizaje significativo a través de cuentos interactivos apoyados en recursos multisensoriales que combinan elementos visuales, auditivos y táctiles. Para ello, se diseñó y elaboró una caja didáctica fabricada con materiales accesibles y ecológicos, que incluye personajes, escenarios, luces LED y sonidos, con el fin de enriquecer la experiencia de juego y narración. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, de tipo descriptivo y aplicativo. Se trabajó con una muestra de 20 estudiantes de educación inicial, a quienes se aplicó una prueba piloto. Los resultados mostraron que el recurso genera una experiencia motivadora y completa: el 95 % mostró interés por el material, el 90 % mantuvo la atención durante las actividades y el 85 % participó activamente en la construcción de historias. En conclusión, esta herramienta innovadora y sostenible fortalece la expresión oral, la imaginación y las habilidades sociales, constituyéndose en una estrategia eficaz para el desarrollo cognitivo y socioemocional en la infancia temprana.

Palabras claves: creatividad, cognitivo, estimulación, infancia, narración

Abstract:

The project “Tell Me a Story” aims to promote the comprehensive development of children aged 3 to 6 through interactive storytelling and collaborative play, which are essential activities at this developmental stage. Early childhood is a period when key cognitive functions such as memory, attention, reasoning, and creativity are consolidated; however, insufficient appropriate stimulation or excessive and unregulated use of digital devices can lead to difficulties in learning, communication, and social integration. The objective of this research was to foster cognitive stimulation, creativity, and meaningful learning through interactive storytelling supported by multisensory resources that combine visual, auditory, and tactile elements. To achieve this, an educational box was designed and developed using accessible and eco-friendly materials, including characters, settings, LED lights, and sound effects, in order to enrich the play and storytelling experience. The study followed a qualitative approach with descriptive and applied characteristics. It was carried out with a sample of 20 early-education students, who participated in a pilot test. The results showed that the resource provides a motivating and well-rounded experience: 95 % of the children expressed interest in the material, 90 % maintained their attention throughout the activities, and 85 % took an active part in creating stories. In conclusion, this innovative and sustainable tool strengthens oral expression, imagination, and social skills, proving to be an effective strategy for cognitive and socio-emotional development in early childhood.

Keywords: Creativity, Cognitive, Stimulation, Childhood, Storytelling

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La educación inicial constituye una etapa decisiva para el desarrollo integral del ser humano, ya que durante los primeros años de vida se configuran las bases cognitivas, lingüísticas, emocionales y sociales que determinarán los procesos de aprendizaje futuros. En este contexto, la estimulación temprana, la creatividad y la expresión oral se consolidan como pilares esenciales para potenciar las habilidades comunicativas y la imaginación infantil.

Actualmente el exceso de exposición a dispositivos tecnológicos y la limitada implementación de estrategias lúdicas en los entornos educativos han afectado el desarrollo integral de los niños, reduciendo sus oportunidades de interacción, socialización y exploración significativa del entorno.

Con atención a lo antes mencionado, la UNESCO advierte que “el uso no regulado de dispositivos digitales durante la infancia genera impactos negativos en la atención, el lenguaje y la socialización, evidenciando una creciente desconexión entre el desarrollo tecnológico y las necesidades formativas de los niños” (UNESCO, 2024, págs. 35-36). Este fenómeno plantea un desafío para la educación contemporánea, que debe equilibrar la innovación con el desarrollo humano integral.

Frente a esta realidad, surge la necesidad de diseñar recursos pedagógicos innovadores que integren la narración oral, el juego y la manipulación de materiales concretos, favoreciendo así el aprendizaje multisensorial. El Ministerio de Educación del Ecuador “enfatisa la importancia de fortalecer metodologías activas y el uso de recursos didácticos innovadores en el nivel inicial, con el fin de contrarrestar los efectos de la exposición pasiva a la tecnología”. (MINEDUC, 2025, págs. 23-24)

El currículo ecuatoriano promueve el juego, la creatividad y la experimentación como ejes fundamentales para un aprendizaje significativo. No obstante, se observa que muchas prácticas pedagógicas aún se sustentan en modelos tradicionales que limitan la exploración sensorial y la expresión oral, dificultando el desarrollo de competencias comunicativas y socioemocionales en la primera infancia.

A nivel institucional, se evidencia la carencia de materiales lúdicos que integran de manera equilibrada lo tradicional y lo tecnológico. Al respecto Torres señala que “en diversas instituciones educativas del país, el trabajo con cuentos se mantiene restringido a lecturas guiadas o narraciones sin participación del niño y son necesarias nuevas metodologías” (Torres, 2020, pág. 19). Esta situación reduce las posibilidades de construir aprendizajes vivenciales, colaborativos y multisensoriales. Por ello, surge la necesidad de diseñar propuestas innovadoras que incorporen recursos interactivos y accesibles que fortalezcan la imaginación, la expresión oral y la socialización, constituyendo al desarrollo integral y significativo de los niños en la etapa inicial.

En este sentido, la narración de cuentos se reconoce como una de las estrategias más efectivas en la primera infancia, ya que combina el lenguaje, la imaginación y la emoción para facilitar la comprensión del mundo y la adquisición de nuevos conocimientos. Según autores como Sánchez y Gómez (2021), los cuentos no solo entretienen, sino que permiten organizar el pensamiento, ampliar el vocabulario y comprender secuencias lógicas, al mismo tiempo que fomentan valores y la empatía. Por

su parte, Rodríguez (2023) resalta que cuando la narración es interactiva y acompaña de materiales manipulables, se potencia aún más la atención y la memoria, convirtiéndose en un recurso idóneo para el aprendizaje significativo.

Complementariamente, el juego constituye la forma natural de aprender en esta etapa. Al participar en actividades lúdicas, los niños exploran roles y escenarios diferentes, lo que les permite pensar de manera innovadora y desarrollar soluciones originales a los desafíos que enfrentan (Parrales & Plúa, 2022). Las actividades lúdicas cumplen un rol fundamental en el bienestar infantil; López (2024) refuerza esta idea al indicar que “el juego se convierte en una herramienta integral para liberar tensiones y reducir el estrés, instaurando un entorno agradable y estimulante que beneficia directamente el aprendizaje” (p. 180).

La calidad de la interacción entre el adulto y el niño durante la narración es crucial. Como lo destacan Vygotsky (1978) y Bruner (1986), el aprendizaje se potencia cuando un guía más experto (el docente o el cuidador) ayuda al niño a superar sus límites actuales a través de la “apoyo temporal” o “scaffolding”. En el contexto de la narración, esto significa que el adulto no solo lee un cuento, sino que formula preguntas, invita a las predicciones y valora las contribuciones del niño, transformando así un acto pasivo en uno de construcción conjunta del conocimiento.

Para Piaget, “el juego simbólico es al juego de ejercicio lo que la inteligencia representativa es a la inteligencia sensorio-motora” (Piaget, 1973, p. 222). Esta dinámica se manifiesta con especial fuerza en la narración de cuentos, donde el niño representa personajes, lugares y situaciones, transformando la realidad a través de su imaginación. En este proceso, la asimilación predomina sobre la acomodación: el menor no solo conoce los hechos, sino que los interpreta, los incorpora y los revive, construyendo su propio significado.

Por su parte, la estimulación temprana y el aprendizaje multisensorial conforman una metodología eficaz para optimizar la adquisición de conocimientos en todas las áreas del saber, la cual debe aplicarse de forma sistemática (Carcel & Ferrando, 2024, p. 51). La combinación de estrategias narrativas, lúdicas y sensoriales favorece el desarrollo cognitivo integral. Su implementación en el aula garantiza avances notables en la calidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje, lo que justifica la propuesta de este trabajo.

Con atención a lo precedente, el proyecto “Cuéntame un Cuento” se plantea como una propuesta educativa que combina la tradición del relato con elementos interactivos y tecnológicos, buscando estimular la creatividad, la imaginación y la expresión oral en niños de 3 a 6 años. Este recurso lúdico – educativo está orientado a promover experiencias de aprendizaje significativas y colaborativas, mediante la narración de historias y la manipulación de figuras elaboradas en manera, acompañadas de luces led y sonidos que enriquecen la experiencia sensorial.

El objetivo general del presente proyecto consiste en analizar la incidencia de la narración de cuentos como estrategia pedagógica en el desarrollo cognitivo, la creatividad y el aprendizaje significativo de niños y niñas de 3 a 6 años. Como objetivos específicos: diseñar un recurso educativo multisensorial que fomente la imaginación, la creatividad y la construcción de historias durante la infancia temprana; Incorporar elementos tecnológicos, como luces LED y música, que enriquezcan la experiencia lúdica y

favorezcan la atención y motivación de los niños durante las actividades narrativas y fortalecer el trabajo colaborativo, la comunicación y la expresión oral en los niños a través de estrategias de narración compartida y dinámicas grupales que promuevan la interacción social y el desarrollo emocional.

Metodología

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con características de tipo descriptivo – aplicativo, ya que busca analizar y evidenciar los enfoques pedagógicos del recurso “Cuéntame un Cuento” en el desarrollo cognitivo, comunicativo y social de los niños. Este enfoque permite comprender los procesos educativos desde la interacción, Según Hernández, Fernández y Baptista: (2014) “la investigación cualitativa posibilita comprender los fenómenos en su contexto natural, considerando la perspectiva de los sujetos implicados” (p.25).

De acuerdo a lo indicado por el autor antes mencionado, la investigación cualitativa tiene la particularidad de ser flexible, inductiva e interpretativa, además emplea datos no numéricos con el fin de examinar fenómenos complejos en su contexto natural, y donde el investigador juega un rol central, ya que emplea técnicas como la observación, las entrevistas y el análisis de documentos para generar una comprensión exhaustiva y minuciosa de las experiencias y significados.

El carácter aplicativo del estudio se sustenta en el diseño, elaboración y validación de un recurso educativo clasificado como multisensorial, basándose en los postulados teóricos de Carcel y Ferrando (2024) y en los criterios establecidos por Lora y Medina (2022), quienes definen que un recurso adquiere esta condición cuando estimula al menos tres vías sensoriales de forma simultánea y se adapta al nivel de desarrollo de los niños.

Para su clasificación y medición se aplicaron los siguientes criterios específicos: Estímulo visual: verificación de formas claras, colores atractivos, iluminación con luces LED y escenarios definidos que faciliten la representación de la historia. Estímulo auditivo: comprobación de que los sonidos y música de fondo sean agradables, de volumen moderado y acordes a la trama narrativa. Estímulo táctil: evaluación de que los materiales sean resistentes, con texturas suaves, tamaño adecuado y seguros para ser manipulados libremente por los niños.

Asimismo, se consideró que fuera accesible, ecológico y funcional para el contexto educativo. De este modo, el estudio no solo describe la realidad educativa actual, sino que implementa una propuesta concreta e innovadora que permite analizar su incidencia en el aprendizaje significativo, con el propósito de aportar mejoras a la práctica pedagógica en el nivel de educación inicial.

La población estuvo conformada por niños de 3 a 6 años, pertenecientes al nivel de educación inicial de la Institución Educativa Particular Escuela de Educación Básica “Clara Luz”. Para la validación y observación del recurso, se trabajó con un grupo piloto de 20 estudiantes, seleccionados mediante muestreo intencional.

Justificación del tamaño de la muestra: En investigaciones cualitativas y de carácter aplicativo, no se requieren tamaños muestrales grandes para garantizar la validez de los resultados, sino que se busca alcanzar la saturación de información (Hernández et

al., 2014). Con 20 participantes se logra obtener datos suficientes, variados y representativos de las características del grupo, permitiendo identificar patrones de comportamiento, reacciones y avances ante la estrategia propuesta sin que la información se vuelva redundante. Este número es coherente con estudios similares en educación inicial, donde se trabaja con grupos reducidos para facilitar la observación detallada y el registro sistemático de cada experiencia.

Para garantizar la validez de la investigación, se adoptó la triangulación de fuentes (Hernández et al., 2014), combinando la observación directa con los registros de campo y la percepción de los docentes. Esto permitió una interpretación más rica y confiable de los fenómenos observados. La fiabilidad se aseguró mediante la claridad y consistencia en la aplicación de los instrumentos de observación, siguiendo los lineamientos de Guba y Lincoln (1985), quienes defienden la credibilidad, transferibilidad, dependencia y confirmabilidad como criterios esenciales para la investigación interpretativa.

Método y procedimiento

El método aplicado fue de tipo proyectivo y experimental simple, ya que implicó la creación, implementación y observación de un producto educativo tangible. El proceso metodológico se estructuró en cuatro fases:

- Investigación y conceptualización del producto: se realizó una investigación previa sobre las necesidades de aprendizaje en educación inicial y las tendencias pedagógicas actuales en torno al juego y la narración.
- Diseño del recurso: se elaboró la caja “Cuéntame un Cuento”, fabricada en manera ecológica, incorporación luces LED y un circuito electrónico con sonidos para estimular la atención sensorial. Además, se diseñaron figuras representativas de personajes, animales y entornos.
- Construcción del prototipo o producto mínimo viable (MVP): se ensambló una versión funcional de la caja y las figuras para su validación inicial, priorizando la resistencia, seguridad y manipulación ergonómica por parte de los niños.
- Validación y aplicación pedagógica: el recurso fue utilizado en actividades de narración guiada y libre dentro del aula. Se observaron las reacciones de los estudiantes en aspectos como creatividad, lenguaje, atención y socialización.

Resultados

La aplicación del recurso educativo “Cuéntame un Cuento” evidenció resultados altamente positivos en relación con los objetivos planteados. Durante las actividades de narración y juego cooperativo, los niños demostraron un notable incremento en su capacidad imaginativa, su expresión oral y su interacción social. La manipulación de las figuras, los escenarios y los elementos visuales permitió que los participantes construyeran sus propias historias, mostrando una comprensión más profunda de las secuencias narrativas y fortaleciendo su pensamiento lógico y creativo en todo el proceso educativo.

Resultados cuantitativos observados

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, descriptivo y aplicativo, por lo que el análisis no se sustenta en datos estadísticos, porcentajes ni mediciones numéricas, ya que no se aplicaron instrumentos estandarizados para ese fin.

La información se obtuvo mediante observación directa y sistemática en el contexto natural del aula, complementada con registros de comportamiento y la retroalimentación cualitativa de los docentes, tal como corresponde a esta línea de investigación.

Es importante aclarar que el eje central del trabajo es “Cuéntame un cuento” como estrategia pedagógica para el aprendizaje y el desarrollo integral. El recurso diseñado cumple únicamente la función de medio de apoyo que enriquece la experiencia narrativa, pero no constituye el objeto de estudio en sí mismo. A continuación, se presentan los hallazgos organizados de forma descriptiva:

Tabla 1

Hallazgos observados en la aplicación de la estrategia “Cuéntame un cuento”

Dimensión de análisis	Aspectos observados durante las sesiones	Manifestaciones y expresiones de los niños
Interés, motivación y atención	Aproximación espontánea al espacio de trabajo; disposición para iniciar las actividades; seguimiento continuo del hilo narrativo; reducción de momentos de dispersión a lo largo del relato.	“¿Hoy vamos a contar otra historia?”, “Quiero saber qué pasa con el personaje”, mantienen la mirada y escuchan con atención sin necesidad de indicaciones constantes.
Vivencia multisensorial	Reconocimiento de formas, colores y texturas; reacción ante cambios de sonido y luz; manipulación libre y segura de los elementos para representar lo que se escucha en la narración.	Es suave”, “Suena como en el bosque”, señalan los escenarios y mueven las figuras para acompañar el desarrollo de la historia.
Expresión oral e imaginación	Paso de ser oyentes pasivos a participantes activos; enriquecimiento progresivo del vocabulario; capacidad para proponer situaciones, cambiar tramas o crear nuevos personajes.	“Yo creo que va a buscar ayuda”, “Podemos cambiar el final para que sea feliz”, relatan sucesos relacionados con sus propias vivencias.
Trabajo colaborativo y convivencia	Compartir los materiales; respetar turnos de intervención; escuchar las ideas de los compañeros; coordinar acciones para construir una narración conjunta.	Te toca a ti moverlo”, “Yo digo esto y tú dices lo otro”, ayudan a organizar los elementos del escenario entre todos.

Nota. Autores, (2025)

Descripción de los hallazgos

Durante la implementación de la estrategia, se constató que la narración de cuentos apoyada en estímulos visuales, auditivos y táctiles generó una respuesta positiva y sostenida en todos los participantes. A diferencia de las narraciones tradicionales sin apoyos, la combinación de sentidos permitió que la historia no solo se escuchara, sino que también se viera, se tocara y se interpretara, facilitando una comprensión más profunda de las secuencias y situaciones.

En lo que respecta al lenguaje, se observó una evolución progresiva: al inicio las intervenciones eran breves y sencillas, pero a medida que avanzaron las sesiones, los

niños fueron capaces de expresar ideas más completas, utilizar palabras nuevas y explicar sus propias versiones de los relatos. Los docentes destacaron que esta dinámica redujo la timidez y aumentó la seguridad para participar en grupo.

Discusión

En cuanto La discusión de los resultados se orienta a interpretar los hallazgos obtenidos al aplicar la estrategia “Cuéntame un cuento”, contrastándolos con la literatura científica actual para validar su pertinencia y aporte. Al tratarse de un estudio cualitativo, el análisis se centra en la descripción e interpretación de los comportamientos, expresiones y procesos observados, en lugar de datos estadísticos.

En primer lugar, se constató que la narración de cuentos apoyada en recursos multisensoriales generó un alto nivel de interés, motivación y atención sostenida en los niños. Esto coincide con lo planteado por Cevallos y Vásquez (2023), quienes señalan que la integración de estímulos visuales, auditivos y táctiles en las actividades narrativas aumenta significativamente la disposición de los niños de 3 a 6 años hacia el aprendizaje, ya que activa múltiples vías de procesamiento de la información. De igual forma, Mendoza (2024) confirma que cuando el relato no es solo auditivo, sino que se acompaña de elementos que se pueden ver y manipular, se reduce la dispersión y se prolonga el tiempo de atención, tal como se observó en esta investigación.

Respecto al desarrollo de la imaginación y la capacidad para construir historias, los resultados coinciden con Sánchez y Gómez (2021), quienes indican que la narración interactiva permite al niño organizar su pensamiento, comprender secuencias lógicas y expresar sus propias vivencias a través de la ficción. En este estudio se evidenció que los participantes pasaron de ser oyentes pasivos a aportar ideas, cambiar tramas y crear nuevos personajes, lo que según López (2024) es una manifestación directa del juego simbólico y de la construcción de significados, favoreciendo un aprendizaje realmente significativo.

En lo referente a la expresión oral y el enriquecimiento del lenguaje, los hallazgos concuerdan con Torres y Paredes (2022), quienes en su investigación en contextos educativos ecuatorianos demostraron que la narración de cuentos es una estrategia eficaz para ampliar el vocabulario, mejorar la pronunciación y aumentar la seguridad al hablar. En esta experiencia se observó que los niños utilizaron palabras nuevas, explicaron sus ideas con mayor claridad y perdieron el miedo a intervenir, lo que reafirma que la estrategia tiene un impacto positivo en el desarrollo comunicativo.

Finalmente, en cuanto al trabajo colaborativo y las habilidades sociales, los resultados coinciden con Rojas y Franco (2023), quienes afirman que las dinámicas de construcción conjunta de historias promueven el respeto de turnos, la escucha activa y la cooperación. En el presente estudio se constató que los niños aprendieron a compartir materiales, valorar las ideas de sus compañeros y coordinar acciones para dar coherencia a la narración, lo que demuestra que la estrategia no solo incide en aspectos cognitivos, sino también en el desarrollo socioemocional.

En síntesis, los hallazgos de esta investigación son consistentes con la evidencia científica actual: la narración de cuentos como estrategia pedagógica, apoyada en recursos multisensoriales, responde a las características de desarrollo de la primera infancia y permite contrarrestar los efectos de la exposición pasiva a la tecnología, tal como lo recomienda el MINEDUC (2025). La propuesta se consolida, así como una alternativa válida, accesible y acorde a las necesidades formativas de los niños de 3 a 6 años.

Conclusiones

El proyecto permitió cumplir con los objetivos planteados, evidenciando que la estrategia “Cuéntame un cuento” es efectiva para favorecer el desarrollo integral de los niños y niñas de 3 a 6 años. A partir de la observación sistemática y el registro de las experiencias vividas, se constató que la narración de historias apoyada en recursos multisensoriales estimula la motivación, la imaginación, la expresión oral y las habilidades sociales, tal como se describe en los hallazgos.

La experiencia permitió observar que los participantes pasaron de ser oyentes pasivos a constructores activos de sus propias historias, expresando sus vivencias, compartiendo ideas y respetando turnos de intervención. Esto confirma que la propuesta responde a las características de la primera infancia, donde el juego y la manipulación de materiales concretos son la vía natural para aprender.

Si bien la intervención generó avances visibles durante el periodo de aplicación, no se cuenta con datos de seguimiento a largo plazo para afirmar que produce un “aprendizaje permanente”. Por ello, se concluye que la estrategia constituye una alternativa pedagógica válida, accesible y acorde al currículo nacional, capaz de generar aprendizajes significativos en el contexto de su implementación. Se sugiere para futuras investigaciones realizar un seguimiento prolongado que permita evaluar la duración de los cambios observados.

Por su parte, los docentes valoraron positivamente el recurso, destacando su versatilidad para adaptarse a diferentes dinámicas de aula. Esto demuestra que la propuesta es viable en instituciones educativas del nivel inicial, y que su uso contribuye a contrarrestar los efectos de la exposición pasiva a la tecnología, fomentando la interacción y la creatividad.

Finalmente, el trabajo deja como principal aporte que la narración de cuentos, cuando se diseña como una experiencia activa y multisensorial, se consolida como una herramienta valiosa para acompañar el crecimiento cognitivo, comunicativo y socioemocional en esta etapa decisiva del desarrollo.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento al Instituto Tecnocuatoriano Sede Santa Elena por abrirme las puertas para desarrollar mi proyecto “Cuéntame un Cuento”, un sueño que nace del deseo de que los niños aprendan jugando e imaginando. Agradezco profundamente a mis docentes MSc Guadalupe Mora por creer en mis ideas, Dra. Betsy

Briceño por guiarme con paciencia y sabiduría. Este proyecto me enseñó que educar es también sembrar emociones, despertar la creatividad y acompañar a los pequeños con amor y esperanza, y a Karen Bacilio mi compañera de estudio

Referencias

- Carcel, L. M., & Ferrando, P. M. (2024). La estimulación multisensorial para mejorar el procesamiento sensorial en las personas con TEA. *Revista de Discapacidad, Clínica y Neurociencias*, 11(1), 41-54. doi:<https://doi.org/10.14198/DCN.25559>
- Hernández, Fernández y Baptista: (2014) Metodología de la Investigación. Editores: McGraw Hill ; Edición: 6ª ; España. ISBN: 978-1-4562-2396-0. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- López, V. N. (2024). Importancia de las actividades lúdicas en el proceso de aprendizaje en los niños de Inicial. *Revista científica de Innovación Educativa y Sociedad Actual*. doi:10.62305/alcon.v4i4.218
- MINEDUC. (2025). Currículo Priorizado: Con énfasis en competencias comunicacionales, matemáticas, digitales y socioemocionales. Quito: Ministerio de Educación, Deporte y Cultura. Obtenido de <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/07/Curriculo-priorizado-inicial.pdf>
- Parrales, V. V., & Plúa, C. R. (2022). Metodologías activas en el proceso de enseñanza aprendizaje en los alumnos de nivelación. . *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 4(4), 328-344. <https://www.editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/245>
- Rojas, C., & Franco, P. (2023). Desarrollo socioemocional a través del juego y la narración en educación inicial. *Revista Iberoamericana de Estudios Infantiles*, 6(2), 112-128. <https://revistaiberoamericanainfancia.org/index.php/riei/article/view/247>. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8274659>
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1985). *Naturalistic Inquiry*. SAGE Publications.
- Cevallos, J., & Vásquez, L. (2023). Recursos multisensoriales y motivación en el aprendizaje de educación inicial. *Revista Ecuatoriana de Educación Inicial*, 7(2), 45-62. <https://revistaeducacioninicial.uce.edu.ec/index.php/rei/article/view/428>. DOI: <https://doi.org/10.46764/rei.v7i2.428>
- PIAGET, J., (1961) La formación del símbolo en el niño. México: F.C.E. pág.205. https://books.google.com.ec/books?id=2m7DDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Mendoza, A. (2024). Atención y concentración en niños de 3 a 6 años: el papel de las estrategias lúdicas. *Revista Latinoamericana de Pedagogía*, 12(1), 33-48. <https://revistalatinoamericanadepedagogia.org/index.php/rlp/article/view/592>. DOI: <https://doi.org/10.48173/rlp.v12i1.592>
- Bruner, J. S. (1986). *Actual Minds, Possible Worlds*. Harvard University Press
- Lora, M., & Medina, R. (2022). Criterios para el diseño de recursos didácticos multisensoriales en educación inicial. *Revista Latinoamericana de Pedagogía*, 8(2), 45-58.
- López, V. N. (2024). Importancia de las actividades lúdicas en el proceso de aprendizaje en los niños de inicial. *Revista Científica de Innovación Educativa y Sociedad Actual*. <https://doi.org/10.62305/alcon.v4i4.218>
- Sánchez, L., & Gómez, P. (2021). El cuento como recurso educativo: fundamentos y aplicaciones. *Revista Iberoamericana de Educación*, 59(2), 78-92.

- Torres, S. D. (2020). Los cuentos infantiles para desarrollar el lenguaje oral en niños y niñas de 4 a 5 años de Educación Inicial de la Unidad Educativa "Darío Guevara". Ambato: Universidad Indoamérica. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14809/1342>
- UNESCO. (2024). Global Report on Early Childhood Care and Education. United States of América: UNESCO. DOI: <https://doi.org/10.54675/FWQA2113>
- Vygotsky, L. S. (1978). Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press.

De STEM a STEAM en Carreras Técnico-Tecnológicas: Innovación Pedagógica Híbrida Práctica-Digital para Desarrollar Pensamiento Crítico

From STEM to STEAM in Technical-Technological Careers: Hybrid Practical-Digital Pedagogical Innovation to Develop Critical Thinking

 Angel Isaac Simbaña Gallardo
Instituto Superior Universitario Sucre
Magister en Educación

 William Giovanni Quitiaquez Sarzosa
Universidad Politécnica Salesiana
Doctor en Ingeniería

Resumen:

Esta investigación analiza la implementación de un modelo pedagógico basado en metodología STEAM en la formación de Tecnólogos en Electromecánica, para fortalecer, tanto el aprendizaje práctico y conceptual, como el desarrollo del pensamiento crítico y creatividad. El estudio consideró una investigación aplicada, al comparar dos grupos académicos, uno que siguió un método tradicional de enseñanza-aprendizaje y otro que adoptó una pedagogía híbrida, caracterizada por la integración de prácticas presenciales, recursos digitales y proyectos colaborativos. La evaluación del impacto se realizó a partir de datos cuantitativos y cualitativos, incluyendo calificaciones académicas, observaciones docentes, encuestas de percepción y resultados de proyectos grupales. Los hallazgos muestran una mejora significativa en el rendimiento general, con un incremento promedio de 7.19 a 8.64/10, junto con una mayor participación, capacidad argumentativa y aplicación del conocimiento en contextos reales con propuestas creativas. Estos resultados evidencian que la metodología STEAM, al integrar complementariamente las Artes, fomenta el aprendizaje activo y la apropiación significativa de los contenidos técnicos. Asimismo, los componentes de Ingeniería, Tecnología y Ciencias fueron los más valorados por su aplicabilidad directa en el ámbito profesional, mientras que el componente de Artes, aunque menos reconocido inicialmente, se consolidó como un eje transversal que impulsa la innovación y la capacidad de proponer soluciones originales. Los resultados confirman que la integración del enfoque STEAM representa una estrategia pedagógica eficaz para modernizar la enseñanza técnico-tecnológica, potenciar el uso de tecnologías y preparar a los estudiantes para enfrentar los desafíos de la Industria 4.0 con creatividad, pensamiento crítico y autonomía profesional.

Palabras claves: creatividad, cognitivo,

estimulación, infancia, narración

Abstract:

This study examines the implementation of a pedagogical model grounded in the STEAM methodology for the training of Electromechanical Technologists, aiming to strengthen both practical and conceptual learning while fostering critical thinking and creativity. An applied research design was adopted, comparing two academic groups: one following a traditional teaching-learning method and another employing a hybrid pedagogy that integrates face-to-face practice, digital resources, and collaborative project development. The impact was evaluated through a mixed-methods approach, combining quantitative and qualitative data such as academic performance, teacher observations, perception surveys, and outcomes of group projects. Findings revealed a significant improvement in overall performance, with average grades rising from 7.19 to 8.64/10, alongside enhanced participation, reasoning ability, and creative problem-solving in real-world contexts. These results highlight that the STEAM methodology, particularly through the complementary inclusion of the Arts, promotes active learning and meaningful engagement with technical knowledge. Engineering, Technology, and Science components were perceived as the most directly applicable to professional practice, while the Arts component, initially undervalued, emerged as a transversal element driving innovation and originality. Overall, the integration of the STEAM approach proved to be an effective pedagogical strategy for modernizing technical and technological education, strengthening digital competencies, and preparing students to meet the demands of Industry 4.0 with creativity, critical thinking, and autonomy.

Keywords: Critical thinking, hybrid learning, ICT, STEAM, technical education

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La formación de futuros profesionales en carreras técnicas, particularmente en para Tecnólogos en Electromecánica, conserva una importancia estratégica en un contexto marcado por la expansión de la automatización, el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y la inteligencia artificial (IA). Sin intención de desplazar a los técnicos, estas innovaciones van a ampliar sus responsabilidades, exigiendo competencias que integren el conocimiento mecánico, eléctrico y digital para gestionar sistemas cada vez más complejos. En este marco, la preparación técnica se convierte en la base para garantizar la operación y mantenimiento de los equipos, además de su adaptación e innovación constante (Huaman y Angeles, 2024). Sin embargo, la dimensión humana sigue siendo insustituible, la capacidad de interpretar escenarios diversos, tomar decisiones con criterio y proponer soluciones creativas y éticas que respondan a las necesidades de la sociedad. Por ello, la formación técnica orientada al pensamiento crítico asegura que la industria funcione de manera eficiente en la era digital, evolucionando de forma sostenible y responsable.

Rakić (2023) analizó la implementación del IoT en contextos educativos realizando una revisión sistemática de estudios previos, enfocándose especialmente en su aplicación en instituciones educativas y su impacto en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Se destaca que IoT permite la creación de objetos inteligentes capaces de generar, intercambiar, analizar y gestionar datos con mínima intervención humana, lo que abre oportunidades para personalizar la educación, mejorar la interacción docente-estudiante, optimizar la gestión de recursos y fomentar entornos de aprendizaje más dinámicos e integrados. También se identifican desafíos significativos, tales como la necesidad de infraestructura tecnológica adecuada, la capacitación del personal docente, la seguridad y privacidad de los datos, y la integración de IoT con los currículos existentes.

Žáčok et al. (2022) indican que la integración entre fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas en el proceso de enseñanza-aprendizaje resulta decisiva para una formación técnica de calidad. Mientras la teoría aporta el marco conceptual que explica principios y modelos, la práctica permite contrastarlos, aplicarlos y transformarlos en competencias reales. En la formación de carreras técnicas, la incorporación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) responde a la necesidad de preparar profesionales capaces de desenvolverse en entornos productivos marcados por la digitalización y la interconexión. Aunque los fundamentos científicos y de las ciencias exactas siguen siendo fundamentales, su enseñanza aislada resulta insuficiente para enfrentar los desafíos actuales. Las TIC amplían el proceso educativo al permitir simular, visualizar, analizar y comunicar fenómenos de manera más dinámica y contextualizada.

El modelo de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés) ha sido un enfoque educativo clave para desarrollar competencias técnicas, analíticas y de resolución de problemas en los estudiantes, integrando de manera transversal estas disciplinas. Según Ortiz-Revilla et al. (2022), la evolución hacia un modelo que implique las Artes (STEAM, por sus siglas en inglés), extiende el aprendizaje al enfatizar la creatividad, la comunicación y la innovación, cualidades necesarias para

generar soluciones originales y efectivas. Una vinculación temprana con la Industria 4.0 permite que los estudiantes se familiaricen con entornos de tendencia tecnológica, aplicando desde la etapa académica sus conocimientos técnicos y creativos en escenarios productivos reales. Por lo que STEAM se consolida como un marco pedagógico que integra práctica, creatividad y pensamiento crítico, preparando profesionales capaces de enfrentar los desafíos de un ecosistema industrial dinámico y altamente tecnológico.

El estudio de Ramos-Lizcano et al. (2022) presenta una revisión de 53 experiencias educativas con enfoque STEM y sus variantes, como STEAM, desarrolladas en 19 países, identificando elementos clave para el aprendizaje del siglo XXI, incluyendo creatividad, pensamiento crítico, colaboración e innovación, así como su vinculación con la Educación para el Desarrollo Sostenible. Se destaca el rol mediador de las TIC, que facilitan la comunicación, la interacción, el pensamiento computacional y científico, y el desarrollo de productos para la resolución de problemas reales, potenciando la motivación y el aprendizaje colaborativo. Se destaca que el papel del docente sigue siendo fundamental, ya que su intervención pedagógica asegura la aplicación práctica del conocimiento y la construcción situada del aprendizaje. Entre las limitaciones, se señala la necesidad de profundizar en los desafíos y barreras que enfrenta la implementación de experiencias STEM, más allá de sus beneficios ampliamente reconocidos.

La investigación de Dolgopolovas y Dagienė (2021) se enfoca en el rol del pensamiento computacional en la educación STEM y STEAM. Se ha realizado revisiones sistemáticas de los artículos incluidos, que sintetizan estos conceptos y su aplicación práctica en entornos educativos. Se evidencia que el pensamiento computacional puede integrarse eficazmente en diversas áreas de la educación técnica y de ingeniería, como programación, robótica, electrónica, mecánica y energía, promoviendo habilidades de resolución de problemas, análisis lógico, creatividad y pensamiento crítico. Al conectar teoría y práctica mediante el enfoque STEAM que permite a los estudiantes aplicar conocimientos científicos y tecnológicos en contextos reales y multidisciplinarios, que fortalece las competencias técnicas, al mismo tiempo que los prepara para enfrentar desafíos complejos en entornos profesionales.

En este mismo contexto, Bresciani (2025) aborda la necesidad de fortalecer el fundamento teórico en la investigación y práctica de la educación STEAM, área que históricamente ha mostrado literatura relativamente escasa en teoría. Mediante una revisión sistemática de la literatura sobre educación STEAM en contextos de ciencia abierta, educación secundaria y terciaria, y desafíos globales, se han identificado 26 marcos teóricos relevantes. Se clasifican según su coherencia y solidez teórica, y se organizan en cuatro enfoques principales, interacciones experienciales en el mundo real, perspectivas psicológicas y cognitivas, interconectividad social, espacial y material, finalizando con cultural y equidad. Se destaca la importancia de tratar las artes más allá de disciplinas utilitarias, sino como componentes fundamentales dentro del enfoque STEAM.

Por su parte Mejias et al. (2021) plantean un análisis crítico del concepto emergente de STEAM, resaltando tanto su potencial transformador como las tensiones asociadas a su implementación. Al desarrollar un examen teórico y crítico de la literatura, políticas educativas y prácticas pedagógicas, se busca identificar enfoques inclusivos y

transdisciplinarios que integran las artes de manera equitativa con STEM. Entre los hallazgos principales, se evidencia que STEAM promueve el aprendizaje equitativo, la creatividad, la autoexpresión y la participación, aunque su conceptualización ambigua puede conducir a aplicaciones superficiales o centradas en objetivos académicos y sociales. Este enfoque permite desarrollar epistemologías transdisciplinarias para priorizar la equidad, mostrando que la integración profunda de STEAM puede potenciar la innovación educativa y preparar a los estudiantes para enfrentar desafíos complejos de manera crítica y creativa, siempre que se sustente en teorías pedagógicas sólidas.

Fomentar el pensamiento crítico en los estudiantes resulta necesario para que puedan analizar, evaluar y tomar decisiones informadas, trascendiendo las limitaciones de las metodologías tradicionales. Esta competencia les permite cuestionar procedimientos, proponer alternativas y asumir un rol activo en su aprendizaje (Thornhill-Miller et al., 2023). En este marco, un modelo híbrido que combine enseñanza presencial reforzando el componente práctico, pero también con recursos digitales ofrece una oportunidad para ampliar el alcance del aula, integrando contenidos interactivos y simulaciones que refuercen la comprensión teórica. Entonces, el pensamiento crítico, potenciado por un enfoque híbrido, prepara a los estudiantes para enfrentar desafíos profesionales con criterio propio, innovación y responsabilidad.

Ilham et al. (2025) afirma que la efectividad de la educación STEAM influye en el desarrollo del pensamiento crítico, luego de una revisión sistemática de 20 estudios relevantes, seleccionados según criterios de inclusión, para identificar la manera en que la integración de STEAM impacta las habilidades cognitivas de los estudiantes. La combinación de STEAM con Aprendizaje Basado en Problemas (PBL, por sus siglas en inglés) potencia significativamente el pensamiento crítico, creativo y analítico, al tiempo que fomenta la colaboración, la comunicación y la resolución de problemas. Los estudiantes involucrados en PBL-STEAM demostraron mejoras sustanciales en la capacidad de analizar información, evaluar argumentos y generar soluciones innovadoras a desafíos reales. Además, este enfoque promueve competencias del siglo XXI, incrementa la motivación y hace el aprendizaje más significativo.

Por lo tanto, esta investigación busca analizar el impacto de la metodología STEAM, enfatizando la integración de las artes en el aprendizaje de estudiantes de carreras técnico-tecnológicas, incorporando una pedagogía que potencie el uso de recursos tecnológicos y refuerce, tanto el conocimiento práctico, como su relación con los fundamentos científicos adquiridos. El documento se organiza de la siguiente manera, en Metodología se describen los modelos e instrumentos utilizados para el diseño, implementación y evaluación de esta innovación pedagógica. En Resultados, se presentan las percepciones de docentes y estudiantes tras un semestre de aplicación del nuevo modelo, evaluando su viabilidad. La sección de Discusión plantea un análisis comparativo con investigaciones previas en la literatura. Finalmente, en Conclusiones, se destacan los hallazgos más relevantes y el aporte de esta investigación.

Metodología

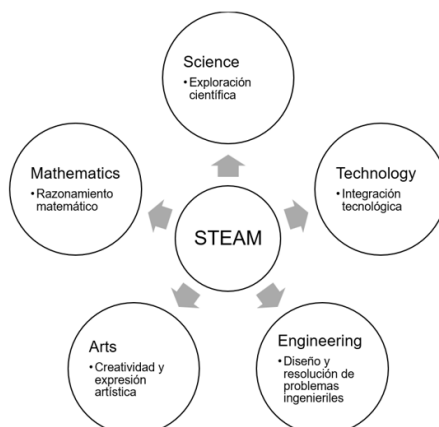
Tipo y alcance de la investigación

Este trabajo se enmarca en una investigación aplicada, ya que busca generar conocimiento orientado a resolver problemas concretos en la formación de estudiantes de carreras técnico-tecnológicas. Aunque la literatura existente proporciona un marco teórico sólido sobre pedagogía y didáctica, así como sobre metodologías innovadoras como STEM y STEAM, se ha observado que el rendimiento académico de los estudiantes, si bien alcanza niveles promedio, no logra resultados sobresalientes. Esta situación se relaciona con limitaciones en la integración práctica del conocimiento científico y tecnológico, la escasa incorporación de recursos digitales y TIC, y la falta de experiencias pedagógicas que fomenten el pensamiento crítico y la resolución autónoma de problemas. Por ello, la investigación aplicada busca evaluar la implementación de un modelo pedagógico híbrido práctico-digital, que fortalezca tanto los aprendizajes conceptuales como las competencias prácticas de los estudiantes.

Modelo STEAM y su integración en Tecnología en Electromecánica

El modelo STEAM utilizado en esta investigación se estructura en cinco etapas interrelacionadas, adaptadas a la formación de estudiantes de electromecánica industrial. Es necesario iniciar con una la exploración científica (Science), que permite a los estudiantes comprender principios fundamentales de electricidad, mecánica y automatización mediante experimentos y análisis de datos. La integración tecnológica incorpora TIC (Technology), incluyendo software de simulación, programación de controladores y monitoreo de procesos, acercando al estudiante a herramientas de la industria 4.0. El diseño y resolución de problemas ingenieriles (Engineering) promueve la aplicación práctica de conocimientos para ensamblar y solucionar sistemas electromecánicos, fomentando pensamiento crítico y autonomía. El razonamiento matemático (Mathematics) refuerza este análisis de resultados y el cálculo de parámetros operativos, fortaleciendo la toma de decisiones basada en procesos analíticos.

La creatividad y expresión artística (Arts) complementa el modelo STEAM como componente de innovación y comunicación, estimulando la creatividad en el diseño de proyectos, visualización de procesos y presentación de soluciones. Esta articulación busca vincular los contenidos científicos y técnicos con experiencias prácticas y digitales, utilizando TIC como mediadoras del aprendizaje y potenciando la creatividad, la comunicación y la innovación para preparar a los estudiantes ante los desafíos de la industria moderna. La Figura 1 esquematiza el modelo STEAM, mostrando la integración de ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas para potenciar competencias prácticas, digitales y de pensamiento crítico.

Figura 1*Esquema del modelo STEAM**Nota. Autores, (2025)*

Población y muestra

La población objeto de estudio estuvo conformada por estudiantes de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, con un promedio aproximado de 200 estudiantes matriculados por período académico. Para el desarrollo de la investigación se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, condicionado por la disponibilidad y apertura de grupos correspondientes a la misma asignatura en dos períodos académicos consecutivos. Con el propósito de garantizar una comparación metodológicamente válida entre los grupos analizados, se establecieron criterios de equivalencia académica y curricular. Tanto el grupo de control como el grupo experimental pertenecían al mismo programa de formación, cursaban la misma asignatura, compartían contenidos temáticos, resultados de aprendizaje, carga horaria y criterios de evaluación establecidos institucionalmente. Asimismo, ambos grupos fueron guiados por el mismo docente y desarrollaron sus actividades dentro de condiciones académicas similares, lo que permitió reducir la influencia de variables externas asociadas al contexto educativo.

El primer grupo, correspondiente al período inicial, estuvo integrado por 12 estudiantes y trabajó bajo un enfoque de enseñanza tradicional, donde el seguimiento del aprendizaje se realizó principalmente mediante evaluaciones convencionales y análisis de promedios académicos. Posteriormente, en el siguiente período académico, se conformó un segundo grupo de 15 estudiantes, en el cual se implementó una propuesta pedagógica basada en metodologías activas, integración de herramientas digitales y un mayor componente práctico orientado al aprendizaje aplicado.

La estructuración de ambos grupos bajo condiciones comparables permitió establecer un análisis contrastivo del desempeño académico y de la percepción estudiantil frente a la incorporación de estrategias pedagógicas innovadoras. Este diseño favorece la validez interna del estudio, al posibilitar la evaluación del impacto de las metodologías activas y del uso de tecnologías educativas sobre el proceso de aprendizaje en contextos de formación técnica superior.

Instrumentos de recolección de datos y evaluación del aprendizaje

Con el propósito de evaluar el impacto de la metodología STEAM en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de Electromecánica, se adoptó un enfoque metodológico mixto, basado en la aplicación de instrumentos cuantitativos y cualitativos. De esta manera, se obtuvo una visión integral del desempeño académico, de la participación estudiantil y de la percepción de los estudiantes respecto al proceso de enseñanza-aprendizaje.

En primer lugar, se efectuó un análisis comparativo del rendimiento académico entre dos grupos de estudio: un grupo de control, que desarrolló sus actividades bajo un enfoque de enseñanza tradicional, y un grupo experimental, que participó en actividades basadas en metodologías activas apoyadas por recursos digitales y prácticas integradoras. Con el fin de garantizar proporcionalidad y validez en la comparación, ambos grupos pertenecían al mismo nivel académico, programa de formación y asignatura, además de trabajar bajo los mismos resultados de aprendizaje, criterios de evaluación y período académico. Este ajuste metodológico permitió reducir posibles sesgos externos y fortalecer la confiabilidad de los resultados obtenidos.

De manera complementaria, se aplicó la observación directa estructurada durante las sesiones de clase, con el objetivo de registrar indicadores asociados a la participación activa, interacción colaborativa, compromiso académico y capacidad de resolución de problemas en contextos prácticos. Este tipo de observación constituye una herramienta relevante dentro de los procesos de evaluación educativa, debido a que permite identificar comportamientos y dinámicas de aprendizaje vinculadas con el desarrollo del pensamiento crítico y la construcción activa del conocimiento.

Asimismo, se analizaron las interacciones generadas por los estudiantes dentro del Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA), considerando actividades como participación en foros, entrega de tareas digitales y desarrollo de actividades colaborativas. Estos registros aportaron evidencia sobre procesos de autoaprendizaje, uso de herramientas tecnológicas y aplicación práctica del conocimiento en entornos virtuales, aspectos fundamentales dentro de propuestas educativas basadas en STEAM y aprendizaje mediado por tecnología.

Al finalizar el período académico, se aplicó una encuesta de percepción estudiantil orientada a evaluar la efectividad de la metodología implementada, la utilidad de los recursos digitales empleados, el fortalecimiento del trabajo colaborativo, el desarrollo de la creatividad y la integración entre teoría y práctica. Previamente a su aplicación, el instrumento fue sometido a un proceso de validación por juicio de expertos, en el que participaron tres especialistas en innovación educativa y formación técnica superior. Los expertos evaluaron criterios de claridad, pertinencia, coherencia y correspondencia con los objetivos de investigación. A partir de sus observaciones, se realizaron ajustes orientados a mejorar la validez de contenido y la confiabilidad del instrumento.

Finalmente, la evaluación del desarrollo de habilidades relacionadas con la creatividad y la resolución de problemas se realizó mediante proyectos prácticos grupales, en los cuales los estudiantes integraron conocimientos teóricos y competencias técnicas para plantear soluciones aplicadas a contextos reales. Estas actividades permitieron evidenciar capacidades de análisis, toma de decisiones y articulación entre conocimiento

disciplinar y tecnológico, aportando elementos relevantes para valorar la efectividad del enfoque pedagógico híbrido práctico-digital implementado en la investigación.

Modelos pedagógicos y tecnológicos de apoyo

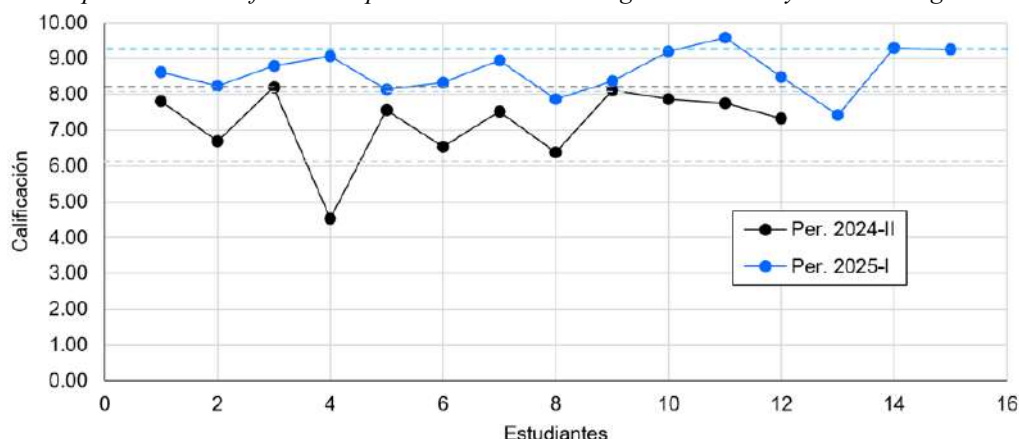
Para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en la implementación del modelo STEAM, se integraron diversos modelos de apoyo pedagógico y tecnológico. Por parte del docente, se utilizó el modelo de conocimiento tecnológico, pedagógico y de contenido científico (TPACK, por sus siglas en inglés) para articular de manera efectiva estos conocimientos en la planificación y ejecución de las clases. A nivel metodológico, se utilizó el modelo de sustitución, aumento, modificación y redefinición (SAMR, por sus siglas en inglés) para guiar la incorporación de tecnologías en las actividades de aprendizaje, asegurando que estas transformaran las experiencias educativas más allá de la sustitución simple de recursos tradicionales y (Simbaña & Quitiaquez, 2025). Para los estudiantes, se implementó el aprendizaje basado en proyectos (PBL, por sus siglas en inglés), permitiendo que aplicaran de manera práctica los conceptos teóricos a través de actividades colaborativas y proyectos reales. Además, se integró un enfoque de aprendizaje flexible (B-Learning), que permitió a los estudiantes avanzar y revisar contenidos científicos a su propio ritmo mediante recursos digitales y actividades virtuales, reforzando la comprensión y la autonomía en su proceso de aprendizaje.

Resultados

La Figura 2 presenta los resultados académicos de los estudiantes de la carrera de Electromecánica entre el semestre 2024-II y 2025-I. Se observa un aumento significativo en los promedios tras la implementación de la nueva metodología basada en STEAM, con énfasis en la integración de tecnologías, actividades prácticas y metodologías innovadoras. En el semestre 2024-II, el promedio general fue de 7.19/10 con desviación estándar de ± 1.04 , mientras que, en el último semestre, con la aplicación del modelo STEAM y un enfoque más activo en TIC, el promedio general ascendió a 8.64/10 con una menor dispersión de ± 0.60 . Este incremento refleja una mejora evidente en los promedios, que ha dependido de un mayor compromiso y desempeño de los estudiantes, lo que sugiere que la nueva metodología favorece la comprensión de los conceptos teóricos y su aplicación práctica. Las calificaciones también abarcan trabajos grupales, proyectos, participaciones en clase y en foros, afirmando que se ha estimulado las habilidades críticas, creativas y colaborativas en el contexto de la formación técnico-tecnológica.

Figura 2

Análisis comparativo de calificaciones promedio con metodología tradicional y la metodología STEAM

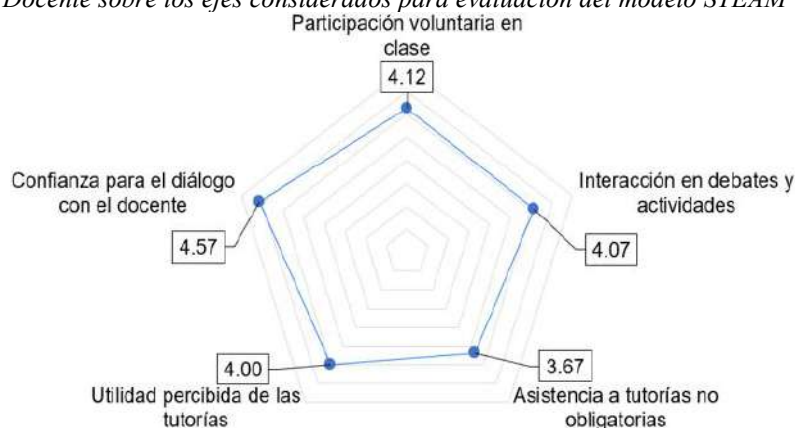


Nota. Autores, (2025)

La Figura 3 muestra los resultados de una encuesta particular para cada estudiante, evaluando criterios mediante una escala Likert incremental de 1 a 5. Se evidencia una tendencia positiva en la percepción estudiantil respecto a la participación y el acompañamiento docente dentro del proceso formativo. El puntaje más elevado corresponde a la confianza para el diálogo con el docente que alcanzó 4.57, lo que resalta la relevancia del clima de cercanía y apoyo, constituyéndose en un factor clave para fortalecer tanto la participación como la disposición al aprendizaje autónomo. La participación voluntaria en clase tuvo un valor de 4.12 y la interacción en debates y actividades 4.07, que muestran un nivel alto de involucramiento académico, lo que sugiere que las estrategias implementadas favorecen la motivación y el pensamiento crítico. En cuanto al uso de espacios adicionales, la asistencia a tutorías no obligatorias obtuvo un valor más moderado de 3.67, lo que indica que, si bien los estudiantes reconocen su importancia, no todos hacen uso frecuente de estos recursos. Sin embargo, quienes asisten valoran positivamente su utilidad, ya que se obtuvo 4.00, reflejando que estos espacios cumplen su propósito de reforzar conocimientos teóricos y prácticos.

Figura 3

Interpretación Docente sobre los ejes considerados para evaluación del modelo STEAM

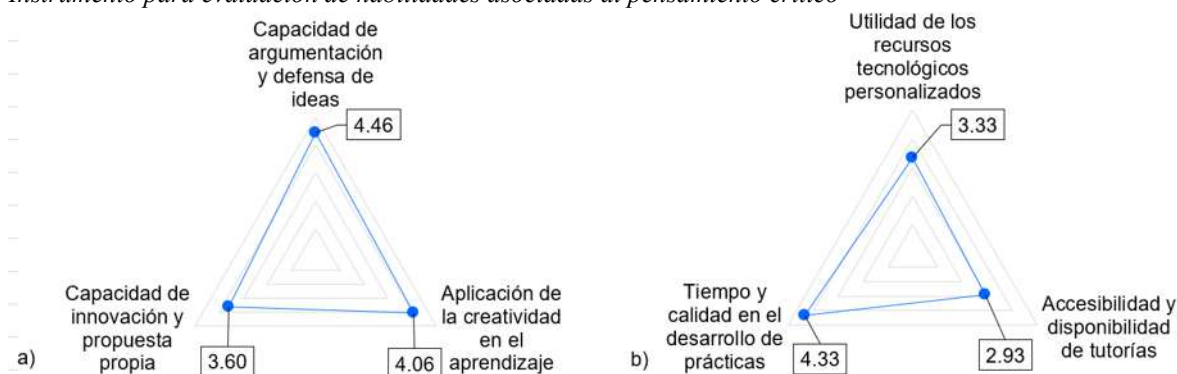


Nota. Autores, (2025)

Como indicadores del desarrollo del pensamiento crítico, la Figura 4a indica los resultados de aprendizaje, que evidencian un nivel favorable en la capacidad de argumentación y defensa de ideas, alcanzando el promedio más alto de 4.46. Esto demuestra que los estudiantes se sienten competentes al sustentar sus proyectos con fundamentos teóricos y prácticos. De igual manera, se reconoce un avance importante en la aplicación de la creatividad con valor de 4.06, pero todavía se presenta una menor valoración de 3.60 en la capacidad de innovación y propuesta propia, lo que sugiere la necesidad de fomentar escenarios que impulsen la generación de propuestas originales, dejando simplemente de replicar modelos existentes. La Figura 4b comparte la opinión al respecto de la metodología utilizada, donde los estudiantes valoran especialmente el tiempo y la calidad en el desarrollo de prácticas que tuvo un valor de 4.33, ratificando la importancia de la dimensión aplicada en su formación técnica. Sin embargo, los puntajes más bajos en la utilidad de los recursos tecnológicos personalizados y en la accesibilidad a tutorías, con 3.33 y 2.93, respectivamente, reflejan limitaciones que podrían obstaculizar el aprendizaje autónomo y el acompañamiento académico.

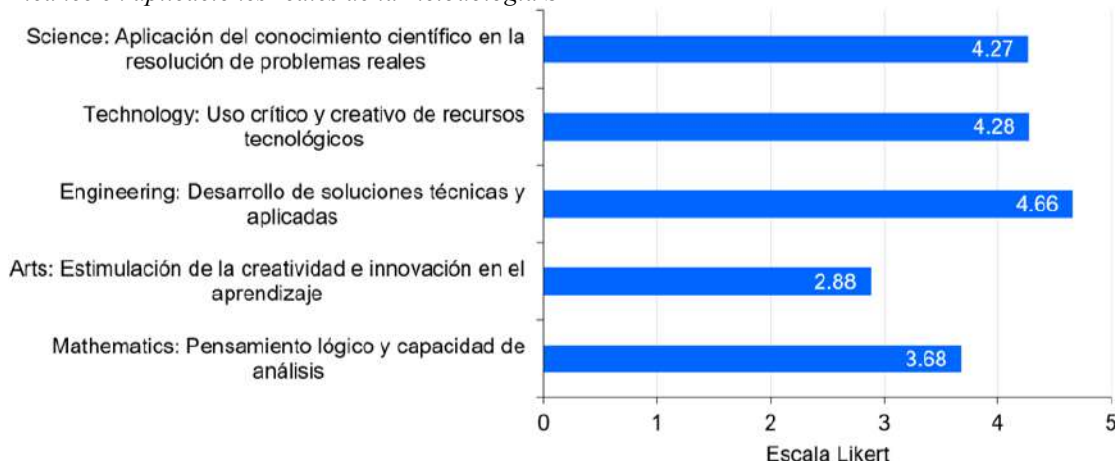
Figura 4

Instrumento para evaluación de habilidades asociadas al pensamiento crítico



Nota. Donde a) resultados de aprendizaje, b) metodología utilizada. Autores, (2025)

La Figura 5 refleja el alcance de los indicadores que los estudiantes consideran que la metodología STEAM va a tener en su futuro profesional. El componente Ingeniería alcanza la puntuación más alta de 4.66, evidenciando que los estudiantes valoran de manera prioritaria las actividades prácticas y aplicadas. En un nivel similar se sitúan la Tecnología y las Ciencias, con 4.28 y 4.27, respectivamente, lo que confirma la relevancia atribuida tanto al uso de herramientas tecnológicas como a la aplicación del conocimiento científico en la resolución de problemas reales. Matemáticas alcanzó un promedio de 3.68, manteniendo una posición intermedia que, si bien resulta fundamental para el análisis lógico y la precisión, no se percibe con la misma fuerza que los tres primeros componentes. Finalmente, el componente de Artes registra el valor más bajo de 2.88, lo cual podría interpretarse como una menor conciencia de su importancia directa dentro del proceso formativo.

Figura 5*Alcance en aplicaciones reales de la metodología STEAM**Nota.* Autores, (2025)

Sin embargo, desde un contexto pedagógico integral, el componente Artes en STEAM pasa de tratarse en una manera aislada a trascender como una dimensión que potencia la creatividad, la innovación y la capacidad de plantear alternativas originales. Aunque los resultados cuantitativos actuales no reflejan con la misma intensidad que los demás componentes, se considera que este eje constituye una base transversal que favorece el fortalecimiento de las demás áreas. Al integrar la creatividad y la sensibilidad estética en proyectos técnicos, se ha humanizado el aprendizaje mediante un pensamiento crítico, a la vez que abre la posibilidad de generar soluciones más pertinentes, innovadoras y con mayor impacto en el campo profesional.

Discusión

El análisis de los hallazgos en esta investigación evidencia que la implementación de metodologías activas basadas en el enfoque STEAM representa una estrategia pertinente para fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje en carreras técnicas. Los resultados muestran una mejora en el desarrollo de competencias disciplinares y en la capacidad de los estudiantes para aplicar conocimientos en contextos prácticos, aspectos que coinciden con investigaciones recientes publicadas en contextos STEM/STEAM dentro de la educación superior. Diversos estudios destacan que este tipo de metodologías favorecen entornos de aprendizaje más dinámicos, donde los estudiantes participan activamente en la resolución de problemas, el análisis crítico y la construcción significativa del conocimiento, permitiendo una mejor preparación frente a las demandas tecnológicas y productivas de la Industria 4.0.

Asimismo, se evidencia que la integración de herramientas tecnológicas y el incremento de actividades prácticas constituyen elementos fundamentales dentro de la formación técnica actual. La incorporación de recursos digitales, simulaciones y entornos interactivos contribuye significativamente a mejorar la motivación, la participación y el aprendizaje autónomo de los estudiantes. En este contexto, el rol del docente adquiere una importancia estratégica, ya que si bien implica la transmisión de contenidos técnicos,

también conlleva la capacidad de diseñar experiencias formativas alineadas con los avances tecnológicos y las necesidades cambiantes del sector industrial.

La aplicación de la metodología STEAM en la formación de estudiantes de Tecnología en Electromecánica ha potenciado el dominio técnico, además de brindar la posibilidad de desarrollar habilidades clave frente a los retos de la Industria 4.0. Esto se relaciona con el trabajo de Flores-Marín y González-Castillo (2024), quienes subrayan la relevancia de competencias como la conciencia tecnológica, el pensamiento analítico y la capacidad de resolución de problemas en el ámbito industrial latinoamericano. Hay que considerar que la investigación citada se apoya en una revisión teórica que describe las competencias necesarias en la región. Entonces toman mayor relevancia los resultados que aquí se han compartido, al aportar evidencia práctica, demostrando cómo, a través de estrategias de aprendizaje activo y el uso de herramientas tecnológicas en el aula, los estudiantes logran mejorar su desempeño académico y traducir el conocimiento en soluciones aplicadas. De esta manera, ambos estudios coinciden en la urgencia de alinear la educación técnica con las exigencias de la transformación digital, destacando que se ha propuesto un modelo pedagógico híbrido, que valida en la práctica el impacto positivo de la metodología STEAM, considerando otros enfoques complementarios, como B-Learning y PBL.

En concordancia con los resultados presentados por Soto-Solier y Villena-Soto (2024), que resaltan la manera en que la incorporación de las artes en proyectos STEAM impulsa el desarrollo de competencias digitales, narrativas y críticas en futuros docentes, se reafirma la relevancia de las artes como un componente fundamental de la formación integral. Los autores han particularizado el uso de un entorno digital para fortalecer la alfabetización visual y tecnológica en contextos de formación pedagógica. Mientras que comparativamente con las perspectivas estudiantiles que se obtuvieron en la Carrera de Electromecánica, se evidencia que las experiencias artísticas dentro de proyectos colaborativos favorecen la creatividad, la interacción social y la generación de soluciones innovadoras en entornos prácticos. Los estudios coinciden en que el enfoque interdisciplinario de STEAM trasciende el aprendizaje únicamente instrumental, abriendo espacio para el desarrollo de habilidades blandas como la comunicación, la confianza y el trabajo en equipo.

También la de Alkhabra et al. (2023) destaca que STEAM fomenta el pensamiento crítico como competencia transversal en la educación técnica, permitiendo a los estudiantes cuestionar, analizar y evaluar situaciones desde una mirada integral. La incorporación activa de tecnologías emergentes dentro del aula ha demostrado efectos positivos en la comprensión, apropiación y retención del conocimiento, además de fortalecer la motivación, la participación y el trabajo colaborativo entre los estudiantes.

La integración de recursos tecnológicos junto con actividades prácticas favoreció una conexión más efectiva entre la teoría y su aplicación en contextos reales, permitiendo que los estudiantes de Tecnología en Electromecánica afronten proyectos técnicos de mayor complejidad con mayor autonomía y seguridad en la toma de decisiones. La educación superior mediada con STEM/STEAM reconoce que la articulación entre ciencia, tecnología, ingeniería, matemáticas, arte y práctica aplicada constituye un enfoque pedagógico sólido para responder a las exigencias de la transformación digital y

la Industria 4.0. Por lo que el pensamiento crítico emerge como una de las competencias transversales más relevantes, al permitir que los futuros profesionales analicen, interpreten y resuelvan problemas de manera reflexiva y creativa frente a entornos tecnológicos en constante evolución.

Conclusiones

La evolución desde enfoques tradicionales basados exclusivamente en STEM hacia modelos STEAM representa una necesidad estratégica dentro de la educación técnica y tecnológica contemporánea. Más allá de la incorporación de contenidos multidisciplinares, este enfoque promueve una formación integral orientada al desarrollo de competencias técnicas, cognitivas y creativas necesarias para responder a los desafíos de la Industria 4.0. La inclusión del componente artístico aporta una dimensión complementaria al razonamiento científico y tecnológico, favoreciendo procesos de innovación, comunicación efectiva, pensamiento divergente y adaptación a entornos profesionales complejos y en constante transformación.

Los resultados presentados en esta investigación evidencian que la implementación de metodologías STEAM genera efectos positivos tanto en el desempeño académico como en los indicadores de desarrollo de pensamiento crítico y en el proceso de aprendizaje por parte de los estudiantes. Se identificaron mejoras en la participación activa, el trabajo colaborativo y la capacidad de argumentación técnica, además de una mayor motivación hacia el aprendizaje práctico y el uso de tecnologías aplicadas. Estos hallazgos respaldan el potencial de las metodologías STEAM como una alternativa pedagógica capaz de transformar los modelos convencionales de enseñanza técnica, promoviendo experiencias de aprendizaje más dinámicas, contextualizadas y alineadas con las demandas educativas y productivas actuales.

Asimismo, la aplicación del enfoque STEAM en la formación de Tecnólogos en Electromecánica permitió consolidar un modelo híbrido de enseñanza que integra herramientas digitales, actividades prácticas y estrategias creativas dentro del proceso formativo. La articulación equilibrada entre teoría, práctica e innovación favoreció una mayor apropiación del conocimiento y fortaleció habilidades vinculadas con el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la toma de decisiones en escenarios reales. Entonces, el desarrollo del pensamiento crítico se posiciona como una competencia transversal indispensable para que los futuros profesionales enfrenten de manera reflexiva, responsable y propositiva los retos tecnológicos, sociales e industriales de la actualidad.

Referencias

Alkhabra, Y. A., Ibrahem, U. M., & Alkhabra, S. A. (2023). Augmented reality technology in enhancing learning retention and critical thinking according to STEAM program. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 1–10.

- Bresciani, S. (2025). Practice or praxis? A theoretical classification system for STEAM education. *Education Sciences*, 15(2), 1–24.
- Dolgopolas, V., & Dagienė, V. (2021). Computational thinking: Enhancing STEAM and engineering education, from theory to practice. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 5–11.
- Flores-Marín, J., & González-Castillo, S. (2024). STEM skills in greatest demand to face the challenges of Industry 4.0. Bibliographic review for Latin America and Costa Rica. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(4), 1081–1107.
- Huaman, M. J. E., & Angeles, O. E. F. (2024). Las nuevas demandas educativas en ingeniería industrial impulsadas por la automatización en la era digital. *Sciencevolution*, 3(11), 145–157.
- Ilham, K. M., Kurnia, B., & Akif, M. (2025). Analysis of the Role of STEAM Education in Improving Critical Thinking Skills for Sustainable Development. *Journal of Current Studies in SDGs*, 1(1), 20–32.
- Mejias, S., Thompson, N., Sedas, R. M., Rosin, M., Soep, E., Pepler, K., Roche, J., Wong, J., Hurley, M., & Bell, P. (2021). The trouble with STEAM and why we use it anyway. *Science Education*, 105(2), 209–231.
- Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M., & Arriasecq, I. (2022). A theoretical framework for integrated STEM education. *Science & Education*, 31(2), 383–404.
- Rakić, K. (2023). Internet of things in education: opportunities and challenges. *International Conference on Digital Transformation in Education and Artificial Intelligence Application*, 104–117.
- Ramos-Lizcano, C., Ángel-Urbe, I.-C., López-Molina, G., & Cano-Ruiz, Y.-M. (2022). Elementos centrales de experiencias educativas con enfoque STEM. *Revista Científica*, 45, 345–357.
- Simbaña, I., & Quitiaquez, W. (2026). *Integrating E-Learning with CAD/CAM to Enhance CNC Education in Design and Manufacturing*. 407–420. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98290-3_30
- Soto-Solier, P. M., & Villena-Soto, V. (2024). Educación artística STEAM en la formación universitaria. Robótica creativa para la alfabetización visual y digital. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1–20.
- Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J.-M., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., Vinchon, F., El Hayek, S., Augereau-Landais, M., & Mourey, F. (2023). Creativity, critical thinking, communication, and collaboration: Assessment, certification, and promotion of 21st century skills for the future of work and education. *Journal of Intelligence*, 11(3), 54.
- Xu, W., & Ouyang, F. (2022). The application of AI technologies in STEM education: a systematic review from 2011 to 2021. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 59.
- Žáčok, Ľ., Stebila, J., & Kvasnová, P. (2022). Research into the influence of theoretical knowledge on the acquisition of practical skills of students in a technical education. *Edukacja Humanistyczna*, 1(46), 157–172.

Retos de I+D+i en los ISTT en un marco de transición hacia la Investigación 5.0

RTDI challenges in HTTI in a framework of transition towards Research 5.0

 Johnny Chavarría Viteri
Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano
PhD en Ingeniería Ambiental

 Isidoro Merino Acosta
Universidad de Guayaquil
Mgs. en Ingeniería Ambiental

 Zoila Merino Acosta
Investigadora independiente,
PhD en Educación

Resumen:

La transición de la Revolución Industrial 4.0 a 5.0, plantea a los Institutos Superiores Técnicos y Tecnológicos importantes retos hacia la Investigación 5.0, en un contexto de gestión principalmente centrado en la oferta de carreras. El concepto, ajusta perfectamente a los institutos y sus modelos de evaluación, que evidencian la necesidad de fortalecer indicadores relacionados con producción científica, pertinencia de líneas de investigación y generación de innovación con impacto social. La investigación propone implementar políticas institucionales que promuevan la Investigación 4.0 y 5.0 en un escenario acelerado de transición. En este contexto, la aplicación de una metodología que combinó un protocolo de revisión documental con un modelo de análisis estratégico complementado con la incorporación de políticas de Responsabilidad Social y de Innovación Abierta, como parte de la gestión institucional, permitió identificar fortalezas (experiencia en proyectos de vinculación con la sociedad y el sector productivo), oportunidades (acceso a redes de cooperación en investigación, innovación y transferencia tecnológica), debilidades (baja inversión en investigación y escasa infraestructura) y amenazas (brecha tecnológica creciente frente a universidades y centros de investigación de mayor escala), propiciando el planteamiento de un grupo de principios y políticas a fin de que los institutos consoliden la investigación & desarrollo, la innovación y la sostenibilidad como ejes de su gestión académica en un escenario de proximidad de la Investigación 5.0.

Palabras clave: Innovación Abierta, Revolución Industrial, Responsabilidad Social, Sociedad 5.0, Sostenibilidad, Transferencia Tecnológica

Abstract:

The transition from Industrial Revolution 4.0 to 5.0 poses significant challenges for Higher Technical and Technological Institutes toward Research 5.0, in a management context primarily focused on program offerings. The concept fits perfectly with the institutes and their evaluation models, which demonstrate the need to strengthen indicators related to scientific production, the relevance of research lines, and the generation of innovation with social impact. The research proposes implementing institutional policies that promote Research 4.0 and 5.0 in an accelerated transition scenario. In this context, the application of a methodology that combined a document review protocol with a strategic analysis model complemented by the incorporation of Social Responsibility and Open Innovation policies, as part of institutional management, allowed to identify strengths (experience in projects that connect with society and the productive sector), opportunities (access to cooperation networks in research, innovation and technology transfer), weaknesses (low investment in research and scarce infrastructure) and threats (growing technological gap compared to larger universities and research centers), promoting the proposal of a set of principles and policies so that the institutes consolidate research & development, innovation and sustainability as axes of their academic management in a scenario of proximity to Research 5.0.

Keywords: Open Innovation, Industrial Revolution, Social Responsibility, Society 5.0, Sustainability, Technology Transfer

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad, la producción de bienes y servicios, como alimentos, ropa y otros bienes de manufactura, se realizó en forma manual, utilizando fuerza humana y animal (Pilevari & Yavari, 2020; Landes, 2003), luego, a lo largo de los dos últimos siglos y medio se han desarrollado innovaciones tecnológicas que han convergido en sucesivas Revoluciones Industriales, que expresan procesos de cambio en los sistemas tecnológicos y sus efectos en los medios de producción y en el comportamiento social. El término se empezó a utilizar a principios del siglo XIX en referencia a la Primera Revolución Industrial (Aibar, 2019), a partir de ello, la humanidad ha reconocido el potencial de la tecnología como medio de progreso (Mourtzis et al., 2022). No obstante, la influencia de las revoluciones ha alcanzado a un número limitado de países en términos de desarrollo, mientras que otros están en vías de lograrlo, y muchos están aún a la espera (Landes, 2003).

La Primera Revolución Industrial o Industria 1.0 (I 1.0), surgió a partir del año 1784 (Demir et al., 2019), y su génesis fue el perfeccionamiento de la máquina de vapor por James Watt en 1769 (Cartay, 1995). Marcó el inicio de la mecanización y la utilización del carbón, lo que permitió el desarrollo de manufacturas automatizadas y el impulso del transporte ferroviario y marítimo (Mokyr & Strotz, 1998), en el área académica, esta es la etapa de inicio de la ingeniería mecánica.

Por su parte, la Industria 2.0 (I 2.0), se reporta a partir de 1870 con la aplicación de la electricidad, la implantación de motores eléctricos, la producción en línea en plantas industriales, una reducción en los tiempos de producción de manufacturas. Esta es la época del desarrollo de programas de Ingeniería en Electricidad y afines (Carvajal Rojas, 2017).

La Industria 3.0 (I 3.0) o revolución digital, surge en 1969 (Demir et al., 2019) con la irrupción de la electrónica, la informática y las telecomunicaciones, conduciendo los sistemas productivos hacia una mayor automatización y eficiencia (Pilevari & Yavari, 2020).

El periodo previo sentó las bases para el concepto Industria 4.0 (I 4.0), generado formalmente en el año 2011 como una iniciativa de la Academia Nacional de Ciencias e Ingeniería de Alemania (Kagermann et al., 2013). Constituye un modelo de organización y de control, basado en la digitalización de los procesos industriales a partir del desarrollo tecnológico, a fin de lograr mayor eficiencia e incrementar la productividad (Espitia Rozo, 2021).

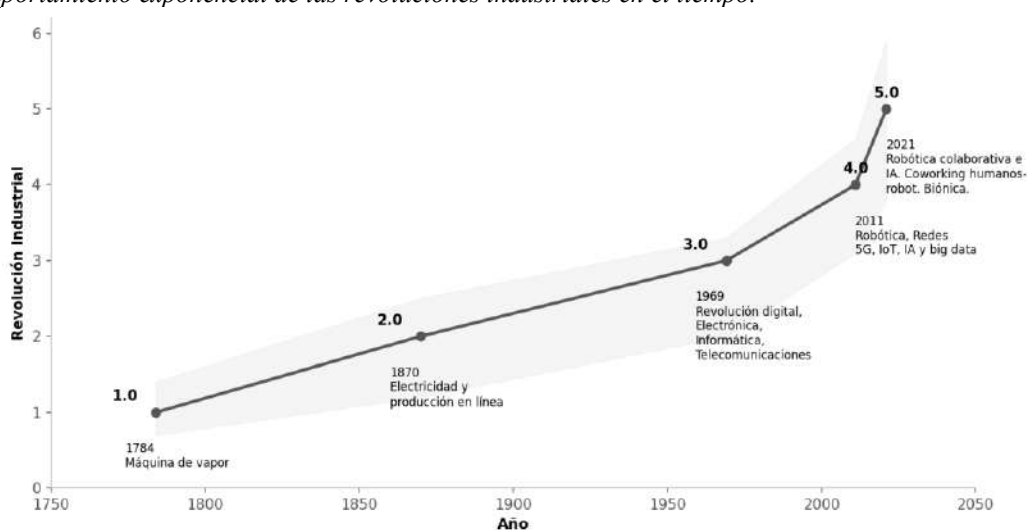
La I 4.0 integra tecnologías inteligentes como el Internet de las Cosas (IoT), inteligencia artificial (IA), la robótica, el análisis de grandes volúmenes de datos (Big Data), redes 5G, nanotecnología, biotecnología, entre otras, no teniendo una definición temporal clara (Levi, 2024; Aibar, 2019; Demir et al., 2019).

Como un *spin off* de la I 4.0, en diciembre de 2015 el experto logístico Michael Rada, en su artículo “Industria 5.0: De lo virtual a lo físico” planteó la iniciativa Industria 5.0 (I 5.0), como el trabajo coordinado de máquinas, tecnologías avanzadas y robots en conjunto con seres humanos para realizar actividades de manufactura (Pérez-Domínguez,

2024). Se destaca el alineamiento de la I 5.0 con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU y la economía circular, enfatizando la resiliencia de la iniciativa (Rada & Schaller, 2024). El concepto fue formalmente propuesto por la Comisión Europea en 2021 (Directorate General for Research and Innovation, 2021), mediante el informe Industria 5.0: Hacia una industria más sostenible, resiliente y centrada en el ser humano. Es destacable que, bajo los escenarios descritos, la evolución de las revoluciones industriales en el tiempo ha seguido un comportamiento exponencial (Figura 1), con períodos cada vez más cortos entre innovaciones tecnológicas capaces de generar los cambios trascendentales a nivel global que se han traducido en nuevas revoluciones.

Figura 1

Comportamiento exponencial de las revoluciones industriales en el tiempo.



Nota. Autores, (2025), basado en información obtenida de Carvajal Rojas (2017), Demir et al. (2019) y el Directorate General for Research and Innovation (2021) de la Comisión Europea.

Mourtzis et al. (2022) indican que el impacto de la I 5.0 se extenderá a la transformación social, que eventualmente conducirá a la generación de una nueva sociedad, la Sociedad 5.0 (S 5.0), donde la sostenibilidad y el bienestar humano serán esenciales; consideran la I 5.0, como un subconjunto de la S 5.0, y plantean la necesidad de un marco que facilite la transición de la I 4.0 a la S 5.0.

En el mismo sentido, el gobierno de Japón a través del *Council for Science, Technology and Innovation* (2016) menciona la evolución de las sociedades desde la sociedad de la caza (S 1.0), la sociedad agrícola (S 2.0), la sociedad industrial (S 3.0) y la sociedad de la información (S 4.0). Mientras que, en el Quinto Plan Básico de Ciencia y Tecnología de Japón (Council for Science, Technology and Innovation, 2015), la S 5.0 se propuso como “...una sociedad centrada en el ser humano en la que el desarrollo económico y la resolución de los problemas sociales sean compatibles entre sí mediante un sistema altamente integrado de ciberespacio y espacio físico”. El plan plantea políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación a fin de alcanzar la S 5.0. En este contexto, se puede decir que la I 5.0 y la S 5.0 convergen cronológicamente e interactúan estrechamente.

Con estos antecedentes, en este estudio se plantea la Investigación 5.0 como un enfoque de la ciencia y la innovación que integra la transformación digital avanzada (IA, big data, robótica, IoT) con una orientación humanista, sostenible y resiliente. A diferencia de las fases previas centradas en acumulación de conocimiento, industrialización, digitalización y automatización, la Investigación 5.0 busca poner al ser humano y al planeta en el centro de los procesos científicos y tecnológicos generando un impacto social positivo y compromiso con los ODS.

La aplicación del concepto ajusta perfectamente a la gestión de los Institutos Superiores Técnicos y Tecnológicos (ISTT), con base en el principio de calidad de la LOES (Ley Orgánica de Educación Superior, 2024) manifestado como el equilibrio de la docencia, la investigación e innovación y la vinculación con la sociedad. Al respecto, el Artículo 118 de la referida ley indica que los ISTT ofrecen una formación de tercer nivel técnico-tecnológico superior orientado al desarrollo de las habilidades y destrezas relacionadas con la aplicación, adaptación e innovación tecnológica en procesos relacionados con la producción de bienes y servicios.

La rápida transición de la I 4.0 a la I 5.0, plantea a los ISTT importantes retos en I+D+i, en un contexto donde su quehacer aún se concentra principalmente en la oferta de carreras. Lo que es reforzado por el Modelo de Evaluación Externa 2024 del CACES (Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior) en Ecuador (CACES, 2021), que evidencia la necesidad de fortalecer indicadores relacionados con producción científica, pertinencia de líneas de investigación y generación de innovación con impacto social.

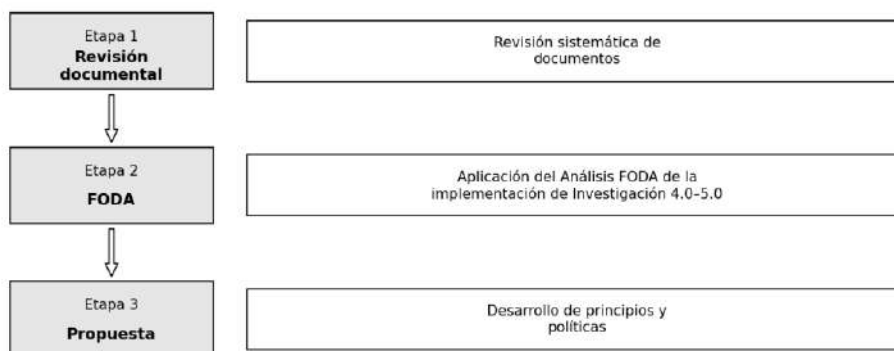
Se establece como objetivo general de la investigación: Formular un conjunto de principios y políticas institucionales de I+D+i conducentes a la incorporación progresiva de los enfoques de Investigación 4.0 y 5.0 en la gestión de los ISTT ecuatorianos, en un contexto de transformación digital y transición tecnológica.

Se pretende articular la digitalización, automatización y uso intensivo de datos característicos de la Investigación 4.0, con los principios emergentes de la Investigación 5.0, centrados en el ser humano, la sostenibilidad y la resiliencia. En el mismo contexto, se busca orientar la gestión de los ISTT hacia modelos más abiertos, colaborativos e innovadores, que fortalezcan la vinculación con el entorno productivo y social.

Con la aplicación de esta estrategia, se aspira apoyar el fortalecimiento de los ISTT como actores estratégicos en los ecosistemas de innovación, capaces de responder a los desafíos del desarrollo tecnológico y social del Ecuador.

Metodología

La metodología se estructuró en orden de cumplir con el objetivo de la investigación, para lo cual se desarrollaron las siguientes fases (Figura 2):

Figura 2*Fases metodológicas a implementadas en la investigación**Nota.* Autores, (2025)**Revisión documental**

En este contexto, se aplicó como base metodológica la estructura de revisión documental Declaración PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) conforme a los protocolos descritos por Page et al. (2021) en la Tabla 2 “Lista de verificación PRISMA 2020 para resúmenes estructurados”. El método estuvo orientado a la obtención y análisis de datos consistentes y confiables respecto a la aplicación de la investigación 4.0 - 5.0 en la educación superior técnica tecnológica ecuatoriana. La estrategia de recopilación documental se basó en tres ejes temáticos, conforme se detalla en la Tabla 1.

En esta fase, se realizó una búsqueda sistemática de información en bases académicas reconocidas, seleccionadas por su rigurosidad científica y pertinencia documental en los ámbitos de educación superior, innovación e industria. Principalmente se consultó las bases Scopus, Web of Science, Google Scholar, SciELO y Redalyc. En el contexto ecuatoriano y latinoamericano, las bases regionales permitieron incorporar literatura significativa del área. Mientras que, Google Scholar se utilizó como complemento para identificar literatura relevante en tesis y documentos institucionales.

En la fase de identificación se exploró un total de 245 documentos (artículos científicos, tesis y reportes técnicos). Tras la eliminación de duplicados (35 registros), se procedió a la revisión de títulos y resúmenes, excluyendo 120 documentos por no cumplir con los criterios temáticos o de calidad. En la fase de elegibilidad, se evaluaron 90 documentos, excluyéndose 54 por falta de pertinencia o rigor metodológico. Por tal razón, se incorporó al análisis cualitativo 36 documentos, que constituyeron la base para la construcción del marco teórico, el análisis FODA y la propuesta de principios y políticas de I+D+i en los ISTT.

Tabla 1*Lista de chequeo para la búsqueda de información.*

Eje temático / Objetivo	Estrategia de búsqueda (palabras clave)	Criterios de inclusión	Criterios de exclusion
1. Identificar competencias y capacidades requeridas en los ISTT para la transición de la Investigación 4.0 hacia la Investigación 5.0	(“Investigación 4.0” o “Investigación 5.0”) y (“education superior” o “institutos tecnológicos”) y (“competencias digitales” o “capacidades de innovación”)	Artículos científicos, informes institucionales y revisiones sistemáticas, análisis de expertos (2011–2025) que aborden competencias digitales, tecnológicas y humanísticas en educación superior técnica.	Documentos no académicos, estudios o aportes anteriores a 2015, literatura no vinculada a educación superior/ISTT.
2. Analizar retos y barreras en la implementación de procesos de I+D+i en ISTT ecuatorianos, considerando factores tecnológicos, organizacionales y socioculturales	(“Desafíos I+D” o “barreras de innovación”) y (“educación técnica”) y (“Ecuador” o “Latinoamérica”) e (“Industria 4.0” o “Industria 5.0”)	Estudios empíricos, reportes regionales, casos de estudio y diagnósticos sobre barreras de I+D+i en instituciones de educación superior técnica (2011–2025).	Estudios fuera del contexto educativo, literatura sobre I+D+i en empresas sin conexión a ISTT, documentos con foco exclusivo en Industria 3.0 o periodos previos.
3. Explorar estrategias, políticas y modelos de gestión que faciliten la adopción de la Investigación 5.0 en educación técnica y tecnológica	(“Políticas de investigación” o “estrategias de innovación” o “innovación sostenible”) y (“Sociedad 5.0” o “Investigación 5.0”) y (“gobernanza de educación técnica tecnológica superior”)	Publicaciones (2011–2025) que analicen políticas públicas, modelos de gestión universitaria, innovación sostenible y estrategias de transición hacia Investigación 5.0.	Documentos sin sustento metodológico, literatura gris no validada, estudios de países con contextos no comparables (ej. economías altamente industrializadas sin enfoque educativo).

Nota. Autores, (2025)

Análisis FODA

El análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas) constituye una herramienta para conducir la toma de decisiones estratégicas y la planificación efectiva a corto y largo plazo (Morrison, 2013). En el contexto de este trabajo, se utilizó para explorar factores internos y externos relacionados a la incorporación de I+D+i en las gestiones académicas de los ISTT.

En consideración a los aspectos conceptuales de las I 5.0 y S 5.0, que han orientado a su vez el concepto Investigación 5.0, el FODA se realizó considerando la incorporación de principios y políticas de la RSC (Responsabilidad Social Corporativa) (Carroll, 1999) en este caso bajo el esquema de Responsabilidad Social Universitaria (Vallaey, 2008), como parte de la gestión institucional, de modo que su investigación aplicada contribuya a la equidad social y a la sostenibilidad ambiental, posicionando a los ISTT como actores claves en sus áreas geográficas de influencia.

Propuesta

En base a los resultados obtenidos de la aplicación de los instrumentos de las fases previas, se elaboró una propuesta de principios y políticas para la implementación de la Investigación 4.0 – 5.0 en los ISTT. La propuesta se orientó a fortalecer su transición hacia la Investigación 5.0, tomando como base la evidencia obtenida en la revisión documental y el análisis FODA. Estos lineamientos deberán integrar la digitalización avanzada propia de la Investigación 4.0 con el enfoque humanista, sostenible y resiliente de la Investigación 5.0. Se busca consolidar una gestión institucional capaz de responder a los retos tecnológicos, potenciar las capacidades docentes e investigativas y contribuir al desarrollo del país.

Resultados

Análisis de la información documental

Se presenta el análisis realizado en la revisión documental por ejes temáticos. La transición de la I 4.0 a la I 5.0 en los ISTT, requiere de entender los ejes estratégicos desarrollados, en orden de lograr el objetivo propuesto:

Eje 1 - Competencias y capacidades requeridas

La Constitución ecuatoriana establece que el sistema de educación superior tiene entre sus finalidades la investigación científica y tecnológica, innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes, así como la construcción de soluciones para los problemas del país. La Ley Orgánica de Educación Superior, (2024) formaliza que los ISTT forman parte del referido Sistema, resaltando en el Art.114 que la formación técnica y tecnológica busca desarrollar habilidades y destrezas relacionadas con la aplicación, adaptación e innovación técnico-tecnológica en procesos de producción de bienes y servicios, es decir todas las competencias de la I+D+i, de las cuales se presenta una síntesis en la Tabla 2.

La gestión de los ISTT es evaluada por el CACES, lo cual se está realizando en aplicación del modelo de evaluación externa 2024 (CACES, 2021) que consta de seis criterios, quince subcriterios y cuarenta y tres indicadores, donde uno de los criterios evaluados es, explícitamente, I+D+i. El proceso busca desarrollar una cultura institucional de calidad, en la que la innovación y la investigación aplicada tienen un rol central.

No obstante, el análisis documental indica que la transición hacia la Investigación 5.0 requiere que los ISTT desarrollen un perfil de competencias que aborde más allá del dominio técnico. En este contexto, Carvajal Rojas (2017) indica que para cada periodo donde se impulse una revolución industrial, se debe generar de manera complementaria el desarrollo de programas académicos correspondientes a la nueva realidad tecnológica.

Si bien la I 4.0 condujo a la digitalización, la automatización y el manejo de grandes cantidades de datos, la I 5.0 demanda la combinación de tecnologías avanzadas con habilidades sociales (Rada & Schaller, 2024; Directorate General for Research and Innovation, 2021).

Tabla 2

Competencias de la I+D+i de los ISTT

Competencia en I+D+i	Descripción
Investigación aplicada	Desarrollar conocimientos enfocados en la solución de problemas prácticos relacionados con producción y servicios.
Innovación tecnológica	Aplicar y adaptar tecnologías y procesos con criterios de innovación técnica.
Oferta de títulos especializados	En su nivel superior universitario, pueden ofrecer posgrados tecnológicos como especialista y maestría tecnológica.
Gestión académica de calidad	Incorporar I+D+i como criterio formal en procesos de acreditación.
Cultura de mejora continua	Fomentar la investigación, desarrollo e innovación como parte del sistema institucional y su vinculación social.

Nota. Autores, (2025)

Estudios recientes como los de Mourtzis et al. (2022), Carvalho (2023), Vicario (2025), Cevallos Uve et al. (2023) y Carvajal Rojas (2017) destacan la necesidad de que los futuros profesionales integren en su base de conocimientos IA, Impresión 3D, ciberseguridad, big data, IoT, etc, con capacidades de pensamiento crítico, comunicación intercultural y ética en la innovación, además del desarrollo de habilidades que les permitan trabajar en equipo y adaptarse a entornos cambiantes.

En el contexto de los ISTT, las competencias de formación deben impulsarse a través de currículos adaptativos, formación docente continua y programas de vinculación con la industria, asegurando que los estudiantes no solo manejen herramientas digitales, sino que también comprendan su impacto social y ambiental.

Eje 2 - Retos y barreras en I+D+i

Carvajal Rojas (2017) indica que, en los períodos de ocurrencia de una revolución industrial, complementariamente se desarrollan programas académicos en respuesta a la nueva realidad tecnológica, y se generarán nuevos programas de ingeniería, de tecnología y de técnicas, para formar a los nuevos profesionales en un ambiente de cooperación academia-empresa-estado o de Triple Hélice; como ejes importantes para obtener resultados de innovación (Luengo y Obeso, 2013).

En un espacio amplio, la CEPAL (2024) indica que las herramientas digitales constituyen una oportunidad histórica para que la región latinoamericana aborde las causas que inhiben su desarrollo, entre ellas la baja capacidad institucional; indicando que la transformación digital ofrece un camino para acelerar el aprendizaje e impulsar la innovación, fortaleciendo además la competitividad de los países. Para esto será necesario un esfuerzo conjunto de la triple hélice.

En el marco de la aún vigente I 4.0, el fortalecimiento de la investigación en los ISTT enfrenta múltiples limitaciones estructurales. En este contexto, a decir de Maya Izurieta et al. (2023), la construcción de un marco legal, teórico y organizativo constituye el reto más significativo de la educación superior técnica y tecnológica para la implementación de un modelo de gestión de I+D+i. A nivel tecnológico, la falta de acceso a infraestructura digital y laboratorios avanzados, restringe la implementación de proyectos de punta, es decir, estructuralmente no cuentan con la habilidad de cambio que deberían poseer (Quevedo Escobar et al., 2025).

Aunque las instituciones de educación superior comparten las funciones sustantivas de docencia, investigación y extensión, a menudo uno de estos procesos predomina sobre los demás, limitando su potencial y dificultando el desarrollo de una cultura investigativa robusta y efectiva (Tolozano-Benítez et al., 2024). Organizacionalmente, la insuficiente cultura investigativa sumada a procesos administrativos rigurosos, entre otros, dificultan la investigación aplicada en los ISTT, persistiendo una visión que los ubica como profesionalizantes y no como actores activos en los ecosistemas de innovación, limitando su reconocimiento en redes académicas y productivas. En consecuencia, se requiere diseñar estrategias para satisfacer las demandas de la Industria/Investigación 5.0.

En este contexto, los estudiantes de la I 5.0 deben estar preparados para nuevas formas de trabajo. Vicario (2025), experto en transformación digital, sostiene que la digitalización global exige que los estudiantes desarrollen destrezas en tecnologías emergentes, complementadas con habilidades blandas como creatividad, pensamiento crítico y resolución de problemas; siendo imperativo abordar los siguientes desafíos como: la falta de recursos para educación 5.0, como tecnología y capacitación; la resistencia al cambio; y la necesidad de colaboración triple hélice.

Eje 3 - Estrategias y políticas institucionales

Es necesario que las políticas de I+D+i se ajusten al modelo de investigación sostenible, resiliente y centrada en el ser humano planteado por la Comisión Europea (Directorate General for Research and Innovation, 2021). En definitiva, los ISTT deben explorar estrategias de gestión de innovación que incorporen objetivos de desarrollo sostenible compatibles con las prioridades y necesidades del contexto local y nacional, respetando el principio de autodeterminación en la creación de conocimiento (Maya Izurieta et al., 2023). Estrategias como la implementación de laboratorios de Innovación Abierta, donde varios compartan ideas o recursos y otros utilicen la tecnología para poner en marcha un proyecto de innovación (Ramírez-Montoya, 2018), lo cual es compatible con el fortalecimiento de la vinculación ITSS–industria–sociedad (triple hélice), donde la participación en redes ofrecen la oportunidad de adaptarse sin problemas a condiciones cambiantes y ser flexibles e innovadores (Portocarrero García et al., 2023).

En el mismo sentido, SENESCYT (2019) propone la colaboración en redes de gestores tecnológicos nacionales e internacionales para intercambiar conocimientos y tecnologías, en un marco de creación y acreditación de Centros de Transferencia de Tecnología (CTT). En este contexto, el gobierno, además de incentivar la inversión en I+D+i debe promover la adopción de políticas para transformar a los ISTT en nodos de innovación con impacto local y nacional. No obstante, la clave, en el marco de la transición Investigación 4.0 a la I 5.0, está en que las políticas no se limiten a la transferencia tecnológica, sino que prioricen la creación de soluciones orientadas a la sostenibilidad.

UDIT (2025) indica que la I 5.0 incorpora como pilares centrales la sostenibilidad y la responsabilidad social, fomentando prácticas que minimicen el impacto ambiental y maximicen el uso eficiente de recursos. En este marco, la Responsabilidad Social Universitaria (RSU), que exige compromiso social y ambiental en la educación superior

(Salcedo Muñoz et al., 2023), puede ser incorporada como política transversal que vincule la investigación aplicada con la sostenibilidad, reforzando el modelo de la I 5.0 en los ISTT, bajo el concepto de Responsabilidad Social Institucional (RSI).

FODA

Con base en los hallazgos de la fase documental, se aplicó el análisis FODA, obteniéndose los resultados conforme se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Matriz de análisis FODA de la incorporación de Investigación 4.0 y su transición a 5.0 en ISTT.

Análisis Interno		Análisis Externo
Negativos	Debilidades	Amenazas
Negativos	- Limitada infraestructura tecnológica y digital para proyectos de alto nivel en I+D+i.	- Brecha tecnológica creciente frente a universidades y centros de investigación de mayor escala.
	- Escasa cultura investigativa en docentes y estudiantes por predominio de formación operativa.	- Escasez de financiamiento nacional estable para proyectos de I+D+i.
	- Débil articulación de la investigación con el sector productivo y con políticas de desarrollo territorial.	- Riesgo de considerar la digitalización como fin en sí mismo, sin integración humanista.
	- Carencia de políticas institucionales sólidas de RSI e innovación sostenible.	- Riesgo de dependencia excesiva de socios externos que condicione los objetivos institucionales.
	- Limitada cultura organizacional para adoptar modelos de Innovación Abierta en investigación y docencia.	- Competencia desigual con universidades y centros de investigación con mayor trayectoria en Innovación Abierta.
Positivos	Fortalezas	Oportunidades
Positivos	- Oferta académica diversificada y vinculada a la demanda del mercado laboral técnico.	- Transición hacia modelos globales de Industria/Investigación 5.0 basados en sostenibilidad y enfoque humano.
	- Potencial de aplicar metodologías ágiles en docencia e investigación aplicada.	- Posibilidad de integrar RSI como política institucional para orientar proyectos hacia el bienestar social y ambiental.
	- Marco legal ecuatoriano que reconoce la importancia de la educación técnica y tecnológica.	- Acceso a redes internacionales de cooperación en investigación, innovación y transferencia tecnológica.
	- Experiencia en vinculación con la sociedad y el sector productivo que puede ampliarse bajo esquemas de Innovación Abierta.	- Financiación internacional orientada a proyectos de sostenibilidad, economía circular e innovación social.
	- Flexibilidad institucional para integrar actores externos (empresas, comunidades, ONGs) en procesos de I+D+i.	- La Innovación Abierta se alinea con la Investigación 5.0, al promover sostenibilidad, inclusión y transferencia de conocimiento.

Nota. Autores, (2025)

Propuesta

Los principales hallazgos de las fases previas son la incorporación de los conceptos de Responsabilidad Social y de Innovación Abierta, los cuales pueden ser establecidos de manera transversal en los distintos procesos de I+D+i de los ISTT. Los insumos obtenidos permitieron generar una propuesta general de principios y políticas (Tabla 4) a considerar por los ISTT en orden de generar condiciones para la implementación de la Investigación 4.0 y su transición a la Investigación 5.0.

Tabla 4

Matriz de propuesta de principios y políticas para la transición de la Investigación 4.0 a 5.0 en los ISTT.

Principio	Principios	Descripción
Humanismo tecnológico	Políticas	Integración del uso de tecnologías digitales con principios éticos y sostenibles.
Responsabilidad Social Institucional		Investigación aplicada orientada hacia el cumplimiento a objetivos de sostenibilidad y de desarrollo territorial.
Resiliencia		Establecimiento de marcos de gestión que permitan ajustar los proyectos de I+D+i a los cambios tecnológicos.
Transparencia y gobernanza colaborativa		Garantizar procesos de investigación abiertos, inclusivos y participativos.
Innovación Abierta como eje transversal		Colaboración entre ISTT, empresas, comunidades, sector público y redes internacionales para potenciar la generación y transferencia de conocimiento.
Política institucional	Acciones	
Fortalecimiento de capacidades	Capacitar a docentes e investigadores en metodologías de Investigación 4.0 (digitalización, análisis de datos, automatización) y 5.0 (sostenibilidad, inclusión, ética). Integrar paralelamente competencias tecnológicas y humanistas en la formación de estudiantes. Establecer programas de movilidad y pasantías en ecosistemas de Innovación Abierta. Crear laboratorios de Innovación Abierta (LIA) que vinculen a actores internos y externos.	
Gestión de innovación	Establecer convenios de cooperación con empresas, gobiernos locales y ONGs para proyectos colaborativos. Regular la gestión de la propiedad intelectual compartida y la transferencia tecnológica. Incorporar la RSI como criterio de evaluación en todos los proyectos de I+D+i.	
Política de sostenibilidad y RSI	Promover proyectos de economía circular, energías limpias y soluciones para problemáticas locales. Evaluar el impacto social y ambiental de cada proyecto institucional. Invertir en plataformas digitales, laboratorios y herramientas para la investigación aplicada. Desarrollar los modelos de Gestión de la Investigación aplicada, Innovación y Transferencia Tecnológica.	
Política de infraestructura y recursos	Dirigir esfuerzos a la estructuración de Oficinas de Transferencia de Tecnología (OTT) a fin de gestionar la propiedad intelectual (PI) y la transferencia de conocimientos y tecnología al sector externo. Desarrollar repositorios abiertos para la difusión de resultados de investigación. Gestionar financiamiento nacional e internacional para proyectos colaborativos. Diseñar un sistema de indicadores para monitorear avances hacia la Investigación 5.0.	
Política de gobernanza y evaluación	Establecer consejos de innovación con participación académica, empresas y sociedad civil. Evaluar periódicamente el alineamiento institucional con los planes nacionales de desarrollo y las demandas territoriales.	

Nota. Autores, (2025)

Discusión

La evolución rápida de los procesos de industrialización, asociados a la aceleración de la innovación tecnológica ha ocasionado que las Revoluciones Industriales cada vez tengan un menor período de vigencia. Entre la segunda y tercera revoluciones, transcurrió aproximadamente un siglo, mientras que entre la I 4.0 y la aun difusa I 5.0, apenas ha transcurrido una década. No obstante en esa década, a decir de Kagermann y Wahlster (2022), la introducción de la I 4.0 se ha consolidado globalmente como el arquetipo de la transformación digital de la industria manufacturera.

Sin embargo, nuevos paradigmas han surgido a partir de la irrupción masiva de la IA en el icónico 30.11.22, que para muchos constituye un cambio de era, similar a lo ocurrido con la masificación del internet, y cuyo aspecto más disruptivo es su capacidad creciente de reemplazar al criterio humano en la toma de decisiones (Figuerola, 2023). Tecnologías como la IA y la robótica asociadas a procesos de automatización están generando temores por su capacidad de reemplazar a las personas en la realización de tareas y actividades (Coba, 2021). En este contexto, surge la I 5.0 que complementa y amplía la I 4.0, incorporando dimensiones ambientales, sociales y de derechos fundamentales, no debiendo entenderse como una continuación cronológica ni como una alternativa a la I 4.0 (Directorate General for Research and Innovation, 2021). Coincidentemente, el gobierno de Japón propone al mismo tiempo la Sociedad 5.0 (Council for Science, Technology and Innovation, 2015) con objetivos similares a los de la I 5.0. Un fruto de esta convergencia es la Investigación/Educación 5.0, centrada en el desarrollo de habilidades técnicas complementadas por habilidades blandas que permitan a los estudiantes desarrollar cualidades para trabajar de manera efectiva en equipo y adaptarse a entornos cambiantes. En este escenario, el desarrollo de pensamiento crítico también es fundamental (Vicario, 2025).

En el contexto de este trabajo, la I 4.0 ha sentado las bases para la creación de valor basado en datos, nuevos modelos de negocio y organización, donde herramientas como el IoT, los sistemas ciberfísicos de producción y la conectividad de la maquinaria son utilizados actualmente en las fábricas de nueva generación, conforme a lo expresado por Kagermann y Wahlster (2022).

Considerando lo expuesto, con el objeto de promover la innovación tecnológica en los ISTT, Marchetto (2006), ha indicado que es necesario consolidar en los planes de estudio, los conceptos de I+D+i, y fomentar la capacidad emprendedora y de innovación en los estudiantes.

El análisis de los tres ejes, realizados en el estudio, demuestra que es necesario consolidar aun la Investigación 4.0 en los ISTT y que su transición hacia la Investigación 5.0, además de lo tecnológico, involucra también lo cultural y el establecimiento de políticas. Siendo de rigor el encontrar un equilibrio entre la adquisición de competencias digitales y humanistas y el diseño de políticas que impulsen una gestión académica innovadora y sostenible. De esta manera, los ISTT podrán consolidarse como instituciones clave para el desarrollo productivo y social en un escenario de transición tecnológica.

Conclusiones

La rápida transición de la I 4.0 a la I 5.0, plantea retos y oportunidades en términos de I+D+i en los ISTT ecuatorianos, lo cual se analizaron desde un marco integral. La evidencia mostró que los ISTT poseen fortalezas en su capacidad de vinculación con el sector productivo y en su flexibilidad institucional, pero enfrentan debilidades estructurales relacionadas con infraestructura limitada, escasa cultura investigativa y débil articulación con redes internacionales. En este contexto, el concepto de Innovación Abierta surgió como estrategia recomendable para superar estas limitaciones, al facilitar la cooperación entre actores internos y externos, potenciar la transferencia de conocimiento y alinear la gestión investigativa con los principios de la Investigación 5.0. Del mismo modo, la incorporación complementaria de un sistema de Responsabilidad Social Institucional (RSI), fortalecería el desarrollo de una investigación aplicada, orientada a lo humano y ambiental, con proyectos respondiendo a los requerimientos del territorio, que además contribuyen a los planes nacionales de desarrollo y por consiguiente a los ODS. En definitiva, los ISTT deben avanzar hacia modelos de gestión que combinen digitalización, innovación abierta y responsabilidad social para consolidarse como actores estratégicos en la transición hacia la Investigación 5.0.

Referencias

- Aibar, E. (2019). Revoluciones industriales: Un concepto espurio. *Oikonomics*, 12. <https://doi.org/10.7238/o.n12.1909>
- CACES. (2021, mayo). *Modelo de evaluación externa 2024 con fines de acreditación para los institutos superiores técnicos y tecnológicos*. Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior. <https://www.caces.gob.ec/proceso-de-evaluacion-con-fines-de-acreditacion-de-los-institutos-superiores-tecnicos-y-tecnologicos-2024-2025/>
- Carroll, A. B. (1999). Corporate Social Responsibility: Evolution of a Definitional Construct. *Business & Society*, 38(3), 268-295. <https://doi.org/10.1177/000765039903800303>
- Cartay, R. (1995). La energía del vapor: Una avanzada del progreso. *Revista ESPACIOS*, 16(3). <https://www.revistaespacios.com/a95v16n03/30951603.html>
- Carvajal Rojas, J. H. (2017). La cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 y su impacto en la educación superior en ingeniería en Latinoamérica y el Caribe. *Universidad Antonio Nariño, Colombia*, 5. https://www.laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/work_in_progress/WP386.pdf
- Carvalho, L. (2023, febrero 22). *Educación 5.0: ¿qué significa y cómo aplicarla?* SYDLE. <https://www.sydle.com/es/blog/educacion-5-0-61e71a99edf3b9259714e25a>
- CEPAL. (2024, noviembre 6). *Una transformación digital real y efectiva puede ayudar a América Latina y el Caribe a superar las trampas que impiden su desarrollo | Comisión Económica para América Latina y el Caribe*.

- <https://www.cepal.org/es/comunicados/transformacion-digital-real-efectiva-puede-ayudar-america-latina-caribe-superar-trampas>
- Cevallos Uve, G. E., Ramos, Y., & Alcívar Mera, A. (2023). Investigación educativa en el contexto de la formación tecnológica retos y perspectivas: Los avances de la sociedad 5.0: *Revista de Investigación Científica TSE DE*, 6(L9), Article L9. <https://doi.org/10.60100/tsede.v6iL9.180>
- Coba, G. (2021, mayo 5). *El 69% de los empleos en Ecuador puede ser reemplazado por robots*. Primicias. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/empleo-ecuador-reemplazo-robots-automatizacion/>
- Council for Science, Technology and Innovation. (2015). *The 5th Science and Technology Basic Plan* [Plan]. Council for Science, Technology and Innovation Cabinet Office, Government of Japan. https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5basicplan_en.pdf
- Council for Science, Technology and Innovation. (2016). *Sociedad 5.0*. Cabinet Office. https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html
- Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688-695. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>
- Directorate General for Research and Innovation. (2021, enero 7). *Industry 5.0: Towards more sustainable, resilient and human-centric industry*. European Commission. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-01-07_en
- Espitia Rozo, A. E. (2021). *Industria 4.0 y sus aplicaciones en la optimización de procesos del sector manufacturero en Latinoamérica*. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/6060>
- Figuerola, P. L. (2023, diciembre 3). *30.11.22, el día que todo cambió. Inteligencia Artificial y ChatGPT, un año después*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/301122-el-d%C3%ADa-que-todo-cambi%C3%B3-inteligencia-artificial-figuerola-plbwf/>
- Kagermann, H., & Wahlster, W. (2022). Ten Years of Industrie 4.0. *Sci*, 4(3), 26. <https://doi.org/10.3390/sci4030026>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech National Academy of Science and Engineering. <https://www.din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
- Landes, D. S. (2003). *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present* (Second). Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org>
- Levi, O. (2024, julio 2). *From Industry 1.0 to Industry 5.0*. CoreTigo. <https://www.coretigo.com/industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-5-0/>
- Ley Orgánica de Educación Superior, Registro Oficial Suplemento 298 de 12-oct.2010 (2024).

- [https://procuraduria.utpl.edu.ec/sitios/documentos/NormativasPublicas/Ley%20Org%20C3%A1nica%20de%20Educaci%C3%B3n%20Superior%20\(2024\).pdf](https://procuraduria.utpl.edu.ec/sitios/documentos/NormativasPublicas/Ley%20Org%20C3%A1nica%20de%20Educaci%C3%B3n%20Superior%20(2024).pdf)
- Luengo, M. J., & Obeso, M. (2013). El efecto de la triple hélice en los resultados de innovación. *Revista de Administração de Empresas*, 53, 388-399. <https://doi.org/10.1590/S0034-75902013000400006>
- Marchetto, M. (2006). LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA EN EL AMBITO DE LOS INSTITUTOS TECNOLÓGICOS: Una visión crítica. *Compendium*, 9(16), 57-66.
- Maya Izurieta, N. X., Barzallo Nuñez, D. I., FloresFlores, J. L., & Sánchez Olmedo, O. F. (2023). Modelo de gestión para investigación, desarrollo tecnológico e innovación en institutos universitarios: Un caso ecuatoriano. *Revista Conecta Libertad ISSN 2661-6904*, 7(2), Article 2.
- Mokyr, J., & Strotz, R. H. (1998). The second industrial revolution, 1870-1914. *Storia dell'economia Mondiale*, 21945(1), 219-245.
- Morrison, M. (2013). *Strategic Business Diagnostic Tools—Theory and Practice*.
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2022). A Literature Review of the Challenges and Opportunities of the Transition from Industry 4.0 to Society 5.0. *Energies*, 15(17), 6276. <https://doi.org/10.3390/en15176276>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pérez-Domínguez, L. A. (2024). Las principales tecnologías de la era de la industria 5.0. *Revista Ingenio*, 21(1), 60-70. <https://doi.org/10.22463/2011642X.4352>
- Pilevari, N., & Yavari, F. (2020). Industry Revolutions Development from Industry 1.0 to Industry 5.0 in Manufacturing. *Journal of Industrial Strategic Management*, 5(2), 44.
- Portocarrero García, M. S., Timaná, J. S., Portocarrero García, M. S., & Timaná, J. S. (2023). Innovación abierta: Una revisión sistemática de la literatura. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(3), 59-67.
- Quevedo Escobar, A. O., Segovia Arturo, E. S., & Intriago Vidal, K. R. (2025). Avances y retos de la educación tecnológica en América Latina. *Sapiens in Education*, 2(4), e-20407. <https://doi.org/10.71068/6tv98741>
- Rada, M., & Schaller, A. (2024). The Future of Industry 5.0: A Comprehensive Reflection on Sustainable Industrial Evolution. En K. Gondlach, B. Brinkmann, M. Brinkmann, & J. Plath (Eds.), *Regenerative Zukünfte und künstliche Intelligenz: Band 1: PLANET* (pp. 341-350). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-43586-8_27
- Ramírez-Montoya, M. S. (2018). Innovación abierta, interdisciplinaria y colaborativa para formar en sustentabilidad energética a través de MOOCs e investigación educativa. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 19(4), 11-30. <https://doi.org/10.14201/eks20181941130>

- Salcedo Muñoz, V. E., Arias Montero, V., Núñez Guale, L., & Moreno Aguilar, C. (2023). Responsabilidad social universitaria en instituciones de educación superior de la Provincia de El Oro, Ecuador. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 28(101), 419-434.
- SENESCYT, B. de prensa No. 226. (2019, octubre 14). *Senescyt promueve creación y acreditación de centros de transferencia de tecnología – Senescyt – Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación*. Senescyt. <https://www.educacionsuperior.gob.ec/senescyt-promueve-creacion-y-acreditacion-de-centros-de-transferencia-de-tecnologia/>
- Tolozano-Benítez, R., Caicedo-Quiroz, R., & Carlin-Chávez, E. (2024). Cultura investigativa y su relación con los procesos sustantivos universitarios integrados. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-18. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1805>
- UDIT. (2025, enero 22). *¿Qué es la industria 5.0?: La revolución de la industria 4.0*. Universidad de Diseño Innovación y Tecnología Udit. <https://www.udit.es/que-es-la-industria-5-0-la-revolucion-de-la-industria-4-0/>
- Vallaes, F. (2008). Responsabilidad Social Universitaria: Una nueva filosofía de gestión ética e inteligente para las universidades. *Educación Superior y Sociedad*. https://www.academia.edu/24503655/Responsabilidad_Social_Universitaria_una_nueva_filosof%C3%ADa_de_gesti%C3%B3n_%C3%A9tica_e_inteligente_para_las_universidades
- Vicario, R. (2025). *Industria 5.0 en la Educación: La oportunidad de preparar a los estudiantes para el futuro* [Transformación digital]. Stratos Agein. <https://stratosagein.com/industria-5-0-en-la-educacion-la-oportunidad-de-preparar-a-los-estudiantes-para-el-futuro/>

La gestión educativa y el desarrollo infantil integral de los menores

Educational management and the comprehensive child development of minors

 Yuli Llerena Pincay Rodríguez
Colegio a Distancia Particular Vicente Rocafuerte Bejarano
Magíster en Derecho Procesal

Resumen:

La educación en la infancia es fundamental en la percepción inicial, ya que es una etapa decisiva en la que se consolidan habilidades en el aprendizaje cognitivo y la motricidad del menor. Se planteó como objetivo analizar la formación pedagógica y el desarrollo infantil de los menores a través de los Centros de Desarrollo Infantil de la provincia de Santa Elena. La investigación se plasmó bajo un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo y diseño no experimental, de corte transversal. La población estuvo conformada por 85 docentes que laboran en los Centros de Desarrollo Infantil de la provincia de Santa Elena, a quienes se les aplicó una encuesta de ocho preguntas cerradas afines al tema, como complemento en la investigación se usó como técnica la revisión bibliográfica que permitió sintetizar los contenidos abordados en el desarrollo integral de los menores. Entre los resultados encontramos que la estimulación en los infantes favorece la atención temprana; sin embargo, se requiere de un estricto seguimiento y evaluación, además es necesario la colaboración interinstitucional del gobierno central para lograr mejoras en el ámbito formativo. Se concluye, que la gestión educativa de los Centros fortalece el ámbito cognitivo, emocional, social y cultural de los niños.

Palabras clave: Desarrollo infantil, gestión educativa, infante, desarrollo cognitivo, Centro de Desarrollo Infantil

Abstract:

Early childhood education is fundamental to initial perception, as it is a crucial stage in which cognitive learning and motor skills are consolidated. The objective was to analyze the pedagogical training and child development of young children through the Early Childhood Development Centers in the province of Santa Elena. The research employed a quantitative approach, with a descriptive scope and a non-experimental, cross-sectional design. The population consisted of 85 teachers working in the Early Childhood Development Centers of the province of Santa Elena, who were administered an eight-question closed-ended survey related to the topic. As a complement to the research, a literature review was used to synthesize the content addressed in the comprehensive development of young children. Among the results, it was found that stimulation in infants promotes early intervention; however, strict monitoring and evaluation are required, and inter-institutional collaboration with the central government is necessary to achieve improvements in the educational field. It is concluded that the educational management of the Centers strengthens the cognitive, emotional, social and cultural aspects of the children.

Keywords: Child development, educational management, infants, cognitive development, Child Development Center

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La educación es un pilar fundamental para garantizar el desarrollo integral de los infantes en los primeros años de vida, etapa en la que desarrollan el aspecto físico, cognitivo y emocional que determinará el futuro. El aprendizaje a tiempo en los menores puede fortalecer habilidades y capacidades que marcan una transformación en el futuro. Por ende, la enseñanza es un mecanismo que ayuda a superar desigualdades sociales y lograr el desarrollo sostenible en los sectores vulnerables (Encalada et al. 2024).

El desarrollo cognitivo se define como un proceso mediante el cual, a través de etapas definidas, los menores construyen su capacidad para pensar y relacionarse con el mundo. Durante este período se adquiere una connotación trascendental, dado que asegura las bases para el desarrollo de destrezas en el aprendizaje y adaptabilidad durante toda la vida. El cerebro experimenta un crecimiento y una flexibilidad incomparables con otras etapas etarias, formando las conexiones neuronales que facilitan el desarrollo de procesos cognitivos como la memoria, la atención, el pensamiento y el lenguaje (Fuentes et al. 2025). Es decir, es una etapa primordial en la cual, si se actúa a tiempo, se pueden prevenir problemas en la estimulación del desarrollo sensorial en el futuro de los menores.

Ahora bien, la presente investigación parte de la hipótesis:

La adecuada gestión educativa fortalece el desarrollo integral del infante en los primeros años de vida.

Finalmente, se determina como objetivo general de la investigación:

Analizar la formación pedagógica en el desarrollo infantil integral de los menores a través de los Centros de Desarrollo Infantil de la provincia de Santa Elena.

Ahora bien, en la etapa inicial de la niñez se determinan aspectos cognitivos, emocionales, sociales y culturales que son esenciales en el futuro para los infantes, ya que aquí se consolida la fluidez con la cual los menores pueden desempeñarse con el mundo exterior en su vida adulta. Asimismo, la estimulación temprana es un mecanismo efectivo que contribuye a mejorar la capacidad de la memoria, el lenguaje y la comunicación en los niños (Fuentes et al., 2025; Salto et al., 2024).

Según Hernández y Chacón (2021), la educación es una etapa decisiva, ya que es la construcción de las bases madurativas y neurológicas en el desarrollo y el aprendizaje del menor. Por ende, es necesario que los docentes trabajen en conjunto con distintos grupos de profesionales: psicólogos, médicos, trabajadoras sociales, entre otros. Asimismo, para lograr estos propósitos educativos se requiere de la planificación, evaluación y retroalimentación continuas en la institución.

De igual forma, Angulo et al. (2020) manifiestan que la estimulación temprana acompañada de las actividades lúdicas es un avance significativo en posteriores etapas escolares en el menor. Sin embargo, no todos los menores en el país pueden acudir a un Centro de Desarrollo Infantil, y es así que la exclusión temprana afecta el desempeño académico posterior en los estudiantes.

Además, en el desarrollo integral del infante, la detección temprana es una alerta que permite trabajar a tiempo con especialistas y de esta forma se puede prevenir u optimizar la calidad de vida del menor. Ahora bien, en el territorio ecuatoriano a través del Ministerio de Desarrollo Humano, ya se aplica un modelo de gestión educativa

innovadora para los niños en los primeros años de vida. Sin embargo, es importante implementar nuevos mecanismos y crear modelos que permitan evaluar los procesos de forma continua, tanto en la zona urbana como en la rural.

La Constitución de la República del Ecuador prevé en el artículo 44 que el gobierno central, en conjunto con la sociedad y la familia, fomentará de forma prioritaria el desarrollo integral de los niños, niñas y adolescentes. En este sentido, debe prevalecer el interés superior sobre las demás personas. De modo que a través de este andamiaje jurídico se debe garantizar en los menores un adecuado proceso de crecimiento, maduración y evolución de su inteligencia (Asamblea Nacional Constituyente, 2008). Sin embargo, la falta de personal en los Centros de Desarrollo Infantil obstaculiza la atención de calidad y genera vulneración al principio del interés superior del niño amparado en la Constitución de la República del Ecuador y en concordancia con el Código Orgánico de la Niñez y la Adolescencia. En efecto, las políticas públicas que aplique el Estado ecuatoriano tienen que establecer mecanismos direccionados a consolidar el desarrollo integral en los menores.

Metodología

Enfoque y diseño de la investigación

El trabajo se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo y por medio de este mecanismo se logró sistematizar y contextualizar los resultados obtenidos mediante la encuesta aplicada a los 85 docentes de los Centros de Desarrollo Infantil de la provincia de Santa Elena. Entonces, este modelo permitió obtener resultados de fenómenos relacionados con el aprendizaje cognitivo, socioemocional y motriz de los infantes.

Además, el diseño fue no experimental de corte transversal, ya que en la investigación las variables fueron analizadas en su contexto natural sin manipulación de las variables. La investigación fue seleccionada en un momento temporal, logrando de esta forma analizar la realidad de los centros acorde a las técnicas pedagógicas y psicomotrices esenciales en los menores.

Población

La población estuvo conformada por 85 docentes; por tanto, para la sistematización del trabajo se aplicó un censo poblacional puesto que la población era accesible y limitada. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede determinar un análisis descriptivo sobre las condiciones educativas y organización que se emplean en los Centros de Desarrollo Infantil. Cabe destacar que se logró realizar la encuesta gracias al apoyo institucional del Ministerio de Desarrollo Humano de Santa Elena, entidad gubernamental que facilitó el acceso a los centros para la aplicación del instrumento de la investigación.

Técnica e instrumento de recolección

Como técnica de recolección de información se optó por la encuesta y como instrumento, un cuestionario organizado compuesto por ocho preguntas cerradas. De modo que el cuestionario en la investigación tuvo como propósito recopilar información

sobre organización institucional, metodologías pedagógicas, participación familiar, apoyo interinstitucional y estrategias relacionadas con el desarrollo cognitivo, emocional y motriz de los menores.

En este contexto, las preguntas fueron elaboradas utilizando escalas dicotómicas y de opción múltiple, permitiendo identificar percepciones y prácticas aplicadas en los establecimientos.

Validación del instrumento

De otro modo, para soporte de veracidad en la investigación, el instrumento fue sometido a un proceso de validación por medio de juicio de especialistas, conformado por profesionales en la educación que laboran en el Ministerio de Educación. A su vez, las preguntas recibieron una evaluación por el director del Ministerio de Desarrollo Humano zonal 5, finalmente las preguntas estuvieron sujeto a un análisis jurídico por abogados del Colegio de Abogados de Santa Elena.

Elocuentemente, se logró que la información sea clara, pertinente y coherente en cada uno de los ítems planteados. Por ende, se utilizó una escala ascendente de valoración que permitió determinar la relevancia de las preguntas respecto al objetivo de investigación. Finalmente, para verificar el nivel de concordancia entre los evaluadores, se aplicó el coeficiente de concordancia W de Kendall, permitiendo fortalecer la validez y confiabilidad del instrumento utilizado en la investigación.

Procedimiento de aplicación

La encuesta se ejecutó de forma virtual a través de la plataforma Google Forms y estuvo habilitada para los encuestados durante un periodo de dos semanas. Cabe destacar que el link del cuestionario fue distribuido de forma electrónica a los docentes mediante apoyo institucional del Ministerio de Desarrollo Humano de la Provincia de Santa Elena. A fin de garantizar la recopilación de los datos de forma eficaz se establecieron instrucciones generales para el correcto cumplimiento.

En este proceso, la participación de los encuestados fue voluntaria, y se garantizó la confidencialidad de la información recopilada, razón por la cual el cuestionario de preguntas fue evaluado y aprobado por miembros del Ministerio de Desarrollo Humano. Además, formularios del Google Forms fue configurado para evitar respuestas incompletas, es decir, si no se respondía la pregunta previa, no se permitía continuar. De modo tal que se aseguró en la encuesta la calidad y veracidad de los datos obtenidos en la investigación.

Procesamiento y análisis de datos

Para la organización y el procesamiento de los datos recopilados de acuerdo a los resultados de la encuesta realizada a los docentes, se llevó a cabo por medio de la aplicación de Microsoft Excel; puesto que se desarrolló un análisis descriptivo en la discusión con fundamento en los porcentajes obtenida. Asimismo, en el procesamiento se usó el eje de estadística descriptiva para el análisis de las frecuencias y la proporción representada a través de los gráficos estadísticos conforme al objetivo general planteado en la investigación.

Mediante la información obtenida se logró identificar dentro del enfoque del desarrollo infantil integral de la primera infancia diferentes aspectos relacionados como la gestión escolar y las metodologías aplicadas en el aula.

Revisión literaria

Ahora bien, para complementar la investigación se aplicó el método de revisión, mismo que se ejecutó por medio del análisis de fuentes doctrinarias, científicas y normativas relacionadas con el desarrollo infantil integral de los infantes a través de las enseñanzas pedagógicas. Desde la perspectiva científica y doctrinaria, se realizó una búsqueda bibliográfica de 20 fuentes entre el año 2020 y 2025 en la base de datos académicas como SciELO y Google Scholar, en este caso se utilizaron palabras clave como: gestión educativa, desarrollo infantil integral, primera infancia, proceso psicomotriz y cognitivo. Siendo así para garantizar el trabajo se optó por operadores booleanos AND y OR.

De otro modo desde el ámbito legal, se revisó la normativa de la Constitución de la República del Ecuador, el Código de la Niñez y Adolescencia, la Ley Orgánica de Educación Intercultural y una sentencia emitida por la Corte Constitucional del Ecuador relacionada con el derecho a la educación y el principio del interés superior del niño.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados por medio de tablas y gráficos estadísticos. Es así como en el estudio se lograron identificar los principales hallazgos relacionados con la educación en el desarrollo infantil integral de los menores.

Tabla 1

Resultados generales de la encuesta aplicada a docentes de los Centros de Desarrollo Infantil de la provincia de Santa Elena

N.º	Pregunta de investigación	Resultado predominante	Porcentaje
1	¿El Centro de Desarrollo Infantil cuenta con un cronograma de actividades que incluye la participación conjunta de padres y docentes con los menores?	Sí cuentan con un cronograma institucional, padres y docentes	91,8 %
2	¿Qué tipo de entorno considera que contribuye más en el desarrollo integral de los niños en la primera infancia?	El entorno educativo	72,9 %
3	¿En el Centro de Desarrollo Infantil se realizan procesos periódicos de seguimiento y evaluación del desarrollo integral de los niños (¿lenguaje, motricidad y socioemocional)?	El seguimiento y la evaluación favorecen el desarrollo integral infantil	95,3 %
4	¿Qué tan recurrente se aplican metodologías activas como juego, exploración, proyectos en el aula?	Práctica constante de metodologías lúdicas	60 %
5	¿En el Centro se implementan estrategias pedagógicas que integran criterios de salud, nutrición y entorno sociocultural; además, ¿de ambientes seguros y estimulantes que favorecen el desarrollo integral de los niños?	Sí se implementan estrategias integrales que garantizan el bienestar de los niños.	95,3 %
6	¿En el Centro de Desarrollo Infantil se detectan señales de alerta en el desarrollo infantil y se trabaja en conjunto con profesionales de la salud para atenderlas?	Sí existe colaboración interinstitucional	42,2 %
7	¿Qué tan involucrados considera que están los padres en el desarrollo infantil integral de sus menores?	Los padres están muy involucrados en el desarrollo de sus hijos	43,5 %

8	¿El personal del Centro conoce las obligaciones legales, los derechos y las políticas públicas relacionadas con atención prioritaria a la infancia establecido en la Constitución de la República del Ecuador, la Ley Orgánica de la Educación Intercultural y el Código de la Niñez y la Adolescencia?	Conocimiento parcial de la normativa	44,7 %
---	---	--------------------------------------	--------

Nota. Autora, (2025)

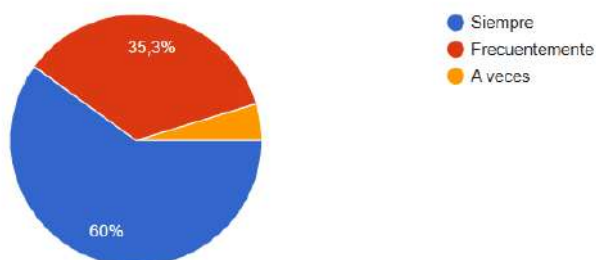
De acuerdo con la tabla es notable que en los Centros de Desarrollo Infantil existe el trabajo en conjunto de los docentes y padres, mismo elemento que favorece en el aprendizaje cognitivo, socioemocional y la motricidad del menor. Asimismo, se evidencia que el seguimiento y evaluación previene repercusiones a futuro; por ende, la importancia crear estrategias pedagógicas que no solo estén orientadas a la enseñanza, sino que también se debe trabajar en aspectos como la salud, la nutrición y entorno sociocultural. En este sentido, es fundamental fortalecer el trabajo interinstitucional y garantizar que la educación está basada en estímulos que contribuyan a la autonomía y las habilidades en los infantes.

Figura 1

Aplicación de metodologías activas en el proceso educativo

4. ¿Qué tan recurrente se aplican metodologías activas como juego, exploración, proyectos en el aula?

85 respuestas



Nota. Autora, (2025)

En el gráfico 1, el 60 % de los encuestados indicó que siempre aplica como un pilar fundamental las metodologías activas como el juego, la exploración y las dinámicas dentro del proceso pedagógico. De otro modo, el 35,3 % de los docentes manifestó que estas estrategias didácticas funcionan en la mayoría de las actividades desarrolladas con los infantes. Desde esta perspectiva, los resultados confirman la importancia de las metodologías lúdicas en los Centros, ya que el alumno es el protagonista de la adquisición del conocimiento.

Figura 2*Participación familiar den el desarrollo infantil integral**Nota. Autora, (2025)*

En el gráfico 2, el 43,5 % de los encuestados manifestó que los padres se encuentran parcialmente involucrados en el desarrollo infantil de sus menores, mientras que el 41,2 % consideró que están muy involucrados. Sin embargo, el 15,3 % señaló un nivel bajo de participación de la familia. Acorde a estos resultados, es fundamental fortalecer la participación de las familias dentro del proceso educativo, puesto que el acompañamiento parental contribuye al desarrollo emocional, social y cognitivo de los infantes. Además, los padres requieren del acompañamiento una charla, en la cual se socialice la importancia de la educación a través de estímulos que coadyuven a la autonomía y a reforzar habilidades en los menores.

Discusión

La formación educativa forma parte de un derecho irrenunciable e imprescriptible; por tanto, es obligación del Estado ecuatoriano invertir en la educación, ya que tiene efectos positivos para los ciudadanos. En el entorno unipersonal, fomenta mayores oportunidades de trabajo; mientras que, en lo social, contribuye a la disminución de la pobreza y la desigualdad económica (León Castro et al., 2021). Siendo así, acorde a los resultados obtenidos, se demuestra la importancia de las estrategias pedagógicas activas y procesos de acompañamiento familiar en los Centros de Desarrollo Infantil de la provincia de Santa Elena.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2024) ocho de cada diez menores tienen acceso a juguetes y espacios de estimulación. Por ende, es primordial el desarrollo del lenguaje y la comunicación, ya que se relacionan con el entorno educativo y familiar. Es decir, el entretenimiento es un potencial en el desarrollo cognitivo y la motricidad. Los resultados obtenidos correspondientes a la pregunta 4 coinciden con dichos hallazgos, ya que el 60 % de los docentes indicó que habitualmente aplican metodologías dinámicas dentro del proceso educativo. En tanto, de acuerdo a la pregunta 7, el 43,5 % consideró que la participación familiar contribuye en la seguridad emocional y la resiliencia en los infantes.

En otro sentido, se evidencia que los Centros de Desarrollo Infantil sí cuentan con cronogramas de actividades que motivan la participación de los padres con los docentes. Pero no todos los centros cuentan con la facilidad de colaborar interinstitucionalmente, ya que la falta de especialistas de salud y materiales didácticos en la provincia afecta las actividades lúdicas y psicomotrices en los menores. Conforme a lo expuesto por León et al. (2021), mencionan que la estimulación temprana favorece a los menores, ya que determina elementos esenciales en el menor; sin embargo, requiere de espacios adecuados, recursos pedagógicos y atención multidisciplinaria. Elocuentemente, Barreto et al. (2024) señalan que el aprendizaje y la autonomía en los menores dependen de la aplicación de las actividades lúdicas como los juegos, las canciones, y a estas herramientas debe aplicarse tiempo a fin de asegurar una vida digna a los menores.

Además, los resultados obtenidos en la encuesta coinciden con lo que manifiestan (Barreto et al. 2024) en los primeros años de vida, la dimensión sensomotriz, por medio de la interacción social, contribuye a promover el lenguaje, la sociabilidad y la autonomía de los menores. En efecto, el 60 % de los encuestados determinó que son esenciales los juegos, la exploración y las dinámicas dentro del aula, mientras que el 95,3 % señaló que en los centros implementan estrategias pedagógicas integrales relacionadas con salud, nutrición y entorno sociocultural.

Efectivamente, aplicar el proceso cognitivo es importante ya que por medio de esta evaluación se puede analizar la forma en que cada persona adquiere las habilidades para la adaptación con el mundo exterior. No obstante, estas habilidades y capacidades se deben profundizar progresivamente a lo largo de la vida de los menores (Velásquez et al. 2024). Conforme a los resultados lo dicho en líneas anteriores se relaciona con la pregunta 3 referente a los procesos constantes de seguimiento y evaluación del desarrollo integral infantil, ya que el 95,3 % de los encuestados consideró que estas evaluaciones favorecen el lenguaje, la motricidad y el aspecto socioemocional de los menores. Desde luego, el rol que desempeñan los profesionales en la educación y en la medicina es esencial para detectar oportunamente dificultades y lograr que en el futuro estos niños se conviertan en adultos exitosos para la sociedad.

Igualmente, los hallazgos demuestran que, durante la etapa preoperacional, es fundamental fomentar las habilidades sociales a través de actividades grupales y juegos grupales. Por consiguiente, esto se vincula con la pregunta 4 de la encuesta, referente a la aplicación de metodologías activas, debido a que el 60 % de los encuestados manifestó que siempre utiliza estrategias lúdicas como son los juegos, la exploración y las dinámicas pedagógicas. Asimismo, dichos hallazgos guardan relación con la pregunta 5, en la cual el 95,3 % indicó que los Centros de Desarrollo Infantil implementan estrategias pedagógicas acorde a cada menor.

Por tanto, potenciar el uso del lenguaje mediante actividades creativas como el dibujo y el juego ayudará a los infantes al progreso de la capacidad de pensar y comunicarse de manera efectiva con los que le rodean. Ciertamente, es recomendable integrar actividades que promuevan la empatía y la colaboración entre los mismos niños, ya que estas prácticas son esenciales en el desarrollo social y emocional. Paralelamente, de acuerdo al numeral 4 del artículo 37 del Código de la Niñez y Adolescencia (2014) dispone que para los niños, niñas y adolescentes la educación es un

derecho fundamental, por ende, corresponde recibir una educación de calidad y para ello se debe proporcionar: atención médica, materiales didácticos, laboratorios, que permitan fortalecer y garantizar un ambiente favorable para su formación académica.

En este sentido, según lo antes descrito guarda relación con los resultados de las preguntas 5 y 6 relativas referente a la implementación de mecanismos pedagógicos integrales, donde el 95,3 % de los docentes manifestó que los Centros adicional a la enseñanza también incluye servicios de salud y nutrición. De igual forma, acorde al 42,2 % se evidencia la colaboración interinstitucional, sin embargo, es necesario superar las limitaciones que imposibilitan la atención multidisciplinaria en los establecimientos de aprendizaje.

Indudablemente, la educación es un privilegio; por ello, para afianzar esta garantía, la Corte Constitucional del Ecuador (2024), en la sentencia 95-18-EP/24, 2024, sienta un precedente, puesto que la educación no se limita únicamente a garantizar el conocimiento en los estudiantes, sino que también tiene como objetivo mejorar el buen vivir de todos los individuos.

De otro modo, la Ley Orgánica de Educación Intercultural (2011), obliga al Estado ecuatoriano a implementar políticas educativas inclusivas, las mismas que deben ser adaptadas al contexto de los estudiantes en todas las etapas formativas. En este contexto, los resultados de la pregunta 8 permitió analizar si los docentes de los Centros de Desarrollo Infantil tienen noción de la normativa legal. En efecto, el 60 % de los encuestados indicó que siempre aplica metodologías activas como el juego y la exploración dentro del aula, mientras que el 44,7 % manifestó poseer un conocimiento mínimo sobre las políticas públicas referentes a la atención prioritaria de los menores.

Conclusiones

La gestión educativa transformadora en los infantes durante los primeros años de vida cumple un rol fundamental en el ámbito cognitivo, emocional, social y cultural de los infantes. La educación no solo facilita los primeros años de vida en el infante, sino que también se orienta a lograr una calidad de vida en la edad adulta. En este sentido, se corrobora la hipótesis del estudio, al justificar que la adecuada gestión educativa fortalece el desarrollo integral del infante en los primeros años de vida, ya que el proceso formativo no solo aporta al desarrollo cognitivo y socioemocional, sino que también constituye al Estado ecuatoriano a cumplir con esta obligación de acuerdo al principio del interés superior del menor.

A su vez, los resultados muestran que las actividades lúdicas en la etapa inicial son la base para garantizar las habilidades y capacidades de los niños en el porvenir. Sin embargo, también se evidenciaron limitaciones, como es la falta de especialistas, materiales de estimulación y la coordinación con las entidades de salud vinculadas con la atención prioritaria de los infantes.

Indudablemente, se comprueba que la gestión educativa transformadora establece un instrumento pedagógico en el desarrollo integral de los menores. Siendo así, es fundamental la constante capacitación a los docentes en los Centros de Desarrollo Infantil

de la provincia de Santa Elena. Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos conlleva a reflexionar sobre la importancia de crear nuevos programas y proyectos encaminados a las necesidades de cada uno de los estudiantes en la etapa inicial formativa. Es decir, se debe adaptar la enseñanza según las necesidades de cada estudiante y acoplarla de acuerdo con cada sector urbano o rural.

Referencias

- Hernández Vargas, D., & Chacón Ortiz, M. (2021). El Modelo de Gestión en Red para la Atención Integral a la Primera Infancia en Costa Rica: Una Visión desde sus Actores. *Revista Electrónica Educare*, 25(3), 1-22. doi:<https://dx.doi.org/10.15359/ree.25-3.12>
- Salto Cubillos, M., Calle García, T., Segarra Figueroa, O., & Tapia Urgiléz, J. (2024). Desarrollo infantil de 0 a 5 años desde una perspectiva contemporánea. *Revista Scientific*, 9(31), 22-45. doi:doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2024.9.31.1.22-45
- Angulo Vergara, H., Aguayo García, Á., Farfán Meza, G., & Delgado Álvarez, S. (2020). Análisis del desarrollo integral infantil desde la perspectiva de las actividades en el nivel preescolar. *Rehuso*, 5(2), 45-54. doi:10.5281/zenodo.6808390
- Barreto Zúñiga, W. W., Arévalo Paguay, J. F., Ulloa Valdivieso, J. H., Zavala Escobar, C. B., Andrade López, N. A., & Paguay Paguay, M. N. (2024). Análisis del aprendizaje infantil desde la teoría del desarrollo cognitivo de Jean Piaget: un enfoque etnográfico para evaluar la relación entre la inteligencia y las etapas cognitivas. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(5), 4126 – 4138. doi:<https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2913>
- Código de la Niñez y Adolescencia. (2014, 7 de julio). *Congreso Nacional del Ecuador, Registro Oficial 737*. Obtenido de <https://www.lexis.com.ec/biblioteca/codigo-ninez-adolescencia>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008, 20 de octubre). *Asamblea Nacional Constituyente, Registro Oficial 449*. Obtenido de [//acortar.link/wcenbo](https://acortar.link/wcenbo)
- Corte Constitucional del Ecuador. (2024, 28 de noviembre). *Sentencia 95-18-EP/24. CASO 95-18-EP*. Obtenido de [//esacc.corteconstitucional.gob.ec/storage/api/v1/10_DWL_FL/eyJYXJwZXRhIjoiaHJhbWl0ZSIzInV1aWQiOiJINzU4MzNkMCM0M2M0LTQ0NGYtYTZiYi03YTYzNGUxMDJjZGUucGRmIn0=](https://esacc.corteconstitucional.gob.ec/storage/api/v1/10_DWL_FL/eyJYXJwZXRhIjoiaHJhbWl0ZSIzInV1aWQiOiJINzU4MzNkMCM0M2M0LTQ0NGYtYTZiYi03YTYzNGUxMDJjZGUucGRmIn0=)
- Encalada, María de los Angeles. (2024). *Necesidades Educativas Específicas*. (J. H. Sanchez Landín, P. L. Coello Ruiz, & A. D. Sarango Masache, Edits.) Editorial UNL.
- Fuentes Torres, B. J., Jurado Fernández, C. A., Díaz Espinoza, M., & López Fuentes, K. O. (2025). Desarrollo cognitivo en la primera infancia: efectos de la estimulación sensorial temprana. *Revista Conrado*, 21(103), e4399. Obtenido de <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/4399>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2024). *Módulo de Desarrollo Infantil de la Encuesta Nacional sobre Desnutrición Infantil*. Obtenido de <https://n9.cl/iswl6z>

- León Castro, A. M., Mora Mora, L. L., & Tovar Vera, L. (2021). Fomento del desarrollo integral a través de la psicomotricidad. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 9(1). doi:<https://doi.org/10.46377/dilemas.v9i1.2861>
- Ley Orgánica de Educación Intercultural. (2011, 31 de marzo). *Asamblea Nacional del Ecuador, Registro Oficial 417*.
- Ochoa Escobar, L., Peñafiel Palacios, A., Vinuesa Ochoa, N., & Sánchez Santacruz, R. (2021). Interés superior de los niños, niñas y adolescentes en Ecuador. *Revista Conrado*, 17(83), 422-429. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442021000600422&lng=es&tlng=es.
- Velásquez-Pérez, Y., Rose-Parra, C., Oquendo-González, E., & Cervera-Manjarrez, N. (2024). Inteligencia emocional, motivación y desarrollo cognitivo en estudiantes. *Cienciamatria, Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología*, 9(17), 4-35. doi:<https://doi.org/10.35381/cm.v9i17.1120>

Cooperación internacional como eje de innovación educativa en las instituciones de educación superior: caso REDEC

International cooperation as a key to educational innovation in higher education institutions: the REDEC case

 Luis Enrique Sanipatin Ponce
Universidad Politécnica Estatal del Carchi,
Doctor en Jurisprudencia

Resumen:

Actualmente la educación superior enfrenta desafíos en la internacionalización, en trascender los esfuerzos aislados de las instituciones para consolidar procesos colaborativos que impulsen la innovación educativa en contextos regionales y binacionales. En este escenario, las redes de cooperación académica emergen como mecanismos articuladores de intercambio de conocimiento. La presente investigación adopta un enfoque cualitativo de tipo documental con tipología histórico-descriptiva, basada en la revisión sistemática de archivos institucionales de la Red de Instituciones de Educación Superior Ecuador-Colombia (REDEC), incluyendo estatutos, actas y registros de eventos desarrollados entre los años 2016 y 2025, en torno a los ejes de investigación, innovación, emprendimiento y educación. Como resultado, se identifica que REDEC ha consolidado un modelo de cooperación inclusivo y sostenido, caracterizado por la realización periódica de encuentros académicos binacionales (14 en Ecuador y 14 en Colombia) que facilitan la transferencia de conocimientos y la participación de actores educativos diversos. La cooperación internacional, mediada por redes académicas como REDEC, constituye un eje estratégico para la innovación educativa en la educación superior, al promover dinámicas colaborativas, potencian el desarrollo de competencias globales y favorecen la articulación entre comunidades académicas de distintos países.

Palabras clave: programa educativo, educación superior, innovación, internacionalización, red binacional.

Abstract:

Currently, higher education faces challenges in internationalization, moving beyond isolated institutional efforts to consolidate collaborative processes that foster educational innovation in regional and binational contexts. In this scenario, academic cooperation networks emerge as key mechanisms for knowledge exchange. This research adopts a qualitative, documentary approach with a historical-descriptive typology, based on a systematic review of institutional archives of the Ecuador-Colombia Network of Higher Education Institutions (REDEC), including statutes, minutes, and records of events held between 2016 and 2025, focusing on research, innovation, entrepreneurship, and education. The results show that REDEC has consolidated an inclusive and sustainable cooperation model, characterized by the regular holding of binational academic meetings (14 in Ecuador and 14 in Colombia) that facilitate knowledge transfer and the participation of diverse educational stakeholders. International cooperation, mediated by academic networks such as REDEC, constitutes a strategic axis for educational innovation in higher education, by promoting collaborative dynamics, enhancing the development of global competencies and favoring articulation between academic communities from different countries.

Keywords: educational program, higher education, innovation, internationalization, binational network

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La Red de Instituciones de Educación Superior Ecuador Colombia, es una red binacional de cooperación académica creada para fomentar la colaboración nacional e internacional, promoviendo la investigación, la innovación y el fortalecimiento de competencias en diferentes áreas del conocimiento (Ruiz, 2018).

En la actualidad la internacionalización se ha convertido en un reto para las Instituciones de Educación Superior, tanto para el cumplimiento de indicadores que exigen las entidades reguladoras de esta parte de la sociedad, como de cumplir con el objetivo de formar profesionales con competencias multidisciplinarias y capaces de aportar conocimientos de su área en el ejercicio profesional, en un mundo globalizado y dependiente de la innovación constante, la internacionalización ya no debe centrarse en la movilidad física, más bien es un proceso inclusivo y equitativo (Wit, 2020; Knight, 2021)

En este sentido, la internacionalización es un medio para impulsar la calidad de transferencia de conocimientos de docente a estudiante, la investigación y la extensión en un entorno competitivo (Freitas et al., 2021), sumado a esto, Sanipatin y Sanipatin (2021) argumentan que aparte de tratar la investigación es primordial vincular las funciones sustantivas de docencia y vinculación con la sociedad este último como proceso de transferencia del conocimiento

Mientras que Latorre y Crăciun (2023) consideran que los procesos de internacionalización deben reforzar el compromiso social en la institución, Mittelmeier y Yang (2022) tras una revisión literaria de 151 artículos sobre internacionalización enfatizan una débil investigación en el área, sobre todo relacionada a estudiantes internacionales y los resultados obtenidos en movibilidades.

Para sistematizar una mejor comunicación interna y externa entre universidades se debe centrar las relaciones internacionales en una red que comprenda actores (universidades) y centros de apoyo (ciencia e innovación) (Díaz et al., 2023). Se ha identificado mejores resultados de cooperación en redes maduras con una evolución de colaboración entre sus miembros y aportes significativos en investigación (Miranda y Cabello, 2023).

La Red Binacional de Instituciones de Educación Superior Ecuador – Colombia REDEC, creada en 2016 durante el III Encuentro de universidades de Ecuador y Colombia, entendida como una acción transversal que reconfigura el universo educativo superior (Sanipatin, 2018). Por lo que surge en un escenario donde la integración académica entre instituciones de ambos países se desarrollaba de manera limitada, principalmente a través de iniciativas aisladas como convenios bilaterales, intercambios esporádicos y eventos académicos sin continuidad estructurada. Este proceso ha permitido que las instituciones miembros mantengan una comunicación activa y sostenida, facilitando el intercambio de conocimientos, experiencias académicas y manifestaciones culturales en beneficio de sus comunidades (Chávez et al., 2022).

Entonces, ¿Cómo se evidencia la innovación educativa de las instituciones de Educación superior mediante la cooperación internacional?, es la pregunta que muchos autores directa o indirectamente se plantean, aquí las redes de cooperación académica

cumplen un rol fundamental y estratégico para sus miembros aliados, facilitando en gran medida la internacionalización e influyendo en una educación actualizada capaz de proponer soluciones viables e innovadoras.

Metodología

La investigación se sustenta en un enfoque cualitativo de tipo documental con tipología histórico-descriptiva, que resulta pertinente para el análisis de procesos educativos y fenómenos institucionales en contextos específicos. Desde una perspectiva teórica, el enfoque cualitativo permite comprender e interpretar la realidad social y educativa a partir de los significados construidos en contextos determinados (Cerrón, 2019), mientras que la investigación descriptiva busca caracterizar fenómenos a partir de su contexto y evolución (Valle et al., 2022).

En este caso, la tipología histórica se justifica en la necesidad de analizar la evolución de la Red de Instituciones de Educación Superior Ecuador-Colombia (REDEC) desde su creación, considerando fuentes primarias institucionales. Asimismo, el análisis documental se reconoce como un método válido y sistemático dentro de la investigación cualitativa, al examinar, interpretar y contextualizar información contenida en documentos para comprender procesos sociales e institucionales (Bowen, 2009; Morgan, 2022). En este sentido, el estudio se centra en la revisión de archivos históricos de REDEC, tales como estatutos, actas y registros de eventos académicos, con el fin de analizar su aporte a las instituciones de educación superior de Ecuador y Colombia en los ejes de investigación, innovación, emprendimiento y educación.

La investigación se realizó de abril a noviembre de 2025, con sede en la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, donde se tuvo acceso al repositorio digital y físico de documentos de REDEC, el corpus abarcó documentos desde el 2016 al 2025, periodo correspondiente a la conformación y expansión de la red. La revisión documental se orientó a partir de la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo ha contribuido la cooperación internacional, a través de la red REDEC, a los procesos de innovación educativa en las instituciones de educación superior de Ecuador y Colombia? Para el análisis de documentos se aplicó una concatenación bibliográfica basada en la selección, clasificación y análisis temático de documentos institucionales, organizados en función de los ejes de investigación, innovación, emprendimiento y educación.

La interpretación de la información se realizó mediante un análisis temático manual, basado en la revisión, codificación y categorización de los documentos en función de los ejes de investigación, innovación, emprendimiento y educación, siguiendo los lineamientos del análisis documental cualitativo (Bowen, 2009; Morgan, 2022). El corpus estuvo conformado por 44 (28 informes de eventos con sus anexos, 12 actas de comité técnico, 4 actas de asamblea general) documentos institucionales, los cuales fueron organizados en una matriz de análisis que permitió identificar patrones y aportes de la red, garantizando coherencia y validez en la interpretación de los resultados.

Para el análisis de la información se construyó una matriz de categorización que permitió organizar los documentos en función de categorías analíticas previamente definidas, derivadas de los ejes estratégicos de la red. Esta matriz facilitó la identificación

de patrones, tendencias e impactos en los ámbitos de investigación, innovación, educación y emprendimiento, garantizando la coherencia entre los objetivos de investigación y los resultados obtenidos.

Resultados

Con el fin de garantizar la coherencia metodológica en el análisis de la información, se diseñó una matriz de categorización fundamentada en los ejes estratégicos de la red y en los principios del análisis documental cualitativo. Esta herramienta permitió organizar, sistematizar e interpretar los datos obtenidos de las fuentes documentales, facilitando la identificación de patrones, tendencias e impactos en los ámbitos de investigación, innovación, educación y emprendimiento.

Tabla 1

Matriz de categorización del análisis documental

Categoría principal	Subcategorías	Indicadores de análisis	Fuente documental	Técnica aplicada
Investigación	Producción científica	Espacios de difusión, eventos científicos	Informes, registros de eventos	Análisis documental
	Redes académicas	Participación de expertos nacionales e internacionales	Actas y reportes	Categorización
Innovación	Transferencia de conocimiento	Inclusión de nuevas metodologías	Memorias de congresos	Análisis temático
	Mejora educativa	Aplicación de buenas prácticas académicas	Informes institucionales	Interpretación documental
Educación	Calidad educativa	Actualización curricular, formación docente	Informes académicos	Análisis comparativo
	Formación internacional	Desarrollo de competencias globales	Registros de eventos	Codificación
Emprendimiento	Vinculación con entorno	Participación en proyectos productivos	Memorias de eventos	Análisis temático
	Cultura emprendedora	Inclusión de innovación aplicada	Actas y reportes	Interpretación

Nota. Autor, (2025)

El análisis temático de los eventos desarrollados por REDEC entre 2016 y 2025 evidencia una mayor concentración en los ejes de educación superior, emprendimiento e investigación, los cuales representan el núcleo de la cooperación académica en la red. En particular, el eje de educación superior destaca por su continuidad y participación institucional amplia, lo que sugiere una orientación hacia el fortalecimiento de los procesos formativos y la calidad educativa.

Tabla 2.*Análisis de la cooperación académica de REDEC por ejes temáticos (2016–2025)*

Eje temático	Nº de eventos	Tendencia temporal	Tipo de participación institucional	Aportes identificados	Impacto en educación superior
Investigación	5	Crecimiento progresivo (2017–2025)	Participación de universidades y plataformas gubernamentales	Generación de espacios de difusión científica, fortalecimiento de redes de investigación	Incremento en la producción académica y cooperación científica binacional
Educación superior	8	Alta frecuencia sostenida (2017–2025)	Amplia participación institucional (EPN, UTI, UDENAR y UNIMINUTO)	Intercambio de experiencias pedagógicas y actualización curricular	Fortalecimiento de la calidad educativa y formación de competencias globales
Emprendimiento	7	Crecimiento sostenido (2017–2024)	Participación multisectorial académica	Promoción de cultura emprendedora y vinculación con el entorno productivo	Desarrollo de competencias para innovación aplicada y empleabilidad
Internacionalización / cooperación	4	Periodicidad intermedia (2018–2023)	Participación binacional articulada	Fortalecimiento de alianzas estratégicas y movilidad académica	Consolidación de redes académicas y visión global institucional
Derechos humanos / Asamblea	2	Eventos puntuales (2023–2024)	Participación institucional representativa	Reflexión ética y gobernanza de la red	Fortalecimiento institucional y sostenibilidad organizativa

Nota. Autor, (2025)

El eje de investigación muestra un crecimiento progresivo, evidenciando un fortalecimiento de la producción científica y la articulación interinstitucional, mientras que el emprendimiento refleja una evolución hacia la transferencia de conocimiento y la vinculación con el entorno productivo. En contraste, los eventos de internacionalización presentan menor frecuencia, pero un alto valor estratégico en la consolidación de alianzas binacionales. Estos resultados confirman que la cooperación internacional en el marco de REDEC ha incidido de manera diferenciada pero complementaria en los ámbitos educativo, investigativo e innovador.

Figura 1*Distribución de eventos REDEC por eje temático (2016–2025)**Nota. Autor, (2025)*

Se evidencia mayor concentración de eventos en el eje de educación superior, seguido de emprendimiento e investigación, lo que refleja la orientación de la red hacia el fortalecimiento de los procesos formativos, la innovación aplicada y la producción académica en el contexto binacional.

Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que la cooperación internacional, a través de la Red de Instituciones de Educación Superior Ecuador-Colombia (REDEC), ha trascendido el ámbito organizativo para consolidarse como un mecanismo efectivo de innovación educativa en el contexto binacional. Desde la perspectiva del análisis documental aplicado, se observa que la red no solo ha incrementado el número de eventos y la participación institucional, sino que ha generado impactos diferenciados en los ejes de investigación, educación, emprendimiento e innovación.

En un inicio, el predominio de actividades en el eje de educación superior refleja una orientación estratégica hacia el fortalecimiento de los procesos formativos y la mejora de la calidad académica. Este hallazgo coincide con planteamientos teóricos que señalan que las redes de cooperación académica favorecen la actualización curricular y el desarrollo de competencias globales mediante el intercambio de experiencias. La continuidad de estos eventos sugiere que la cooperación internacional ha sido internalizada como parte de la gestión académica institucional.

En segundo lugar, el crecimiento progresivo del eje de investigación evidencia una consolidación de capacidades científicas en las instituciones participantes. La generación de espacios para la difusión académica y la interacción con expertos internacionales ha fortalecido la producción de conocimiento y la articulación de redes investigativas, lo cual se alinea con el enfoque del análisis documental como herramienta para comprender procesos institucionales complejos. No obstante, se identifica que este crecimiento aún depende en gran medida de la periodicidad de los encuentros, lo que plantea la necesidad de avanzar hacia estrategias más sostenidas de colaboración investigativa.

Por otro lado, el impulso al emprendimiento como eje emergente revela una evolución en la orientación de la red hacia la transferencia de conocimiento y la vinculación con el entorno socioeconómico. Este aspecto es relevante, al posicionar a la cooperación internacional no solo como un espacio de intercambio académico, sino como un motor para la innovación aplicada y el desarrollo territorial. En este sentido, los resultados coinciden con enfoques contemporáneos que destacan la importancia de integrar la academia con la resolución de problemáticas reales.

Finalmente, aunque el eje de internacionalización presenta menor frecuencia de eventos, su incidencia es estratégica, ya que fortalece las alianzas institucionales y consolida la dimensión global de las universidades participantes. Esto confirma que la cooperación internacional y la internacionalización, aunque conceptualmente diferentes, se complementan en la práctica para potenciar los procesos de innovación educativa. En síntesis, la evidencia analizada permite afirmar que REDEC ha contribuido significativamente al fortalecimiento de la educación superior en Ecuador y Colombia, promoviendo una integración académica más estructurada, sostenible y orientada a la innovación. Sin embargo, se sugiere que futuras investigaciones profundicen en la medición de impactos cuantificables, como producción científica o movilidad académica, con el fin de ampliar la comprensión del alcance de estas redes.

Conclusiones

La cooperación internacional, articulada a través de redes académicas como REDEC, se consolida como un eje estratégico para la innovación educativa en la educación superior, al permitir la integración sistemática de instituciones binacionales. Desde el enfoque cualitativo documental aplicado, se evidencia que esta articulación fortalece procesos formativos, investigativos y de gestión académica.

El análisis documental histórico-descriptivo permitió identificar que los ejes de educación superior, investigación y emprendimiento concentran mayor desarrollo dentro de la red, generando impactos significativos en la actualización curricular, producción científica y vinculación con el entorno. Estos resultados reflejan una evolución progresiva hacia modelos colaborativos de innovación educativa en contextos internacionales.

La aplicación del análisis temático evidenció que REDEC no solo promueve la cooperación académica, sino que incide directamente en la construcción de competencias globales y el fortalecimiento institucional.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a los directivos de las instituciones de educación superior que conforman REDEC, por el compromiso evidenciado en cada encuentro de cooperación académica binacional, a los presidentes de REDEC, Dr. Hugo Ruiz (dos periodos), Dr. Jorge Mina, Dra. Martha Gonzalez y Dr. Tarquino Sánchez por su liderazgo en la red.

Referencias

- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40.
- Chávez, J., García, L. y Sanipatin, L. (2022). La integración fronteriza: una retrospectiva en el límite norte Ecuador – Colombia. *AXIOMA*, 26, pp. 45-51.
- Cerrón Rojas, W. J. (2019). La investigación cualitativa en educación. *Horizonte de la ciencia*, 9(17), 1–8.
- Díaz Pérez, M., Cira Alonso, O., & Petrirena Pérez, I. D. M. (2023). Cooperación internacional evaluada desde el Ministerio de Educación Superior, por un desarrollo sostenible e inclusivo. *Revista Cubana de Educación Superior*, 42(2).
- Freitas, S.T., Almeida, M.L.P. de, Rodrigues, D.P y Pezavento, K. (2021). Internacionalización de la educación superior en el oeste de Santa Catarina: la experiencia de una universidad comunitaria. *Revista Educación Superior y Sociedad*, 33(2), pp. 850-874.
- Jadán Guerrero J. (Ed.) y Arias Flores, H. (Ed.). (2024). *Transformación digital e impacto de la inteligencia artificial en la educación superior*. Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica.
- Knight, Jane. (2021). Higher Education Internationalization: Concepts, Rationales and Frameworks. *Revista REDALINT*, 1 (1), pp. 65-88
- Latorre, P. y Crăciun, D. (2023). Universidades periféricas y sus prácticas de Internacionalización. *Journal of International Students*, 13(S1), pp. 155-174.
- Miranda Grochocki, L. F. y Felipe Cabello, A. (2023). Redes de colaboración en investigación en entornos académicos en maduración. *National Library of Medicine*, 128 (4), pp. 2535–2556. doi: 10.1007/s11192-023-04671-z
- Morgan, H. (2022). Conducting a qualitative document analysis. *The Qualitative Report*, 27(1), 64–77.
- Mittelman, J. y Yang, Y. (2022). El papel de la internacionalización en 40 años de investigación en educación superior: temas principales de la Investigación y el Desarrollo en Educación Superior (1982-2020). *Investigación y Desarrollo en Educación Superior*, 41 (1), 75-91. <https://doi.org/10.1080/07294360.2021.2002272>
- Ruiz, H. (2018). Perspectiva de la Red de Instituciones de Educación Superior Ecuador – Colombia (REDEC) en Hacia la Integración Académica (1 ed., pp.8-12). Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- Sanipatin, L. (2018). Conformación de la Red de Instituciones de Educación Superior Ecuador Colombia (REDEC) “A favor de la ciencia y el humanismo, por el bien común y los derechos para todos y todas” en Hacia la Integración Académica (1 ed., pp.56-60). Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- Sanipatin Mora, G. A. y Sanipatin Ponce, L. E. (2021). Redes internacionales universitarias de educación en Cuadrado Barreto, C. G. (Ed.), La internacionalización de la universidad (1 ed., pp. 127-157). Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

- Valle Taiman, A., Manrique Villavicencio, L. y Revilla Figueroa, D. M. (2022). *La investigación descriptiva con enfoque cualitativo en educación*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Wit, H. (2020). Internacionalización de la educación superior: la necesidad de un enfoque más ético y cualitativo. *Journal of International Students* , 10 (1), i-iv. <https://doi.org/10.32674/jis.v10i1.1893>

Facturación electrónica en la cultura tributaria de contribuyentes RIMPE y régimen general, Riobamba

Electronic invoicing on the tax culture of RIMPE and general regime taxpayers in Riobamba



Yesenia Alexandra Vallejo Zurita

Instituto Superior Tecnológico San Gabriel,
Magister en Contabilidad y Auditoría en Gestión Tributaria



Danny Andrés Montesdeoca Erazo

Defendemos a Chimborazo,
Máster en Gestión de Talento Humano



María Geomara Cuyago Ganan

Instituto Superior Tecnológico San Gabriel
Tecnología Superior Universitaria en Contabilidad



Mesías Eduardo Espín Andrade

Instituto Superior Tecnológico San Gabriel
Tecnólogo Superior Universitario en Contabilidad



Joaquín Alberto López Surriaga

Instituto Superior Tecnológico San Gabriel
Tecnólogo Superior Universitario en Contabilidad

Resumen:

La presente investigación tuvo como objetivo analizar los efectos de la facturación electrónica en la cultura tributaria de los contribuyentes del régimen RIMPE Emprendedor y del régimen general de personas naturales en la ciudad de Riobamba. Se empleó un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo y diseño no experimental de corte transversal. La información se recolectó mediante encuestas aplicadas a 119 contribuyentes y 26 contadores, seleccionados con base en criterios como registro en el Servicio de Rentas Internas, domicilio fiscal en Riobamba y actividad tributaria vigente. El análisis se realizó mediante técnicas de estadística descriptiva, específicamente el cálculo de frecuencias y porcentajes. Los resultados evidencian que una proporción significativa de los contribuyentes reconoce beneficios en el uso de la facturación electrónica, tales como el ahorro de tiempo, el mejor control de ingresos y la reducción del uso de papel, lo que se asocia con prácticas tributarias más organizadas. No obstante, persisten obstáculos como el desconocimiento normativo (57,7 %), la falta de capacitación técnica (46,2 %) y los problemas de conectividad. Asimismo, el uso de software privado representa un costo adicional para pequeños emprendedores. Desde la perspectiva de los contadores, se identifican avances en el cumplimiento fiscal; sin embargo, aún se evidencian prácticas de omisión de ingresos asociadas al temor de una mayor carga tributaria. Se concluye que la facturación electrónica constituye una herramienta relevante para el fortalecimiento de la cultura tributaria; no obstante, su alcance depende de factores como la capacitación, el acompañamiento institucional y el acceso a recursos tecnológicos.

Palabras clave: Facturación electrónica, cultura tributaria, cumplimiento tributario, transformación digital, administración tributaria.

Abstract:

This study aimed to analyze the effects of electronic invoicing on the tax culture of taxpayers belonging to the RIMPE Entrepreneur regime and the general regime of natural persons in the city of Riobamba. A quantitative approach was employed, with a descriptive scope and a non-experimental cross-sectional design. Data were collected through surveys applied to 119 taxpayers and 26 accountants, selected based on criteria such as registration with the Internal Revenue Service, tax domicile in Riobamba, and active tax status. The analysis was conducted using descriptive statistical techniques, specifically frequency and percentage calculations. The results show that a significant proportion of taxpayers recognize benefits in the use of electronic invoicing, such as time savings, improved income control, and reduced paper usage, which is associated with more organized tax practices. However, obstacles persist, including lack of regulatory knowledge (57.7%), insufficient technical training (46.2%), and connectivity issues. Additionally, the use of private software represents an additional cost for small entrepreneurs. From the accountants' perspective, improvements in tax compliance are observed; however, practices of income underreporting still persist due to fear of higher tax burdens. It is concluded that electronic invoicing constitutes a relevant tool for strengthening tax culture; nevertheless, its scope depends on factors such as training, institutional support, and access to technological resources.

Keywords: Tax culture, tax compliance, electronic invoicing, Digital transformation, Tax administration.

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La facturación electrónica constituye una modalidad de emisión de comprobantes tributarios en formato digital que sustituye a la facturación física tradicional. Este sistema permite registrar, validar y almacenar las transacciones comerciales de manera electrónica, facilitando su control y gestión tanto para los contribuyentes como para la administración tributaria (Leguizamón Gaette & Bareiro, 2024).

La implementación de la facturación electrónica en Ecuador forma parte de un proceso progresivo de modernización tributaria impulsado por el Servicio de Rentas Internas desde el año 2014. Esta iniciativa tiene como objetivos mejorar la eficiencia del control fiscal, reducir la evasión tributaria y facilitar el cumplimiento de las obligaciones por parte de los contribuyentes (Servicio de Rentas Internas, 2022). Por su parte, Becerra Molina & Ojeda Orellana (2022) destacan que los beneficios para el sujeto pasivo se consolidan en la reducción de costos asociados a la impresión de documentos físicos, lo cual también conlleva un impacto ambiental positivo. Además, se optimizan los tiempos de recepción y entrega de documentos, lo que favorece una mayor eficiencia operativa y contribuye a mejorar la productividad del negocio al minimizar demoras y disminuir errores.

En sus inicios, la adopción de la facturación electrónica fue voluntaria y estuvo dirigida principalmente a grandes contribuyentes y sociedades con capacidades tecnológicas adecuadas. No obstante, a medida que avanzó la digitalización de los procesos administrativos, el SRI amplió gradualmente el universo de sujetos obligados.

En este contexto Contífico, (s.f.) señala que la resolución NAC-DGERCGC18-00000191, reformada por la resolución NAC-DGERCGC18-00000431, determinó que desde el 1 de enero de 2020 estarían obligadas a emitir comprobantes electrónicos las personas o empresas que comercialicen maquinaria pesada y/o equipos camineros como actividad económica habitual, así como aquellas dedicadas a la venta de gas licuado o petróleo. Posteriormente, a partir del 1 de junio de 2021, se amplió esta obligación a personas naturales y sociedades que realicen transacciones con el Estado por montos iguales o superiores a USD 1.000,00, requiriendo que cada operación sea respaldada con un comprobante electrónico. Esta misma resolución fue modificada nuevamente para incluir, desde el 1 de enero de 2022, a quienes efectúen transacciones con el Estado entre USD 200.000,01 y USD 3.000.000,00.

Posteriormente, en mayo de 2022, el Servicio de Rentas Internas (2022), estableció la obligatoriedad de emitir comprobantes electrónicos a los sujetos pasivos del Impuesto a la Renta, así como personas naturales y sociedades que, sin ser sujetos pasivos del impuesto, estén obligados a emitir comprobantes electrónicos y no hayan sido incluidos en los grupos anteriores, además, se incluyó a los sujetos pasivos que sean calificados como nuevos agentes de retención. Esta disposición, formalizada mediante la Resolución NAC-DGERCGC22-00000024, entró en vigencia el 29 de noviembre del mismo año exceptúa únicamente a quienes cuenten con una autorización expresa para seguir utilizando comprobantes físicos. La medida buscó

profundizar la digitalización tributaria, fortalecer los mecanismos de control y optimizar el cumplimiento fiscal.

Dicha normativa representa un hito en el sistema tributario nacional, al incluir tanto a los contribuyentes del Régimen General como a los del Régimen RIMPE Emprendedor, quienes deben adaptarse al uso de herramientas tecnológicas para emitir facturas, notas de crédito, guías de remisión y otros documentos tributarios, ya sea a través del sistema gratuito del SRI o mediante soluciones privadas autorizadas. Este cambio implica no solo una transformación técnica, sino también una transición cultural, al exigir mayores niveles de conocimiento, responsabilidad y compromiso con el cumplimiento tributario.

No obstante, a pesar de los avances en la implementación de la facturación electrónica, persisten diversas limitaciones en su adopción efectiva, especialmente en contribuyentes de menor escala, quienes enfrentan dificultades relacionadas con el acceso a herramientas tecnológicas, el desconocimiento del sistema y la limitada cultura tributaria. Esta situación genera incumplimientos, errores en la emisión de comprobantes y resistencia al uso de plataformas digitales, lo cual afecta tanto la eficiencia del control fiscal como el adecuado desarrollo de las actividades económicas.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo analizar el impacto de la facturación electrónica en la cultura tributaria de los contribuyentes del cantón Riobamba. Asimismo, se examina la aplicación de la Resolución NAC-DGERCGC22-00000024 y sus efectos en la práctica contable y fiscal, identificando los principales desafíos, avances y oportunidades que enfrentan tanto los contribuyentes como los profesionales contables en el actual entorno digital y normativo.

En lo que concierne al cumplimiento de deberes fiscales el proceso de facturación electrónica hace más fácil y rápido el trabajo del sujeto pasivo, así como reduce tiempo del contador en la preparación de la información necesaria para cumplir con las obligaciones fiscales, este proceso se ha convertido en una herramienta de control para el Estado, (Arias Pérez & Cáceres Ortiz, 2021) sin embargo, aún hay brechas que deben ser analizadas, como la resistencia al cambio, la falta de tecnología, o simplemente el rechazo del contribuyente al cumplimiento de sus obligaciones fiscales, lo que lo conlleva a verse inmerso en evasión tributaria, que según Muñoz Briones et al. (2023), refieren al acto de evitar por parte del contribuyente el pago de impuestos, mediante acciones fraudulentas. Lo que desencadena nuevamente en un retroceso en la economía ecuatoriana.

Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo y un diseño no experimental de corte transversal, de acuerdo con lo planteado por Ramos Galarza (2020) respecto a la clasificación de los estudios según su enfoque y alcance. El objetivo fue analizar las características relacionadas con la facturación electrónica y la cultura tributaria de los contribuyentes pertenecientes al régimen RIMPE emprendedor y al régimen general de personas naturales en la ciudad de Riobamba.

En este contexto, el enfoque cuantitativo permitió la recolección y el análisis de datos numéricos obtenidos a través de encuestas estructuradas aplicadas a contribuyentes y contadores, facilitando la medición de variables relacionadas con el uso de la

facturación electrónica y la cultura tributaria. En coherencia con este enfoque, el alcance descriptivo se justificó porque el estudio se centró en caracterizar las percepciones, niveles de conocimiento, beneficios y dificultades que presentan los contribuyentes frente a la facturación electrónica, sin establecer relaciones causales entre variables. Aunque el estudio considera dos grupos de contribuyentes (régimen RIMPE y régimen general), el análisis se mantiene en un nivel descriptivo, ya que no se realizaron pruebas estadísticas para establecer relaciones o diferencias significativas entre variables, sino que se buscó caracterizar las percepciones y prácticas de los encuestados en cada grupo, identificando patrones y tendencias en torno a la temática analizada.

El diseño fue de tipo no experimental, ya que no se manipularon las variables de estudio, sino que se observaron en su contexto natural. Asimismo, correspondió a un diseño de corte transversal, debido a que la información fue recolectada en un único momento en el tiempo.

Las variables de estudio incluyeron: uso de la facturación electrónica, nivel de conocimiento, beneficios percibidos, dificultades en su implementación y prácticas de cultura tributaria. Estas variables fueron operacionalizadas a través de preguntas cerradas incluidas en los instrumentos aplicados.

Para la recolección de datos se aplicaron dos cuestionarios estructurados diseñados en Google Forms. El primero fue dirigido a 119 contribuyentes y constó de 15 preguntas distribuidas en tres secciones: datos sociodemográficos, conocimiento y uso de la facturación electrónica, y aspectos relacionados con la cultura tributaria. El segundo cuestionario fue aplicado a 26 contadores, con el fin de identificar su percepción sobre el cumplimiento tributario, el nivel de asesoramiento brindado y los principales obstáculos en la aplicación del sistema.

La muestra fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, considerando criterios de inclusión como: ser contribuyente activo registrado en el Servicio de Rentas Internas, pertenecer al régimen RIMPE o régimen general, y contar con domicilio fiscal en la ciudad de Riobamba. En el caso de los contadores, se incluyó a profesionales con ejercicio activo y experiencia en asesoría tributaria. En apoyo a este procedimiento, Manzano Núñez y García Perdomo (2016) señalan que la adecuada definición de los criterios de inclusión y exclusión fortalece la rigurosidad metodológica y la aplicabilidad de los resultados.

Respecto al procesamiento de la información, los datos recolectados fueron analizados mediante el uso del software Microsoft Excel, a través del cual se realizó la tabulación, organización y representación gráfica de los datos. Para el análisis se aplicaron técnicas de estadística descriptiva, específicamente el cálculo de frecuencias y porcentajes, lo que permitió caracterizar las variables de estudio e identificar patrones y tendencias relacionadas con la facturación electrónica y la cultura tributaria. Este tipo de análisis se fundamentó en lo señalado por Rendón Macías et al. (2016), quienes establecen que permite organizar, resumir y describir las características de un conjunto de datos sin establecer relaciones causales entre variables.

Finalmente, en cuanto a los criterios de exclusión, se descartaron aquellos sujetos que, a pesar de estar registrados en el SRI, se encontraban inactivos, así como quienes no otorgaron su consentimiento para participar en el estudio. En el caso de los contadores,

se excluyeron aquellos que no ejercían funciones contables activamente durante el periodo de recolección de datos, en concordancia con el diseño de corte transversal adoptado.

Resultados

Los resultados obtenidos muestran el uso de la facturación electrónica en contribuyentes del régimen general y del régimen RIMPE, a partir del análisis de variables como nivel educativo, actividad económica y cultura tributaria.

Percepción de contadores sobre los efectos de la facturación electrónica en contribuyentes del régimen RIMPE y régimen general.

Los resultados obtenidos a partir de las encuestas aplicadas a contadores describen su percepción sobre la facturación electrónica en contribuyentes del régimen RIMPE y régimen general.

En relación con las herramientas utilizadas, el 80,8% de los clientes emplea el sistema gratuito proporcionado por el SRI para la emisión de comprobantes electrónicos, mientras que el 19,2% utiliza software privado.

Respecto al nivel de comprensión del proceso, el 69,2% de los contadores considera que sus clientes lo comprenden parcialmente, el 19,2% indica que lo comprenden adecuadamente y el 11,5% señala que no lo comprenden.

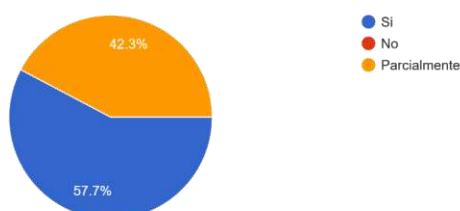
En relación con los principales obstáculos, el 57,7% de los encuestados identifica el desconocimiento de la normativa como la principal dificultad. Le siguen la falta de capacitación técnica (46,2%) y el temor a pagar más impuestos (38,5%). Otros factores mencionados incluyen la percepción de innecesariedad del sistema (26,9%), la resistencia al uso de herramientas tecnológicas (23,1%), los costos de implementación (11,5%) y problemas de conectividad (7,7%).

100

Figura 1

Percepción de los contadores sobre el cumplimiento tributario de sus clientes

En su experiencia, ¿la facturación electrónica ha mejorado el cumplimiento tributario de sus clientes?
26 respuestas



Nota. Autores, (2025)

En cuanto al cumplimiento tributario, el 57,7% de los contadores considera que sus clientes han mejorado en este aspecto, mientras que el 42,3% percibe una mejora parcial.

Respecto a la cultura tributaria, el 53,8% de los encuestados indica que la facturación electrónica ha contribuido parcialmente a su fortalecimiento, el 38,5% considera que ha tenido un impacto positivo, y el 7,7% señala que no ha generado cambios.

Figura 2

Registro de la totalidad de ingresos según percepción de los contadores



Nota. Autores, (2025)

En relación con la facturación de ingresos, el 53,8% de los contadores indica que solo algunos de sus clientes registran la totalidad de sus ingresos, el 34,6% señala que la mayoría lo hace y el 11,5% manifiesta que la mayoría no lo hace.

Entre las razones identificadas por los contadores para que los contribuyentes no facturen la totalidad de sus ingresos, el 46,2% menciona el interés de evitar una mayor carga tributaria. Otras razones incluyen la creencia de que no serán detectados (19,2%), la desconfianza en el sistema electrónico (19,2%) y recomendaciones de terceros (15,4%).

Figura 3

Asistencia brindada por los contadores en el proceso de facturación electrónica



Nota. Autores, (2025)

En cuanto a la asistencia en el proceso de facturación, el 61,5% de los contadores indica que brinda apoyo a sus clientes, el 34,6% lo hace ocasionalmente y el 3,8% no ofrece este tipo de asistencia.

Entre los motivos por los cuales los contribuyentes solicitan ayuda, el 76,9% menciona el desconocimiento en el uso del sistema, el 53,8% el temor a cometer errores o recibir sanciones, el 19,2% la falta de tiempo o habilidades tecnológicas, y el 3,8% la falta de acceso a equipos adecuados o conexión a internet.

Finalmente, en relación con las acciones necesarias para fortalecer la cultura tributaria, el 57,7% de los contadores considera que se requiere mayor capacitación y difusión, el 34,6% menciona la necesidad de incentivos tributarios y el 7,7% sugiere la simplificación del sistema.

Percepción de contribuyentes del régimen RIMPE y régimen general sobre los efectos de la facturación electrónica.

Los resultados presentados a continuación corresponden a las encuestas aplicadas a los contribuyentes sobre la implementación de la facturación electrónica. Estos resultados ofrecen una visión detallada de las percepciones y desafíos que enfrentan los contribuyentes en relación con este sistema tributario.

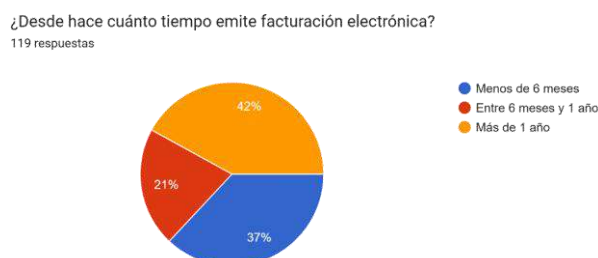
En cuanto a la distribución por edad, el grupo con mayor representación es el de 31 a 45 años, con un 39,5%. Le sigue el grupo de 18 a 30 años, con un 37%. Un 21% de los encuestados tiene entre 46 y 60 años, mientras que el 2,5% es mayor de 60 años.

Respecto al régimen tributario, el 63% de los encuestados pertenece al Régimen General, mientras que el 37% está inscrito en el régimen RIMPE Emprendedor. En términos de nivel educativo, el 48,7% de los encuestados tiene educación superior, seguido por un 31,9% con nivel de secundaria y un 16% con posgrado. El menor porcentaje, un 3,4%, corresponde a los encuestados con educación primaria.

En cuanto a la actividad económica principal de los encuestados, el 39,5% corresponde al sector de servicios, seguido del comercio con el 36,1% y de la actividad mixta con el 24,4%.

Figura 4

Tiempo de uso de la facturación electrónica en los contribuyentes

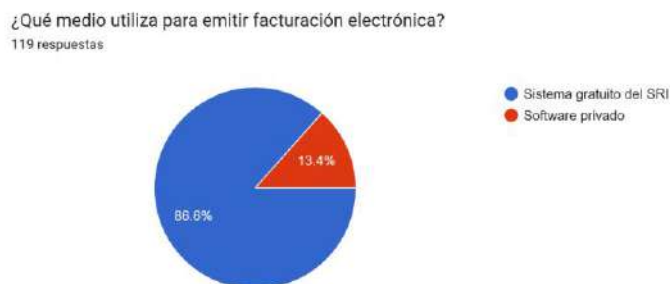


Nota. Autores, (2025)

Respecto al tiempo de uso de la facturación electrónica, el 42% de los encuestados indicó que la ha utilizado por más de un año, mientras que el 37% reportó un periodo inferior a seis meses. Por su parte, el 21% señaló que la ha empleado entre seis meses y un año.

Figura 5

Medio utilizado para la emisión de facturación electrónica

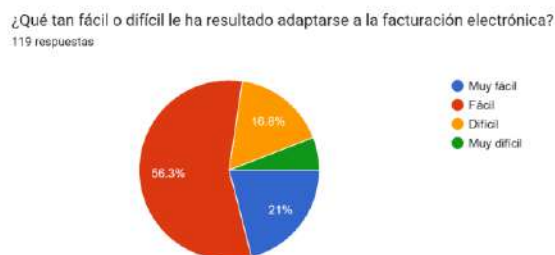


Nota. Autores, (2025)

En relación con el medio utilizado para emitir facturación electrónica, el 86,6% de los encuestados indicó que utiliza el sistema gratuito proporcionado por el SRI, mientras que el 13,4% emplea software privado para este proceso.

Figura 6

Nivel de dificultad en la adaptación al sistema de facturación electrónica

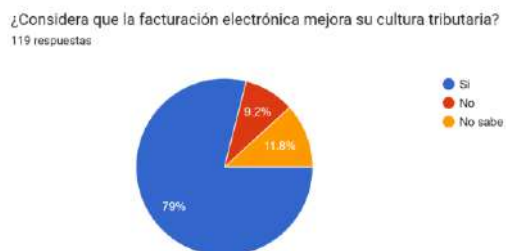


Nota. Autores, (2025)

Respecto a la adaptación al sistema de facturación electrónica, el 56,3% de los encuestados considera que fue “fácil”, un 21% la calificó como “muy fácil”, y el 16,8% la consideró “difícil”, mientras que el 5,9% opinó que fue “muy difícil”.

Figura 7

Percepción del impacto de la facturación electrónica en la cultura tributaria según los contribuyentes



Nota. Autores, (2025)

En relación con la percepción sobre la facturación electrónica en la cultura tributaria, el 79% de los encuestados considera que ha mejorado su cultura tributaria, mientras que el 9,2% opina que no ha tenido impacto, y el 11,8% no sabe si ha mejorado.

Los beneficios percibidos por la facturación electrónica incluyen, principalmente, el ahorro de tiempo, con un 65,5%, seguido por un mejor control de ingresos 35,3% y el menor uso de papel 34,5%. Opciones como un excelente servicio y la falta de uso presentaron menor frecuencia, con solo un 0,8% cada una.

Figura 8

Principales dificultades en el uso de la facturación electrónica



104

Nota. Autores, (2025)

Entre las principales dificultades mencionadas por los contribuyentes, la falta de conocimientos tecnológicos es el más reportado, con un 46,2%. Le siguen los problemas de conectividad a internet, con un 42%, y los costos del sistema, con un 13,4%. Otros problemas menos comunes incluyen el sistema lento y colapsado, la falta de aceptación del cliente, el olvido de claves del SRI, la anulación de facturas y los cortes ocasionales del sistema.

En relación con la recepción de asesoría contable o tributaria, el 57,1% de los encuestados indicó que sí cuenta con este apoyo, mientras que el 42,9% señaló que no lo recibe.

Respecto al apoyo brindado por el SRI, el 55,5% de los encuestados considera que el SRI ofrece suficiente apoyo para cumplir con la obligación de emitir facturas electrónicas, mientras que el 44,5% opina lo contrario.

Los resultados evidencian que el 51,3% de los encuestados recibe apoyo de un tercero para emitir sus facturas electrónicas, mientras que el 48,7% lo hace por sí mismo.

En lo referente a la recepción de apoyo de terceros para la emisión de facturas electrónicas, el 37% de los encuestados no aplica a esta interrogante, ya que emite sus propias facturas. Entre quienes sí reciben apoyo, el 32,8% es asistido por un asistente contable y el 26,1% por un contador. Otros tipos de ayuda, como asistencia externa, cónyuge o amigos, representan menos del 2% en cada caso.

En cuanto a las razones para solicitar asistencia, el 41,2% de los encuestados menciona que lo hace por falta de conocimiento técnico. Un 27,7% señala que no aplica porque no recibe ayuda, el 17,6% lo hace por falta de tiempo, y el 13,4% prefiere delegar la tarea.

Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo analizar las características relacionadas con la facturación electrónica y la cultura tributaria en contribuyentes del régimen RIMPE emprendedor y del régimen general en la ciudad de Riobamba. A partir de los resultados obtenidos, se identifican elementos relevantes que permiten comprender la adopción y efectos de este sistema en el contexto tributario.

En relación con el nivel educativo, los resultados obtenidos muestran una mayor presencia de contribuyentes con formación secundaria y superior. En este contexto, se observa que el acceso a procesos formativos puede facilitar la comprensión de herramientas digitales como la facturación electrónica. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Cañon Ospina et al. (2024), quienes señalan que el uso de herramientas tecnológicas tiende a ser mayor en personas con niveles educativos más altos; no obstante, también advierten que dicho uso puede disminuir en grupos de mayor edad, lo que evidencia la presencia de factores adicionales que inciden en la adopción tecnológica. En este sentido, Matamoros Jaramillo & Andrade Amoroso (2024), destacan que el uso de recursos educativos innovadores, como plataformas digitales y herramientas multimedia, junto con procesos de aprendizaje continuo, favorece el desarrollo de capacidades de adaptación en los contribuyentes. Desde esta perspectiva, la formación no se limita únicamente a la adquisición de conocimientos técnicos, sino que también contribuye al fortalecimiento de prácticas asociadas a una cultura tributaria más consolidada y sostenible en el tiempo.

Respecto a la actividad económica, los resultados evidencian que los sectores de servicios y comercio concentran la mayor participación de los contribuyentes encuestados. Este comportamiento es consistente con investigaciones desarrolladas en Ecuador, donde dichas actividades predominan en la estructura productiva y presentan un crecimiento sostenido, lo que incide en la adopción de herramientas tecnológicas vinculadas a la gestión tributaria. (Martínez Mesías et al., 2024). En contraste, estudios como el de Calle Cordova (2025), reporta que en contextos rurales la adopción de herramientas digitales es menor, debido a limitaciones asociadas al acceso tecnológico y a la conectividad, lo que evidencia diferencias en función del entorno.

En cuanto a la cultura tributaria, los hallazgos indican que una proporción importante de los contribuyentes considera que la facturación electrónica está asociada a mejorar sus prácticas tributarias. Este resultado es similar al reportado en estudios que analizan procesos de digitalización en administraciones tributarias de la región; sin embargo, en algunos contextos se ha evidenciado que esta percepción de mejora puede ser limitada cuando persisten barreras tecnológicas o insuficientes procesos de capacitación. (Morán Chilán & García Cañarte, 2025).

Los resultados obtenidos indican que la implementación de la facturación electrónica en los contribuyentes del régimen RIMPE Emprendedor y Régimen General en la ciudad de Riobamba ha tenido un impacto positivo en la cultura tributaria. Esto coincide con lo planteado por Serrano Aragón (2023), quien señala que este proceso representa un avance significativo hacia un sistema tributario más eficiente, al garantizar la autenticidad de las transacciones y fortalecer el control fiscal, así como la confianza entre el sujeto pasivo y el Estado. Sin embargo, aún existen limitaciones estructurales que condicionan su alcance.

Desde la percepción de los contribuyentes encuestados, el 79 % considera que la facturación electrónica ha tenido una valoración favorable en relación con sus prácticas tributarias. Asimismo, el 77,3 % manifestó que su adaptación fue fácil, destacando el ahorro de tiempo como uno de los principales beneficios. Estos resultados se alinean con lo señalado por Ocampo Alvarado (2025), quien indica que la implementación de este sistema se relaciona con un mayor cumplimiento fiscal y con el fortalecimiento de la relación entre el contribuyente y la administración tributaria.

No obstante, también se identifican barreras como el desconocimiento tecnológico (46,2 %), problemas de conectividad (42 %) y el desconocimiento normativo (57,7 %). Estos hallazgos coinciden con lo señalado por, Moreano Guerra et al. (2023), quienes señalan que la adopción de sistemas electrónicos puede verse limitada por factores tecnológicos y de acceso, lo que representa un desafío para contribuyentes con menor dominio en el uso de herramientas digitales. En este sentido, los hallazgos del presente estudio evidencian la presencia de dificultades en el proceso de adaptación, sin establecer relaciones causales entre estas condiciones.

Desde la perspectiva de los contadores, aunque el 57,7 % reconoce avances en el cumplimiento tributario, también señalan que un 46,2 % de los contribuyentes evita declarar todos sus ingresos por temor a pagar más impuestos. Este resultado pone de manifiesto la persistencia de prácticas asociadas al cumplimiento parcial de las obligaciones fiscales. Hallazgos similares han sido reportados en estudios previos, en los que se identifica que, pese a la implementación de herramientas digitales, aún influyen factores culturales y económicos en la declaración de ingresos.

Por otro lado, en relación con las condiciones de adopción del sistema, estudios como el de Ortiz Mosquera et al. (2024), señalan que la implementación de la facturación electrónica puede verse limitada por factores como la infraestructura tecnológica y la formación técnica. Estos elementos representan desafíos en el proceso de adaptación de los contribuyentes, especialmente en contextos donde el acceso a recursos digitales es restringido.

Diversos estudios desarrollados en el contexto ecuatoriano coinciden en señalar que la facturación electrónica representa una herramienta relevante para mejorar la transparencia y la eficiencia del sistema tributario. En este sentido, Uquillas Granizo & Lopez Naranjo (2024) analizaron la evolución de la evasión fiscal en el país entre 2019 y 2023, concluyendo que la facturación electrónica contribuye a la transparencia y eficiencia fiscal, pero enfrenta resistencia en sectores informales. Asimismo, Ocampo Alvarado (2025), estudió microempresas comerciales ecuatorianas, confirmando mejoras en la organización administrativa y cumplimiento tributario, aunque señaló que la

percepción de rentabilidad no siempre mejora sin capacitación adecuada. En la misma línea, Ortega Méndez (2023) también respalda esta idea al afirmar que los beneficios tributarios de la facturación electrónica solo se concretan con un acompañamiento institucional efectivo, mientras que Ramírez Álvarez et al. (2022) a partir de un análisis econométrico, evidencian que su implementación ha contribuido al incremento en la declaración del IVA, lo que refleja su potencial como herramienta para fortalecer el control tributario.

Aunque el Servicio de Rentas Internas (2022) ofrece una plataforma gratuita, para la emisión de comprobantes y documentos electrónicos mismo que se ajusta a todos los sujetos pasivos a excepción de los grandes contribuyentes, el 19,2 % de estos prefiere utilizar sistemas privados debido a la búsqueda de mayor funcionalidad, personalización y eficiencia operativa. No obstante, estas alternativas implican gastos recurrentes por licencias, actualizaciones y soporte técnico, lo que representa una carga económica considerable para microempresarios o emprendedores con recursos limitados. Esta situación se relaciona con lo señalado por Dávila Feijóo & Pazmiño San Martín (2018), en su estudio dirigido a las PYMES del cantón Piñas - Ecuador, en el que menciona que hay que tomar en cuenta las barreras a la innovación y a la adopción de TIC's que particularmente se caracterizan por algunos factores entre ellos su elevado costo de implementación, esto refuerza la investigación de Uquillas Granizo & Lopez Naranjo (2024) quienes advierten que la evasión fiscal tiende a persistir cuando los contribuyentes no perciben un respaldo institucional adecuado.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que, aunque la facturación electrónica representa un avance en el proceso de modernización del sistema tributario ecuatoriano; sin embargo, su implementación se desarrolla en un contexto donde intervienen diversos factores que pueden influir en su adopción. Entre estos se destacan la necesidad de capacitación continua, el acceso a infraestructura digital, el respaldo institucional y la persistencia de prácticas asociadas a la informalidad.

En este sentido, estudios como el de Zamora Mayorga et al. (2025), señalan que la adopción de la facturación electrónica puede verse limitada en grupos con menor nivel de formación y en personas de mayor edad, así como en contextos donde predominan actividades informales, lo que dificulta la aplicación de estos sistemas. En concordancia con lo anterior. Los resultados de la presente investigación respaldan esta afirmación, al evidenciar que un 22,5 % de los encuestados pertenece al grupo de 46 años en adelante, lo que permite identificar la presencia de segmentos poblacionales que podrían enfrentar mayores dificultades en el uso de herramientas digitales, manteniéndose el análisis en un nivel descriptivo.

En relación con lo expuesto sobre el nivel educativo, los resultados refuerzan la importancia de la formación en el proceso de adaptación a la facturación electrónica. Se identificó que el 48,7 % de los encuestados posee formación superior, mientras que un 31,9 % cuenta con educación secundaria y un 3,4 % con nivel primario. Este comportamiento es consistente con lo señalado por Narvaez Quito & Proaño Ponce (2025) quienes indican que, si bien el uso de plataformas digitales facilita el cumplimiento de las obligaciones tributarias, su aprovechamiento depende del acceso a información y procesos de capacitación adecuados. De manera similar Yupangui Castelo & Torres

Palacios (2024) destacan que los contribuyentes con mayor nivel educativo tienden a mostrar una disposición más favorable hacia el uso de herramientas digitales y el cumplimiento fiscal.

De manera complementaria, los resultados evidencian la relevancia del apoyo externo en el proceso de adaptación a la facturación electrónica. El 51,3 % de los encuestados indicó que requiere asistencia para la emisión de comprobantes electrónicos, siendo el desconocimiento técnico la principal razón. Este hallazgo permite identificar la existencia de brechas en las habilidades digitales de los contribuyentes, lo que puede limitar su autonomía en el cumplimiento de sus obligaciones tributarias. En este contexto, el acompañamiento de contadores, asistentes contables o terceros se configura como un elemento importante dentro del proceso de implementación del sistema. En concordancia con estos resultados, Pilay Asunción & Marcos Rodriguez (2025) señalan que el rol del contador ha evolucionado hacia una función de asesoramiento y acompañamiento estratégico, especialmente en escenarios de transformación digital.

Conclusiones

La implementación de la facturación electrónica en los contribuyentes del régimen RIMPE Emprendedor y del régimen general en la ciudad de Riobamba se asocia con avances en el fortalecimiento de la cultura tributaria. Los resultados obtenidos muestran que esta herramienta ha contribuido a facilitar el cumplimiento de las obligaciones fiscales, al simplificar procesos, optimizar el tiempo y mejorar el control de ingresos. No obstante, persisten desafíos que pueden limitar su adopción plena, entre los que destacan el desconocimiento de la normativa, la insuficiente capacitación técnica, las dificultades de conectividad y los costos asociados al uso de software privado. Estas condiciones permiten identificar la presencia de barreras estructurales que podrían incidir en mayor medida en pequeños emprendedores y contribuyentes con menor acceso a recursos tecnológicos.

Si bien el estudio se desarrolló en la ciudad de Riobamba, los hallazgos permiten plantear reflexiones aplicables a un contexto más amplio. En Ecuador, donde la facturación electrónica se ha implementado de manera progresiva, los desafíos identificados pueden estar presentes en otros entornos, particularmente en segmentos como pequeños negocios y emprendimientos familiares.

Desde la perspectiva de los contadores, se reconoce una mejora parcial en el cumplimiento tributario. Sin embargo, también se identifican prácticas de omisión de ingresos asociadas al temor a una mayor carga fiscal, lo que sugiere la persistencia de comportamientos vinculados al cumplimiento incompleto de las obligaciones tributarias. Finalmente, los resultados permiten señalar que factores como la resistencia al uso de tecnologías, el temor a sanciones y la necesidad de mayor acompañamiento institucional forman parte del contexto en el que se desarrolla la implementación de la facturación electrónica, lo cual puede influir en su alcance dentro del fortalecimiento de la cultura tributaria.

Referencias

- Arias Pérez, M., & Cáceres Ortiz, A. (2021). Facturación electrónica un mecanismo de control para el cumplimiento tributario, caso sector carrocero. *Revista De Investigación Aplicada En Ciencias Empresariales*, 10(1), 74-85. <https://doi.org/10.22370/riace.2021.10.1.2987>
- Becerra Molina, E., & Ojeda Orellana, R. (2022). Beneficios de la facturación electrónica en las pequeñas y medianas empresas del Ecuador. *Visionario Digital*, 6(4), 76-97. <https://doi.org/10.33262/visionariodigital.v6i4.2366>
- Calle Cordova, M. J. (2025). Impacto de la Digitalización en la Recaudación Tributaria: Desafíos y Oportunidades en el Sistema Fiscal Ecuatoriano. *Ciencia Latina Revista Científica*, 9(2), 2832-2846. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17098
- Cañon Ospina, C. A., Barragán Moreno, S. P., & González Támara, L. (2024). Herramientas digitales y nivel académico en Bogotá y municipios circundantes. *Revista Prisma Social*(46), 147-172.
- Contífico. (s.f.). *CONTÍFICO*. ¿Qué es la facturación electrónica y cómo impulsa tu negocio?. <https://contifico.com/que-es-la-facturacion-electronica-y-como-impulsa-tu-negocio/>
- Dávila Feijóo, I. E., & Pazmiño San Martín, N. T. (9 de 3 de 2018). *Limitaciones para implementación en el proceso de la facturación electrónica en las Pymes del cantón Piñas*. Repositorio Digital UCSG. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10603>
- Facturero Móvil. (13 de 03 de 2025). *Facturero Móvil*. Evolución de la facturación electrónica en Ecuador. <https://www.factureromovil.com/articulos/evolucion-de-la-facturacion-electronica-en-ecuador/b>
- Gavilánez Gavilánez, E. S., & Vaca Proaño, C. A. (08 de 2018). *Incidencia de la facturación electrónica en la recaudación fiscal en el pago de los contribuyentes del cantón Latacunga, en el periodo económico 2017*. Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5773>
- Hernández Sampieri, R., Collado, C. F., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Leguizamón Gaette, J. D., & Bareiro, S. L. (2024). Implementación de la facturación electrónica en América Latina. Revisión de literatura. *Arandu UTIC*, 11(2), 2654-2587. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.446>
- Manzano Núñez, R., & García Perdomo, H. A. (2016). Sobre los criterios de inclusión y exclusión. Más allá de la publicación. *Scielo*, 87(6), 511-512. <https://doi.org/10.1016/j.rchipe.2016.05.003>
- Martínez Mesías, J., López Molina, Y., Lara Haro, D., & Mayorga Morales, T. (2024). Análisis de la confianza empresarial de los sectores económicos del Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 17(45), 110-123. <https://doi.org/0.29076/>
- Matamoros Jaramillo, G. L., & Andrade Amoroso, R. P. (2024). Educación tributaria orientada a la comprensión del impuesto al valor agregado en la economía digital. *Revista Conrado*, 20(96), 266-278.

- Morán Chilán, J. H., & García Cañarte, A. A. (2025). Cultura Tributaria y Transformación Digital en los emprendedores del cantón Jipijapa. *Revista Científica Arbitrada de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR*, 8(16), 2737-6354. <https://doi.org/https://reicomunicar.org/index.php/reicomunicar/article/view/442>
- Moreano Guerra, C. B., Escobar Erazo, T. E., Lalangui Aguilar, B. M., & Mena Freire, V. G. (2023). La facturación electrónica ventajas y desventajas en las pequeñas empresas del Ecuador. *Ciencia Latina*, 7(4), 3315-3340. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7176
- Muñoz Briones, J. C., Cáceres Espinoza, E. J., Camacho García, P. J., Niola Sornoza, G. G., & Loza Balladarez, V. (2023). Evasión de impuestos y facturación electrónica: afectación para el desarrollo económico social del Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 1202-1217. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6267
- Narvaez Quito, J. A., & Proaño Ponce, W. P. (2025). Rol de las plataformas digitales en el cumplimiento tributario de los emprendedores de Jipijapa. *Polo del conocimiento*, 10(105), 243-259. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i4.9307>
- Ocampo Alvarado, A. M. (7 de 7 de 2025). *Impacto de la facturación electrónica en microempresas comerciales en Ecuador*. Revista Científica Multidisciplinaria En Ciencias Sociales Y Humanidades Eucken. <https://n9.cl/1kqmu>
- Ortega Méndez, J. X. (2023). Ventajas tributarias de la facturación electrónica en Ecuador. *Revista Ciencias Sociales y Económicas*, 7(1), 44-56. <https://doi.org/10.18779/csye.v7i1.659>
- Ortega Méndez, J. X. (2023). Ventajas tributarias de la facturación electrónica en Ecuador. *Revista De Ciencias Sociales Y Económicas*, 7(1), 44-56. <https://doi.org/10.18779/csye.v7i1.659>
- Ortiz Mosquera, C. G., Pauta Ríos, R. A., Beltrán Mora, M. N., & Zamora Varas, G. F. (2024). Eficiencia de la facturación electrónica en el control fiscal: un estudio de caso en el régimen RIMPE emprendedor del Ecuador. *Journal of Science and Research*, 9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14804603>
- Pilay Asunción, D. D., & Marcos Rodríguez, K. L. (2025). Los desafíos tecnológicos y el rol del contador en la automatización de procesos contables. *Journal of Economic and Social Science Research*, 5(1), 306-329. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v5/n1/178>
- Ramírez Álvarez, J., Oliva, N., & Andino, M. (2022). Cumplimiento tributario y facturación electrónica en Ecuador: evaluación de impacto. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana De Economía*, 53(208), 97-123. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2022.208.69712>
- Ramos Galarza, C. A. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1-6. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Rendón Macías, M. E., Villasís Keever, M. Á., & Miranda Novales, M. G. (2016). Estadística descriptiva. *Rev Alerg Mex*, 63(4), 397-407.
- Serrano Aragón, M. (2023). Facturación electrónica y Cumplimiento Tributario. *Magazine de las Ciencias*, 8(3), 133-148. <https://doi.org/10.33262/rmc.v8i3.2925>

- Servicio de Rentas Internas. (2022). *Contribuyentes obligados a emitir Comprobantes Electrónicos*. Información general. <https://www.sri.gob.ec/facturacion-electronica>
- Servicio de Rentas Internas. (27 de 05 de 2022). *Resolución NAC-DGERCGC22-00000024*. Emisión de comprobantes de venta, retención y documentos complementarios en formato electrónico. <https://www.sri.gob.ec>
- Uquillas Granizo, G. G., & Lopez Naranjo, A. L. (2024). Impacto de la facturación electrónica en la reducción de la evasión fiscal en Ecuador. *Perspectivas Sociales Y Administrativas*, 2(2), 45-56. <https://doi.org/10.35290/re.v2n1.2021.390>
- Yupangui Castelo, J. A., & Torres Palacios, M. M. (2024). El rol determinante de la educación tributaria en el cumplimiento del impuesto a la renta. *Revista Electrónica de Ciencias Gerenciales*, 6(1), 562-575. <https://doi.org/10.35381/gep.v6i1.116>
- Zamora Choez, E. L., & Monar Merchán, C. A. (2024). Facturación Electrónica y su Impacto Económico en las Imprentas Autorizadas por el Servicio de Rentas Internas (SRI) de Manta. *Revista Científica Vitalia*, 5(1), 151-171. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i1.83>
- Zamora Mayorga, D. J., Chávez Vargas, R. E., Coello Mora, M. E., & Ortega Zambonino, J. S. (2025). Impacto de la Evasión Fiscal en la Recaudación Tributaria en Ecuador en el 2023. *Veritas Revista Multidisciplinar*, 6(1), 544-566. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v6i1.421>

Optimización en cultivos de *Oreochromis sp* mediante bacterias benéficas hacia un modelo de Acuicultura Sostenible

*Optimization of *Oreochromis sp* cultures using beneficial bacteria towards a sustainable aquaculture model*



Galo Omar Valarezo Villacrés

Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano,
Magister en Ciencias mención en Manejo Sustentable de
Recursos Bioacuáticos



Rocío Iliana Del Pezo Morales

Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano,



Viviana Margarita Neira Pereira

Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano,



Aarón Elías Perero Láinez

Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano,



Gabriela Estefanía Pozo Yagual

Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano,



Jennifer Paola Reyes Chiriguay

Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano,



Moisés Emanuel Perero Láinez

Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano,

Resumen:

La acuicultura simbiótica sostenible fundamenta su estrategia en el empleo de microorganismos que realizan una actividad benéfica directa o indirecta sobre la sanidad de las especies acuícolas y la calidad del medio. La utilización de probióticos surge como una solución muy eficaz en la prevención, control y tratamiento de enfermedades, estabilización del medio y aprovechamiento de los nutrientes. El cultivo de organismos acuáticos como la tilapia roja *Oreochromis sp*, en simbiosis con cepas de bacterias del género *Bacillus*, pretende desarrollar ciclos biológicos naturales, que aporten al mecanismo de disgregación de residuales orgánicos y la disminución de compuestos nocivos, restaurando así la calidad del agua y mitigando las alteraciones en el medio acuático. El objetivo fue desarrollar procedimientos óptimos en el cultivo de tilapias rojas, mediante el uso de microorganismos probióticos y propender el equilibrio del ecosistema. Los estudios se realizaron en el Laboratorio de Acuicultura del ISTTE, utilizando el método cuasi-experimental, tinajas circulares de 300 L, aireación constante, ejemplares de tilapias, alimentos balanceados y un stock de bacterias probióticas, durante un periodo de 100 días. Los tratamientos con bacterias benéficas (T1) resultaron en un 44% menor de amonio, 38% menor de nitrito y 30% menor de nitrato, frente a los tratamientos del grupo control (T0), así como las mejoras en la calidad del agua, menor turbidez y olores desagradables en el medio. La simbiosis entre los microorganismos benéficos y las tilapias demostró que mejoró la calidad del agua y también coadyuvó en la salud y rendimiento de los organismos cultivados.

Palabras clave: Ambiental, calidad, probióticos, simbiosis, sostenible.

Abstract:

Sustainable symbiotic aquaculture bases its strategy on the use of microorganisms that exert a direct or indirect beneficial effect on the health of aquaculture species and the quality of the environment. The use of probiotics emerges as a highly effective solution for disease prevention, control, and treatment, as well as for environmental stabilization and nutrient utilization. The cultivation of aquatic organisms such as red tilapia (*Oreochromis* sp.*), in symbiosis with bacterial strains of the genus *Bacillus**, aims to foster natural biological cycles that contribute to the breakdown of organic waste and the reduction of harmful compounds, thereby restoring water quality and mitigating disturbances in the aquatic environment. The objective was to develop optimal procedures for red tilapia farming using probiotic microorganisms and to promote ecosystem balance. The studies were conducted at the ISTTE Aquaculture Laboratory, using a quasi-experimental design, 300 L circular tanks, constant aeration, tilapia specimens, balanced feeds, and a stock of probiotic bacteria, everything over a 100-day period. Treatments with beneficial bacteria (T1) resulted in 44% lower ammonium, 38% lower nitrite, and 30% lower nitrate levels compared to the control group treatments (T0), as well as improvements in water quality and reduced turbidity and unpleasant odors in the environment. The symbiosis between beneficial microorganisms and tilapia was shown to improve water quality and contribute to the health and performance of the cultured organisms.

Keywords: Environmental, probiotics, quality, sustainable, symbiosis

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La Acuicultura en el mundo representa uno de los sectores de producción más prósperos, debido a su alto crecimiento, y esto genera a su vez un desarrollo económico por el nivel de productividad en las regiones donde se realizan este tipo de actividades, sin embargo es inminente que surjan problemas debido a la contaminación ambiental, lo que esto origina y por ende se vuelve imprescindible aplicar procedimientos tendientes al uso de buenas prácticas acuícolas, ambientalmente amigables y con sentido de responsabilidad ecológica, para evitar así la alteración de los sistemas naturales

Entre las principales dificultades tenemos, la poca sostenibilidad de los cultivos de *Oreochromis sp.* debido a problemas de calidad del agua, acumulación de sustancias de desecho, el uso excesivo de químicos, junto con la falta de estudios locales sobre el uso de bacterias benéficas, como alternativa de optimización.

El presente trabajo de investigación basa su estudio, en la interacción biológica que efectúan los organismos en un sistema acuícola, desencadenando una serie de procesos en el medio y posibilitan oportunidades en desarrollar mecanismos de simbiosis adaptativa, entre el cultivo de especies y los microorganismos benéficos, pues al formar una biocomunidad en el ambiente acuático, lo torna eco sostenible y capaz de generar un ambiente más saludable, libre de agentes tóxicos contaminantes, mantener así el equilibrio homeostático de los organismos habitantes en este entorno y disminuir así, los posibles impactos de esta actividad.

El éxito de llevar a cabo las producciones acuícolas de una manera sostenible en el ambiente es tratar de imitar a la naturaleza en el ciclo biológico de todos los organismos, esto supone la coexistencia de las especies en completo equilibrio, en un medio sano, que brinde las condiciones necesarias de parámetros, como la temperatura, salinidad, iluminación, aporte de nutrientes y así obtener un mayor crecimiento de los individuos.

La modulación del sistema inmune, es decir la expresión génica del hospedador, lo hace más resistente al patógeno. En una investigación, los autores concluyeron que los probióticos y prebióticos mejoran la respuesta inmunitaria innata y adquirida, favorecen la colonización de bacterias benéficas en el intestino, incrementan la resistencia frente a enfermedades y mejoran el crecimiento y la supervivencia de los organismos acuáticos. Así mismo destacaron que la modulación del microbiota intestinal constituye uno de los principales mecanismos de acción de estos microorganismos.

Además de alcanzar beneficios en el ambiente, los probióticos colonizan las paredes intestinales de las tilapias, otorgándoles una acción de protección contra el ataque de microorganismos patógenos, lo que garantiza su óptimo crecimiento y le brinda un buen estado de salud, activa mecanismos internos del hospedero como la actividad antagonica, es decir producir bacteriocinas, para destruir los patógenos.

Las competencias por nutrientes, ya que los probióticos dependen de este aporte nutricional y la disrupción del quorum sensing en el patógeno. En otra investigación realizada se describen algunos probióticos que interfieren con los mecanismos de comunicación bacteriana justamente el quorum sensing, disminuyendo la virulencia de los patógenos en el medio .

La exclusión competitiva, que es el proceso por el cual los probióticos colonizan los intestinos, bloquean los sitios de fijación del patógeno y disminuyen los efectos negativos de los hospederos.

La suplementación con *Bacillus subtilis* y *Lactococcus lactis* incrementó significativamente el crecimiento, mejoró la respuesta inmunitaria, favoreció la integridad intestinal y estimuló la expresión de genes relacionados con la defensa del hospedero.

La combinación de *B. subtilis* y *B. licheniformis* mejoró la ganancia de peso, modificó favorablemente el microbiota intestinal y fortaleció la inmunidad innata de las tilapias.

Los microorganismos como las bacterias en el ambiente, desempeñan un rol muy especial, debido a que, sin ellos la gran complejidad de mecanismos bioquímicos no se podrían producir. Por ello la relevancia del conocimiento de esta comunidad microbiota; consecuentemente, la ciencia puede desarrollar nuevos procedimientos o perfeccionar los ya existentes en la naturaleza, para ayudar a eliminar ciertos elementos contaminantes en los medios .

Existen muchos *Bacillus*, entre los probióticos, que corresponden a bacterias gram positivas que benefician en el microbiota digestivo de las tilapias .

Ciertos autores en estudios anteriores indicaron que los probióticos mejoran el crecimiento, la conversión alimenticia, el microbiota intestinal, la inmunidad y la supervivencia de las tilapias, constituyendo una alternativa sostenible al uso de antibióticos .

Las tilapias como otros organismos, son susceptibles de contraer enfermedades y por ello son evaluadas por medio de una triada ecológica o epidemiológica, para saber el origen, la duración y el grado de severidad de la patología .

Existen estudios que demostraron que la aplicación de probióticos directamente en el agua mejoró la calidad, aumentó el crecimiento, fortaleció la capacidad antioxidante y estimuló el sistema inmunológico de las tilapias.

Al respecto otros investigadores sostuvieron que los probióticos estimulan la digestión, reducen el estrés y mejoran la resistencia a enfermedades aportando al éxito de una acuicultura sostenible.

Relacionando esto, con la contribución de otros científicos, los mismos que señalaron que las especies del género *Bacillus* mejoran la salud intestinal, fortalece la respuesta inmune, así como el crecimiento y favorece a una mejor calidad el agua para el cultivo de las tilapias

Estudios similares se registran con la contribución de más investigadores, al afirmar que la manipulación del microbiota, mediante probióticos estabiliza el ecosistema acuático, mejora la salud de las tilapias y potencia la productividad del cultivo.

Otros autores sostuvieron que los probióticos interrumpen el mecanismo de quorum sensing de las bacterias patógenas disminuyendo su virulencia, sin trabajos necesidad de recurrir a antibiótico.

Existen estudios de investigación que indicaron fortalezas de los probióticos, ejerciendo una exclusión competitiva al colonizar la mucosa intestinal competir por

nutrientes y sitios de fijación, producir compuestos antimicrobianos que limitan el asentamiento de los patógenos.

Los probióticos mantienen una franca interacción entre sí, liberando moléculas e induciendo al resto de la microcomunidad, a esto se le llama bacteriosociabilidad, o lo que otros autores denominan como quorum sensing, o estado de interconexión entre bacterias, de acuerdo a una interactividad enzimática entre ellas. Esto lo demostraron Bonnie Bassler, Peter Greenberg y Jeffrey Gordon, quienes fueron galardonados con el Premio Princesa de Asturias en el año 2023, por sus múltiples descubrimientos a favor de la ciencia. Las bacterias benéficas realizan labores de mitigación ambiental, su función es biodegradadora, contrarrestando los efectos perjudiciales que pudieren ocasionar los efluentes descargados de los cultivos, que, al combinarse con cuerpos de agua o tierra cercanos, alteran las características naturales, produciendo estados de contaminación inminente.

La importancia del uso de las bacterias *Bacillus subtilis* es muy destacado, así mejoró la conversión alimenticia, el crecimiento, la actividad de las enzimas digestivas, la respuesta inmunitaria y el estado antioxidante de las tilapias juveniles. Otros investigadores concluyeron que la aplicación de probióticos modificó favorablemente el microbiota intestinal y mejoraron el rendimiento productivo de las tilapias cultivadas en sistemas de Biofloc en alta densidad.

La acuicultura representa una actividad estratégica en el desarrollo económico del Ecuador, a pesar de ello la producción de tilapias enfrenta desafíos asociados con la degradación de la calidad del agua, acumulación de materia orgánica y la aparición de enfermedades, lo que afecta directamente a la productividad del recurso y aumenta los costos finales.

En este contexto evaluar la utilización de bacterias benéficas como una opción biotecnológica resulta relevante, ya que aporta al mejoramiento de la calidad del agua, fortifica la salud de los peces e impulsa sistemas sostenibles y ambientalmente más responsables para el sector acuícola del país.

El lugar donde se realizó esta investigación, fue en el Laboratorio de Prácticas de la ISTTE, Sede Santa Elena, ubicado en La Libertad, Ecuador. Este trabajo promueve la implementación de bacterias benéficas como una alternativa biotecnológica que mejora la eficiencia productiva de las especies acuáticas cultivadas.

La importancia en efectuar esta investigación, es generar información relevante que proporcione datos, para mejorar la sostenibilidad ambiental y optimizar los cultivos de tilapias rojas *Oreochromis sp* de manera sustentable.

Ante esto surge la pregunta: ¿De qué manera las estrategias de manejo, mediante el uso de bacterias benéficas pueden lograr una optimización productiva en el cultivo de tilapias rojas, hacia un modelo de Acuicultura Sostenible?

El objetivo general de esta investigación es desarrollar estrategias de manejo en el cultivo de tilapias rojas basadas en el uso de bacterias benéficas para la optimización productiva de un modelo de Acuicultura Sostenible.

Para ello se debe evaluar la incidencia del uso de bacterias benéficas en los cultivos de tilapia roja y las correlaciones que ejercen entre los parámetros físicos-

químicos del agua, así como determinar los indicadores biológicos del cultivo de tilapias rojas asociados al uso de probióticos durante el tiempo de estudio.

Metodología

La investigación sobre la optimización en cultivos de *Oreochromis sp* mediante bacterias benéficas, se desarrolló mediante una metodología cuasi-experimental. “El mismo que faculta manejar variables independientes en un ambiente controlado, posibilitando el análisis de su incidencia, sin el requerimiento de una asignación aleatoria de los individuos a los grupos de estudio”.

El enfoque de la investigación es cuantitativo y el diseño es experimental, debido a que propone determinar el efecto del uso de las bacterias benéficas sobre las diferentes variables físicas, químicas, biológicas y su interacción con la calidad del agua en la sostenibilidad en cultivos de las tilapias rojas.

El diseño experimental estuvo conformado por dos tratamientos: el grupo control (T0) sin empleo de bacterias y el otro grupo (T1) aplicando bacterias benéficas, según el protocolo establecido. Cada tratamiento dispuso de tres replicas independientes (R1, R2 y R3), para un total de seis unidades experimentales, lo que posibilitó reducir la variabilidad biológica y ampliar la confiabilidad de los resultados.

La comparación entre los dos tratamientos (T0 y T1) permitió evaluar la incidencia de esta biotecnología sobre la calidad del agua y las variables productivas en el cultivo de *Oreochromis sp*, determinando posibles diferencias estadísticas entre ambos tratamientos y estableciendo su contribución a un modelo de acuicultura sostenible.

La tipología es mixta: documental y aplicada. La investigación es de tipo aplicada, con un nivel explicativo, ya que además de realizar descripciones de los procesos, busca la demostración de la relación causal, entre la dosificación de bacterias benéficas, la mejora en los parámetros de cultivo y las sostenibilidad de las producciones acuícolas en el sector.

El estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Practicas experimentales en la carrera de Acuicultura en el ISTTE, Sede Santa Elena. Fue realizado en tres unidades (tinajas) para cada tratamiento, en total seis tinajas de cultivo, tres replicas por tratamiento, durante el periodo noviembre 2024 – marzo 2025 (P38), tuvo una duración aproximada de 100 días.

El laboratorio cuenta con una infraestructura conformada por tinajas (10) de 300 L de volumen de trabajo c/u; de estas se utilizaron 6 para los estudios experimentales de la presente investigación.

Además, cuenta con una línea de aireación compuesta por una tubería de PVC de 1 pulgada, la cual es abastecida por un motor eléctrico de aire de 1,20 Hp, marca Hidrotermal, 1F., 220 V.; además contiene llaves de cierre de paso, un juego completo de difusores de aire, mangueras de 3/16 pulg. y demás accesorios.

Adicional a esto, existen motores eléctricos de difusión de aire Powers de 500, con doble salida. Al igual que un motor de 0,25 Hp. usado para emergencias

ocasionalmente. De igual manera, hay acuarios de vidrio (6) de 50 L de capacidad c/u, para realizar bioensayos de manera aislada, los mismos que están aprovisionados también con un sistema de aireación constante, para mantener los cultivos.

La aireación es crucial para las especies, por ello existe un tablero con encendido automatizado en caso de cortes de fluido de energía. De esta forma, también existe la disponibilidad de energía fotovoltaica, a través de paneles solares.

Lo interesante es que fluye siempre aire en el sistema, el mismo que es un requerimiento indispensable para los cultivos de todas las especies acuícolas.

El laboratorio además cuenta con una línea de agua dulce para realizar los llenados respectivos y las renovaciones de agua para las especies dulceacuícolas.

La población de organismos estuvo conformada por ejemplares juveniles de tilapias rojas *Oreochromis sp.* con un peso promedio inicial de 20 g / individuo. Las muestras fueron seleccionadas al azar y se hicieron repeticiones para revalidación de los resultados y que sean estadísticamente verificables.

Entre las variables físicas estudiadas tenemos el oxígeno, la temperatura y salinidad, entre las variables químicas: amonio, pH, nitrito, nitrato y otras variables biológicas, como son los indicadores de sostenibilidad del cultivo, entre ellos, la natación, periodo de estrés, consumo de alimentos, coloración corporal y demás características biológicas de los animales que fueron también analizadas en esta investigación.

Se efectuaron observaciones directas de los ejemplares, para poder determinar estas variables en los individuos, así como también se llevó un registro, tabulación y el procesamiento de los datos para el estudio estadístico correspondiente.

Se utilizaron Kits API y reactivos con rangos de medición colorimétrica, para determinación de parámetros químicos como el amonio, pH, nitrito y nitrato. Para medir los niveles de oxígeno, se utilizó un equipo portátil digital con sonda, para facilitar la inmersión del bulbo sensor en la profundidad del cultivo.

Los monitoreos de parámetros físicos como la salinidad, temperatura, se realizaron con equipos de medición digitales. Mientras que la turbidez del agua fue revisada con discos Secchi para determinar la transparencia de los medios.

Además, se contó con una balanza digital decimal, para el registro de los pesos de los animales, así como también procesar los pesos de los alimentos balanceados que aportaron los nutrientes necesarios, para el desarrollo de los procesos fisiológicos de las tilapias.

La dosis de alimentación diaria de los animales consistió en proporcionar entre el 3 al 4 % del peso corporal de los individuos, a través del cálculo de la biomasa antes del suministro del alimento. El porcentaje de proteína del balanceado alimenticio correspondió al 35 %.

Se midieron los pesos de los animales de manera semanal para determinar los incrementos de estos en relación con su peso inicial y establecer el progreso en el rendimiento y su desarrollo en el cultivo.

El peso inicial promedio de las tilapias juveniles fue de 20 g y al final del mismo llegó a 60 g al término de la investigación. Ocasionalmente se proporcionaron microalgas del género *Thalassiosira weissflogii*, más por un tema de naturalizar el medio, buscar epibiotizar las

superficies y sustratos del cultivo, así de esta forma se procuró establecer una mínima oscuridad en el medio, la misma que fue muy bien recibida por los animales, imitando así una situación natural del ambiente y coincide efectivamente con otros autores en investigaciones, que exponen este escenario biológico, como una verdadera fortaleza. Estas microalgas, al igual que las bacterias suministradas en el medio, cohabitaron con los organismos y les proporcionaron a las tilapias un ambiente saludable y natural.

Los microorganismos benéficos utilizados en esta investigación, consistieron en dosificar con un coctel integrado por tres variedades de cepas: *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum* y *Saccharomyces kudriavzevii*. (Los dos primeros corresponden a bacterias grampositivas en forma de bastoncitos y el tercero es un hongo, que ayuda en la fermentación de los azúcares). Cada uno de los componentes se encuentra presente en una concentración del 1×10^6 u.f.c. (unidades formadoras de colonias). Estos microorganismos fueron previamente enriquecidos con melaza por un día, en completa oscuridad para procurar la nutrición bacteriana y alcanzar rápidamente su multiplicación celular. El modo de inoculación fue el siguiente, se utilizaron 2 litros de agua dulce estéril y a esto se agregó 25 ml de EMBIO+PLUS, que contenía los microorganismos benéficos ya descritos anteriormente, además de 20 ml de melaza; se dejó tapado, en completo reposo, ausencia de luz, durante 1 día y ya luego se pudo continuar con su utilización. Esta preparación sirvió hasta 3 días continuos de dosificación para los cultivos y así se realizaron constantemente nuevas preparaciones. De este inóculo, se puso 200 ml en los medios de cultivo de las tilapias, cada día y si se observaba alguna novedad, como por ejemplo mala calidad de agua o exceso de materia orgánica, se agregaban 50 ml más para poder estabilizar el medio.

Las dosificaciones para el tratamiento (T1) con bacterias benéficas en las tinas destinadas para esta actividad se realizaron de manera diaria. Para las mediciones de colonias bacterianas, se extrajeron muestras provenientes de las tinas tratadas (T1) y las tinas sin tratamiento (T0), las mismas que fueron realizadas de manera semanal para revisar y comparar los crecimientos bacterianos.

Las tomas de las muestras se hicieron en el centro de cada tina, una vez apagado el aire por 5 minutos, a 25 cm por debajo de la superficie del agua, y colectadas en recipientes estériles, antes de la aplicación de bacterias y alimentación para evitar alteraciones en las lecturas finales. Los análisis de conteo de bacterias se realizaron mediante el método de siembra por extensión en superficie (Spread Plate). Las muestras fueron sometidas a diluciones en serie decimal (10^{-1} - 10^{-9}) en solución salina estéril y sembradas en agar Plate Count (PCA).

Las placas se incubaron a 37°C durante 24-48 horas y de ahí fueron realizados los conteos de las unidades formadoras de colonias (UFC) por ml. Los niveles de bacterias benéficas aplicando los probióticos descritos anteriormente alcanzaron un promedio de 3 escalas logarítmicas más, esto es 1×10^9 u.f.c.; mientras que para el grupo control la colonización de bacterias era muy mínima debajo del estándar (1×10^4 u.f.c).

Las renovaciones de agua para refrescar el cultivo se hicieron según el nivel de suciedad de las tinas, aunque en promedio se realizaron casi 3 veces por semana, y ahí

fueron realizadas actividades de limpieza del agua, como sifoneo de los residuales del fondo, recambios de agua, retiros de desperdicios, etc.

Las variables físicas (temperatura, salinidad), químicas (pH, oxígeno, amonio, nitrito y nitrato) y biológicas (coloración corporal, comportamiento alimenticio, lesiones externas, período de estrés) fueron registradas dos veces por cada semana, durante un periodo de cien días, para los tratamientos experimentales:

T0 (sin aplicación de bacterias benéficas) y T1 (con aplicación de bacterias benéficas), cada uno con conformado por tres replicas independientes.

Para realizar el análisis estadístico, se utilizó un software: IBM Corp. SPSS Statistic, Versión 26.

Previo a la aplicación de las pruebas paramétricas o no paramétricas, se plantearon rigurosamente las hipótesis nulas y alternas en cada caso analizado y seleccionar así de manera adecuada el procedimiento correcto se comprobó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, a través de la prueba de Shapiro-Wilk.

Una vez comprobados estos supuestos, se procedió a realizar el análisis de correlación de Spearman para establecer las posibles asociaciones entre los parámetros de calidad del agua y los indicadores productivos del cultivo.

Los resultados de los datos de cada uno de los tratamientos, tanto para el grupo control, que no fueron inoculadas con bacterias (T0), como para el grupo tratadas con bacterias benéficas (T1) fueron minuciosamente tabuladas.

Se consideró un nivel de confianza del 95% con un margen de significancia de $\alpha = 0,05$ (error del 5%) para hacer los ajustes y criterios de selección pertinentes al estudio.

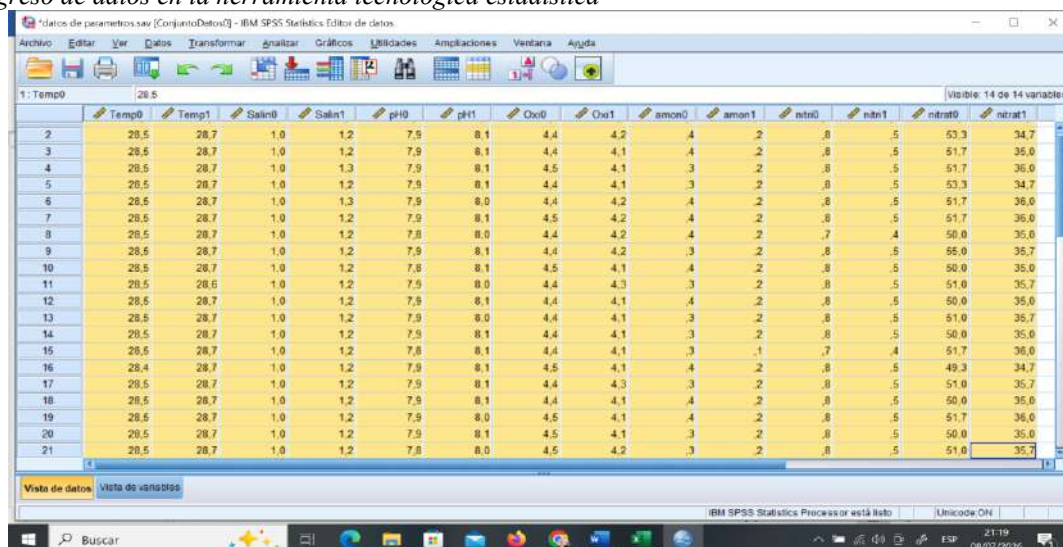
De esta forma se analizaron los resultados con total argumento científico y evidencia estadística, para determinar si existía o no, diferencias significativas o simplemente se debían al azar.

Resultados

Para el procesamiento de los datos en esta investigación, se empleó una herramienta tecnológica, basada en un programa de software estadístico: IBM Corp. SPSS Statistic, Versión 26, para realizar los análisis de la Estadística descriptiva, prueba de normalidad, Correlación Estadística y medir la fuerza, como dirección de la relación entre dos variables cuantitativas. La misma se puede apreciar en la Imagen 1, ingresando los datos de manera ordenada, independiente, por cada grupo de tratamiento: T0 para el grupo control y T1 (para el grupo de tratamiento con bacterias benéficas), con 3 réplicas para cada uno de los tratamientos mencionados, poderlos tabular y analizarlos posteriormente, someterlos a pruebas y validaciones estadísticas comprobables. Los valores de las variables se aprecian en las Tablas 1 y 2.

Figura 1

Ingreso de datos en la herramienta tecnológica estadística



Nota. Autores, (2025)

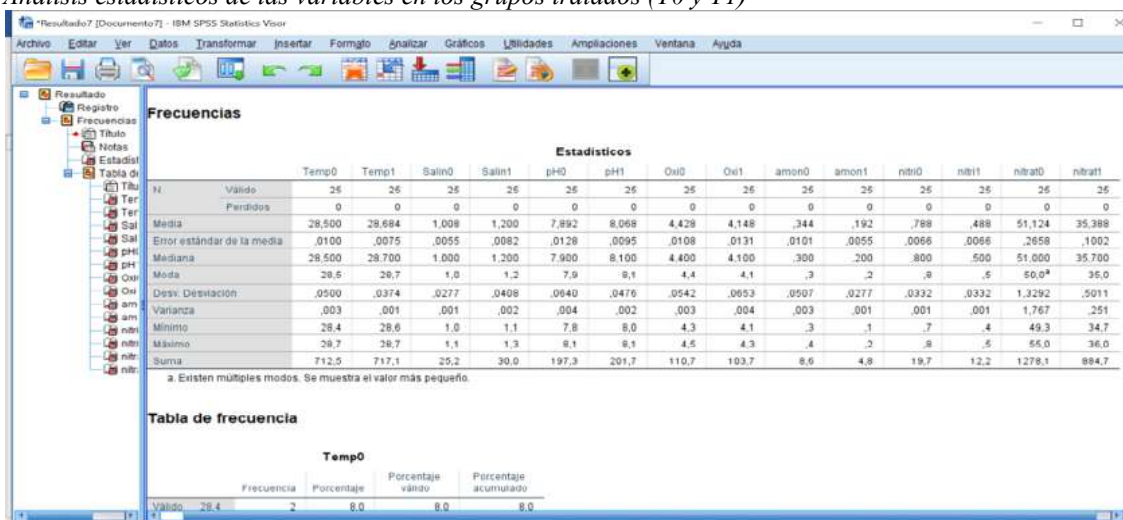
Tabla 1

Parámetros físicos y químicos en tratamientos: T0 (grupo control sin bacterias) y T1 (grupo con bacterias benéficas)

		temperatura °C						salinidad ppt						pH						oxigeno disuelto mg/L						amonio mg/L						nitrito mg/L						nitrato mg/L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
semanas	Muestras	tratamientos						tratamientos						tratamientos						tratamientos						tratamientos						tratamientos						tratamientos																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		T0			T1			T0			T1			T0			T1			T0			T1			T0			T1			T0			T1			T0			T1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		réplicas		réplicas	réplicas		réplicas	réplicas		réplicas	réplicas		réplicas	réplicas		réplicas	réplicas		réplicas	réplicas		réplicas	réplicas		réplicas	réplicas		réplicas	réplicas		réplicas	réplicas		réplicas	réplicas		réplicas																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
semana 1	1 e	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	7	7	7	8	8	8	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2ª

Análisis estadísticos de las variables en los grupos tratados (T0 y T1)

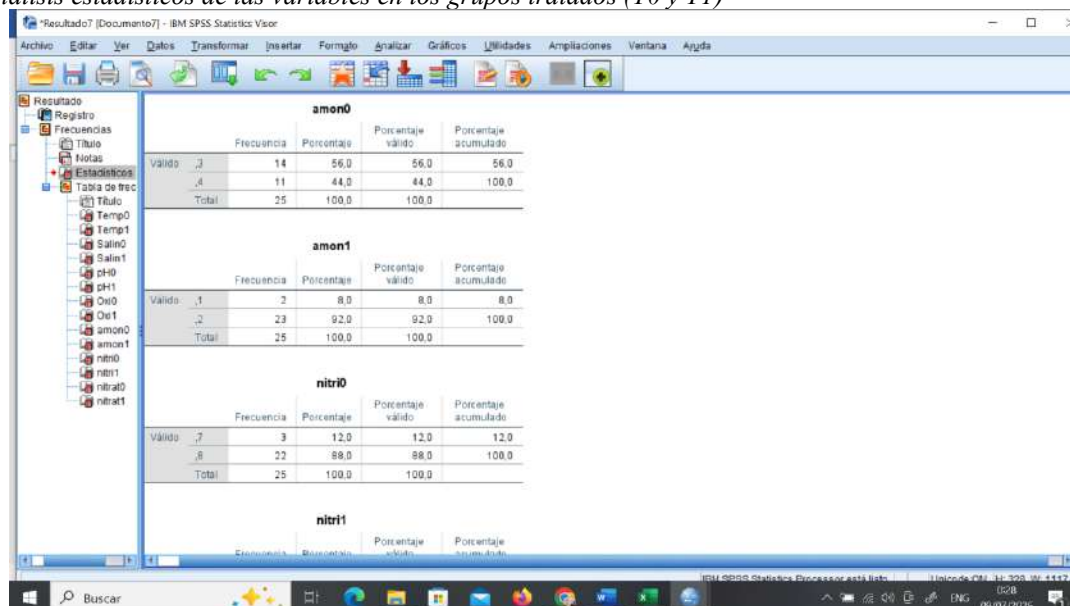


Nota. Autores, (2025)

Se realizó un análisis de estadística descriptiva para resumir el comportamiento de las variables evaluadas mediante el cálculo de las medias aritméticas, medianas, modas, varianzas y desviaciones estándar (Imagen 2b)

Figura 2b

Análisis estadísticos de las variables en los grupos tratados (T0 y T1)



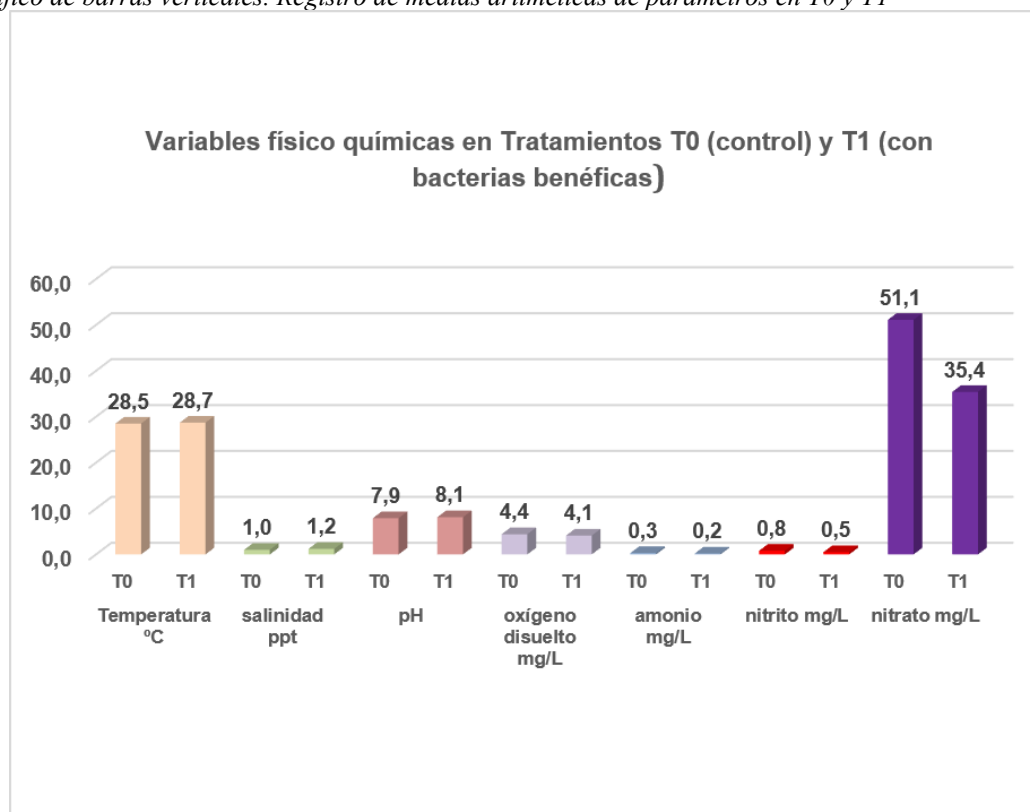
Nota. Autores, (2025)

Las tendencias marcadas en las variaciones de las variables, indican que luego de la inoculación con bacterias benéficas en los cultivos de tilapia, hubo cambios en los valores, que influyeron sobre la modulación en los niveles de los parámetros evaluados, lo que favoreció en gran medida en la reducción de agentes tóxicos en el medio acuático, como se puede evidenciar en la figura representativa.

Así fueron representados los promedios aritméticos de los parámetros físicos químicos y manejo en los tratamientos durante todo el periodo experimental, tanto para el tratamiento sin bacterias benéficas, grupo control T0, como para el tratamiento con bacterias benéficas grupo T1

Figura 3

Gráfico de barras verticales. Registro de medias aritméticas de parámetros en T0 y T1



Nota. Autores, (2025)

Se realizó la prueba de normalidad (Tablas 3 y 4), es decir el análisis estadístico para determinar si los datos de las variables siguen una distribución normal (gaussiana o campana de Gauss). Se procedió a determinar si aplica para una prueba paramétrica o no paramétrica. La primera aplica para determinadas presuposiciones como: 1) normalidad de la distribución de los datos y 2) homogeneidad de la varianza de los datos, es decir grupos homogéneos. Mientras que para la segunda: 1) los datos no tienen presuposiciones y son pruebas de distribución libre.

Para explorar el estudio de normalidad se usó la prueba estadística de Shapiro-Wilk. (Figuras 4 y 5). Antes de ello, se efectuó el planteo de la hipótesis.

Hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal

El nivel de confianza es del 95%, y el de significancia(error) $\alpha = 5\%$

El criterio de decisión es el siguiente:

Si p es menor a 0,05 se rechaza la Ho y se acepta la Ha, si por el caso contrario, es decir $p \geq 0,05$ se acepta la Ho y se rechaza la Ha.

Tabla 3*Resumen de procesamiento de casos*

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
temp0	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
temp1	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
salin0	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
salin1	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
pH0	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
pH1	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
oxig0	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
oxig1	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
amon0	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
amon1	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
nitrit0	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
nitrit1	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
nitrat0	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
nitrat1	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%

Nota. Autores, (2025)

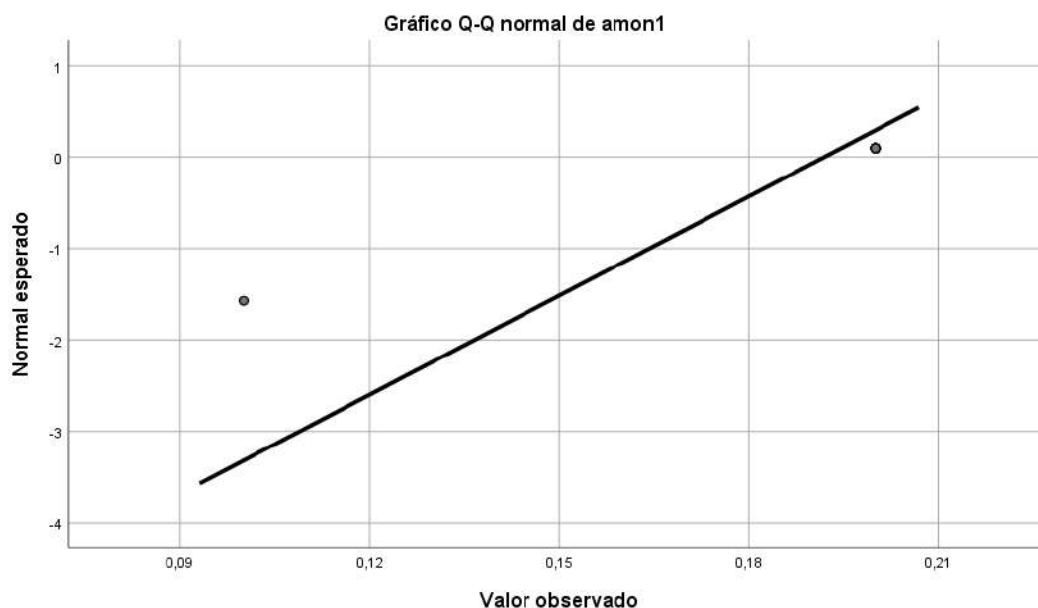
Tabla 4*Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk*

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
temp0	,460	25	,000	,446	25	,000
temp1	,506	25	,000	,445	25	,000
salin0	,534	25	,000	,308	25	,000
salin1	,420	25	,000	,566	25	,000
pH0	,370	25	,000	,687	25	,000
pH1	,429	25	,000	,590	25	,000
oxig0	,377	25	,000	,709	25	,000
oxig1	,369	25	,000	,706	25	,000
amon0	,367	25	,000	,634	25	,000
amon1	,534	25	,000	,308	25	,000
nitrit0	,521	25	,000	,384	25	,000
nitrit1	,521	25	,000	,384	25	,000
nitrat0	,212	25	,005	,883	25	,008
nitrat1	,261	25	,000	,826	25	,001

Nota. Autores, (2025)

Figura 4

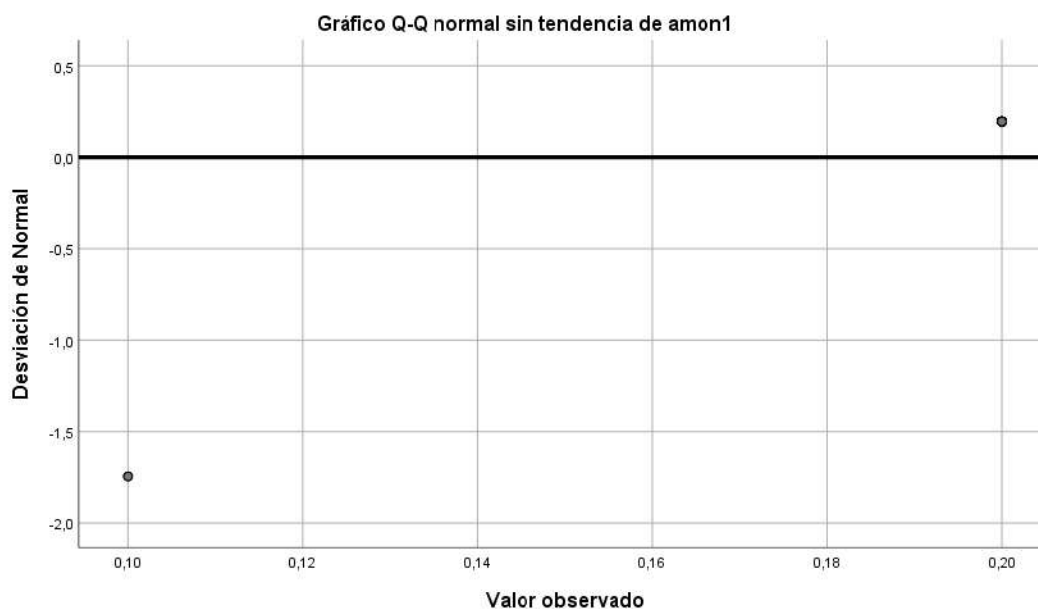
Trayectoria de recta normal esperada: amonio. Shapiro - Wilk



Nota. Autores, (2025)

Figura 5

Trayectoria de recta con valores observados: amonio. Shapiro – Wilk



Nota. Autores, (2025)

El criterio de decisión es el siguiente:

p es menor a 0,05, se rechaza la H_0 y por lo tanto se acepta la H_a . Es decir, los datos no tienen una distribución normal y, por ende, se conecta a un tipo de Estadística No Paramétrica.

Sabiendo esto, el modelo adecuado a realizar es la Correlación estadística de Spearman (figura 6), cuyo símbolo es rho (ρ) que analiza el grado de asociación entre las variables del cultivo estudiado.

Para esto se efectúa nuevamente el planteo de la hipótesis.

Para cada coeficiente obtenido se puede realizar el siguiente contraste de hipótesis, para determinar si el coeficiente es igual a cero.

Entonces se tiene lo siguiente:

$H_0: \rho = 0$ (No existe correlación)

$H_a: \rho \neq 0$ (Si existe correlación)

Además de esto se analiza la significancia de esta relación, en caso este presente, con un nivel de confianza del 95%. El nivel de significancia(error) $\alpha = 5\%$.

El criterio de decisión es el siguiente:

Si ρ es menor a 0,05 se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , si por el caso contrario, es decir $\rho \geq 0,05$ se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .

La correlación estadística de Spearman genera rangos de intensidad (Tabla 5), de la siguiente manera:

Tabla 5

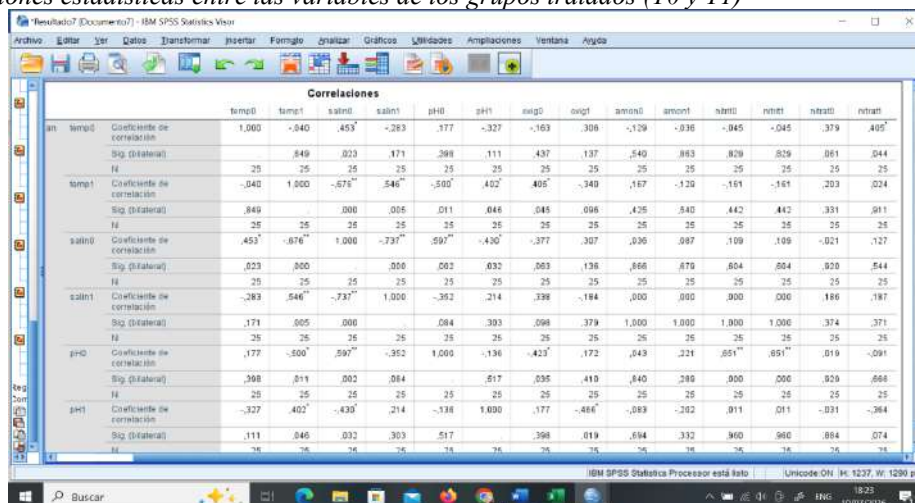
Interpretación de valores Correlación de Spearman

Rho (ρ)	Relación	Correlación estadística
0	No existe	Nula
$0,00 < \rho \leq 0,20$	Muy poco intensa	Muy baja
$0,20 < \rho \leq 0,40$	Pequeña	Baja
$0,40 < \rho \leq 0,60$	Considerable	Regular
$0,60 < \rho \leq 0,80$	Intensa	Alta
$0,80 < \rho \leq 1,00$	Muy intensa	Muy alta

Nota. Autores, (2025)

Figura 6

Correlaciones estadísticas entre las variables de los grupos tratados (T0 y T1)



Nota. Autores, (2025)

Tabla 6

Nivel de intensidad de correlación entre las variables

Rho de Spearman			temp0	temp1	salin0	salin1	pH0	pH1	oxig0	oxig1	amon0	amon1	nitrit0	nitrit1	nitrat0	nitrat1
	temp0	Coefficiente de correlación	1,000	-0,040	,453*	-0,283	0,177	-0,327	-0,163	0,306	-0,129	-0,036	-0,045	-0,045	0,379	,405*
		Sig. (bilateral)		0,849	0,023	0,171	0,398	0,111	0,437	0,137	0,540	0,863	0,829	0,829	0,061	0,044
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	temp1	Coefficiente de correlación	-0,040	1,000	-,676**	,546**	-,500*	,402*	,405*	-0,340	0,167	-0,129	-0,161	-0,161	0,203	0,024
		Sig. (bilateral)	0,849		0,000	0,005	0,011	0,046	0,045	0,096	0,425	0,540	0,442	0,442	0,331	0,911
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	salin0	Coefficiente de correlación	,453*	-,676**	1,000	-,737**	,597**	-,430*	-0,377	0,307	0,036	0,087	0,109	0,109	-0,021	0,127
		Sig. (bilateral)	0,023	0,000		0,000	0,002	0,032	0,063	0,136	0,866	0,679	0,604	0,604	0,920	0,544
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	salin1	Coefficiente de correlación	-0,283	,546**	-,737**	1,000	-0,352	0,214	0,338	-0,184	0,000	0,000	0,000	0,000	0,186	0,187
		Sig. (bilateral)	0,171	0,005	0,000		0,084	0,303	0,098	0,379	1,000	1,000	1,000	1,000	0,374	0,371
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	pH0	Coefficiente de correlación	0,177	-,500*	,597**	-0,352	1,000	-0,136	-,423*	0,172	0,043	0,221	,651**	,651**	0,019	-0,091
		Sig. (bilateral)	0,398	0,011	0,002	0,084		0,517	0,035	0,410	0,840	0,289	0,000	0,000	0,929	0,666
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	pH1	Coefficiente de correlación	-0,327	,402*	-,430*	0,214	-0,136	1,000	0,177	-,466*	-0,083	-0,202	0,011	0,011	-0,031	-0,364
		Sig. (bilateral)	0,111	0,046	0,032	0,303	0,517		0,398	0,019	0,694	0,332	0,960	0,960	0,884	0,074
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	oxig0	Coefficiente de correlación	-0,163	,405*	-0,377	0,338	-,423*	0,177	1,000	-0,274	0,013	0,170	-0,030	-0,030	-0,019	0,221
		Sig. (bilateral)	0,437	0,045	0,063	0,098	0,035	0,398		0,186	0,950	0,416	0,885	0,885	0,930	0,289
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	oxig1	Coefficiente de correlación	0,306	-0,340	0,307	-0,184	0,172	-,466*	-0,274	1,000	0,032	0,236	0,069	0,069	0,258	0,260
		Sig. (bilateral)	0,137	0,096	0,136	0,379	0,410	0,019	0,186		0,878	0,257	0,743	0,743	0,213	0,209
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	amon0	Coefficiente de correlación	-0,129	0,167	0,036	0,000	0,043	-0,083	0,013	0,032	1,000	0,261	0,079	0,079	-0,063	-0,139
		Sig. (bilateral)	0,540	0,425	0,866	1,000	0,840	0,694	0,950	0,878		0,207	0,706	0,706	0,764	0,507
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	amon1	Coefficiente de correlación	-0,036	-0,129	0,087	0,000	0,221	-0,202	0,170	0,236	0,261	1,000	0,345	0,345	0,021	-0,106
		Sig. (bilateral)	0,863	0,540	0,679	1,000	0,289	0,332	0,416	0,257	0,207		0,091	0,091	0,920	0,614
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	nitrit0	Coefficiente de correlación	-0,045	-0,161	0,109	0,000	,651**	0,011	-0,030	0,069	0,079	0,345	1,000	1,000**	-0,088	-0,257
		Sig. (bilateral)	0,829	0,442	0,604	1,000	0,000	0,960	0,885	0,743	0,706	0,091			0,676	0,215
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	nitrit1	Coefficiente de correlación	-0,045	-0,161	0,109	0,000	,651**	0,011	-0,030	0,069	0,079	0,345	1,000**	1,000	-0,088	-0,257
		Sig. (bilateral)	0,829	0,442	0,604	1,000	0,000	0,960	0,885	0,743	0,706	0,091			0,676	0,215
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	nitrat0	Coefficiente de correlación	0,379	0,203	-0,021	0,186	0,019	-0,031	-0,019	0,258	-0,063	0,021	-0,088	-0,088	1,000	,480*
		Sig. (bilateral)	0,061	0,331	0,920	0,374	0,929	0,884	0,930	0,213	0,764	0,920	0,676	0,676		0,015
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	nitrat1	Coefficiente de correlación	,405*	0,024	0,127	0,187	-0,091	-0,364	0,221	0,260	-0,139	-0,106	-0,257	-0,257	,480*	1,000
		Sig. (bilateral)	0,044	0,911	0,544	0,371	0,666	0,074	0,289	0,209	0,507	0,614	0,215	0,215	0,015	
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota. Autores, (2025)

Así se procede luego a analizar los resultados de la tabla (Tabla 6), para ello se extrae un valor relevante, como el siguiente:

Tabla 7

Correlación de Spearman entre nitrato 0 - nitrato 1

nitrato 0 - nitrato 1	rho (ρ)	p	N
	0,480	0,015	25

Nota. Autores, (2025)

Así p (0,015) es menor a 0,05, por ende, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a . Sabiendo que la H_a $\rho \neq 0$ (Si existe correlación).

Como $p = 0,015 < 0,05$, por lo tanto, existe relación significativa entre nitrato 0 y nitrato 1. Esta relación es directa, considerable, es decir a mayor nitrato 0, aumenta el nitrato 1, además la correlación estadística es regular ($=0,480$).

De igual modo, se tiene otra relación relevante dentro de la tabla de resultados, como es el caso de la temperatura vs el pH y es la siguiente:

Tabla 8

Correlación de Spearman entre temperatura 1 - pH 0

temperatura 1 - pH 0	rho (ρ)	p	N
	-0,500	0,011	25

Nota. Autores, (2025)

Para este otro caso, p (0,011) es menor a 0,05, por ende, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a . Sabiendo que la H_a $\rho \neq 0$ (Si existe correlación).

Como $p = 0,011 < 0,05$, por lo tanto, existe relación significativa entre temperatura 1 y pH 0. Esta relación en cambio es indirecta, considerable, es decir a mayor temperatura, el pH disminuye y viceversa, además la correlación estadística es regular ($=0,500$).

Por otra parte, también se registraron actividades de manejo de los cultivos como el sifoneo de sedimentos en el fondo, así como porcentajes de renovación de agua o recambio, además de las variables físicas, químicas y biológicas ya descritas anteriormente. Las mismas fueron tabuladas en cuadros de datos. Un resumen de los valores promedios se puede apreciar en la Tabla 9.

Tabla 9*Parámetros físicos químicos y manejo en los tratamientos T0 y T*

Parámetros físicos químicos y manejo	Rango óptimo	Valores Promedio	Valores Promedio	Unidad
		Tratamiento T0	Tratamiento T1	
Temperatura	26 – 30	28,5	28,7	°C
Salinidad	0 - 12	1	1,2	ppt
Potencial Hidrógeno	6.5 - 8.5	7,9	8,1	pH
Renovación de agua	5 – 20	15	5	% semanal
Porcentaje de Sifoneo	10 – 20	10	15	% semanal
Oxígeno Disuelto	4.0 - 7.0	4,4	4,1	mg/L
Amonio	0.05 - 0.2	0,3	0,2	mg/L
Nitrito	0.1 – 0.5	0,8	0,5	mg/L
Nitrato	40 – 70	51,1	35,4	mg/L

Nota. Autores, (2025)

Entre las variables biológicas observadas más relevantes de las tilapias cultivadas, pueden describirse: coloración corporal, forma del nado, comportamiento del animal frente al aporte de alimentos, presencia de lesiones externas, periodos de estrés, pudiendo ellos realizar saltos fuera del agua, hasta salir incluso de las unidades de cultivo y así mismo, se determinó también la tasa de conversión alimenticia, en base a la biomasa analizada.

Se realizaron revisiones de las características en los peces, en los dos tratamientos T0 y T1, justamente para detectar diferencias y hacer las comparaciones respectivas. Estos resultados fueron registrados y tabulados en las hojas de control y se observan claramente en la tabla correspondiente. (tabla 10).

Tabla 10*Variables biológicas de Oreochromis sp en los tratamientos T0 y T1*

Indicadores Biológicos	Tratamiento T0	Tratamiento T1
Coloración corporal	Pálida	Intensa, brillante
Nado	Lento, errático	Activo, constante
Comportamiento alimenticio	Bajo consumo	Aumento en consumo
Presencia de lesiones externas	Frecuente	Muy reducida
Período de estrés	Inquieto, alterado	Relajado, estable
Tasa de conversión alimenticia	2.1	1.5
Indicadores Biológicos	Tratamiento T0	Tratamiento T1
Coloración corporal	Pálida	Intensa, brillante
Nado	Lento, errático	Activo, constante
Comportamiento alimenticio	Bajo consumo	Aumento en consumo
Presencia de lesiones externas	Frecuente	Muy reducida
Período de estrés	Inquieto, alterado	Relajado, estable
Tasa de conversión alimenticia	2.1	1.5

Nota. Autores, (2025)

Discusión

En la presente investigación, el tratamiento con bacterias benéficas permitió mantener condiciones fisicoquímicas estables y reducir la concentración de metabolitos nitrogenados, observándose además relaciones significativas entre algunas variables ambientales. La correlación negativa entre temperatura₁ y pH₀ ($\rho = -0,500$; $p = 0,011$), así como la correlación positiva entre nitrato₀ y nitrato₁ ($\rho = 0,480$; $p = 0,015$), evidencian la estabilidad del sistema durante el ensayo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Naiel et al. (2022), quienes cultivaron *Oreochromis niloticus* durante 70 días utilizando *Bacillus toyonensis* y *Geobacillus stearothermophilus* en concentraciones de 1×10^5 y 2×10^5 UFC/ml aplicados directamente al agua. Los autores reportaron una disminución significativa del amoníaco no ionizado (NH₃) ($p < 0,05$), así como mejoras significativas en el crecimiento, la conversión alimenticia, la actividad antioxidante y la respuesta inmune, manteniendo temperatura, oxígeno disuelto y pH dentro de los rangos adecuados para el cultivo. Aunque en el presente estudio se empleó una combinación diferente de microorganismos (*Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum* y *Saccharomyces kudriavzevii*), ambos trabajos coinciden en demostrar que la aplicación de probióticos mejora la calidad del agua y favorece la estabilidad del ecosistema acuático.

En el presente trabajo se observó que el tratamiento con bacterias benéficas permitió mantener una mayor estabilidad de los parámetros fisicoquímicos del agua, evidenciada por la correlación positiva entre nitrato₀ y nitrato₁ ($\rho = 0,480$; $p = 0,015$) y la correlación negativa entre temperatura₁ y pH₀ ($\rho = -0,500$; $p = 0,011$). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Mohammadi et al. , quienes evaluaron *Oreochromis niloticus* durante 112 días en sistemas biofloc utilizando una cepa simple de *Lactobacillus plantarum* y una mezcla de *Bacillus subtilis*, *L. plantarum*, *L. rhamnosus*, *L. acidophilus* y *L. delbrueckii*. Los autores reportaron una reducción significativa ($p < 0,05$) del nitrógeno amoniacal total (TAN), amoníaco no ionizado (NH₃) y nitrito (NO₂⁻), junto con mejoras del oxígeno disuelto, pH y supervivencia de los peces. Asimismo, el tratamiento multicepa produjo mejores resultados que el tratamiento con una sola cepa, confirmando que la combinación de microorganismos benéficos favorece la estabilidad del agua y el rendimiento productivo, comportamiento similar al observado en el presente estudio.

Según Abdel-Rahim et al. , registraron una disminución aproximada del 70% de amonio con los productos AquaStar® y EM® y cerca del 55% con MicroPan®, además de mejoras significativas en el crecimiento de los peces, inoculando cepas de $2,5 \times 10^8$ u.f.c/g. Aunque las reducciones del 44% de amonio y 38% de nitrito obtenidas en esta investigación fueron inferiores a las alcanzadas por dichos estudios anteriores, muy posiblemente estas diferencias pueden atribuirse a la composición del compuesto microbiano empleado y más puntualmente a la concentración inicial del inoculante, pues mientras en la investigación hecha publicada en el año 2022 se inició con $2,5 \times 10^8$ u.f.c, en el estudio actual fue de 1×10^6 u.f.c. y por ello se justifica tal diferencia.

Así también, Liao et al. emplearon una preparación de *Bacillus subtilis* SM 32315 con una concentración de 1×10^8 u.f.c/g, demostrando una mayor tolerancia al estrés por amonio y un incremento significativo del crecimiento y de la capacidad antioxidante de

los peces frente al grupo control, lo cual se asemeja a los resultados obtenidos en el presente estudio, una vez alcanzada la colonización de los microorganismos al final del estudio experimental.

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidenciaron que la aplicación de bacterias benéficas favoreció la estabilidad de los parámetros físicoquímicos del agua y contribuyó a mejorar el ambiente de cultivo de *Oreochromis sp.*, reflejado en las correlaciones significativas encontradas entre temperatura, pH y nitrato. Estos resultados son comparables con los obtenidos por Noshair et al. (2023), quienes evaluaron durante 90 días la suplementación de *Lactobacillus rhamnosus* en la dieta de *Oreochromis niloticus* utilizando cuatro niveles (0; $0,5 \times 10^8$; 1×10^8 y $1,5 \times 10^8$ UFC/kg de alimento). Los autores determinaron que el tratamiento de 1×10^8 UFC/kg presentó los mejores resultados, registrando incrementos significativos ($p < 0,05$) en el peso final, la ganancia de peso, la tasa específica de crecimiento (SGR), la eficiencia alimenticia y la supervivencia, además de una mayor resistencia frente a *Aeromonas hydrophila*. Aunque el presente estudio empleó una combinación de *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum* y *Saccharomyces kudriavzevii*, ambos trabajos coinciden en demostrar que la utilización de probióticos mejora el equilibrio biológico del cultivo y favorece el desempeño productivo de las especies de *Oreochromis*.

Conclusiones

Los resultados obtenidos mediante el análisis de correlación de Spearman evidenciaron que la aplicación de microorganismos benéficos influyó favorablemente en la dinámica de los parámetros físicoquímicos del agua durante el cultivo de *Oreochromis sp.* Se identificaron relaciones estadísticamente significativas entre variables clave del sistema, destacándose la correlación positiva entre nitrato inicial y nitrato final ($\rho = 0,480$; $p = 0,015$), indicando una tendencia de comportamiento estable de este compuesto durante el periodo experimental, mientras que la relación inversa entre temperatura final y pH inicial ($\rho = -0,500$; $p = 0,011$) evidencia la interacción natural entre las variables ambientales del sistema acuático. Estos resultados demuestran que el tratamiento con bacterias benéficas permitió mantener condiciones ambientales más equilibradas, reduciendo la variabilidad de los parámetros evaluados y favoreciendo un ambiente adecuado para el desarrollo de los peces.

La aplicación del consorcio microbiano compuesto por *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum* y *Saccharomyces kudriavzevii* contribuyó significativamente al mejoramiento de la calidad del agua mediante la regulación de los compuestos nitrogenados. El grupo de Tratamiento 1 (con bacterias benéficas) presentó menor acumulación de compuestos nitrogenados, observándose: 1) reducción del amonio del 0,344 a 0,192 mg/L (es decir una reducción aproximada del 44%); 2) reducción del nitrito del 0,788 a 0,488 mg/L (cerca de un 38% menor) y, 3) una disminución del nitrato de 51,124 a 35,388 mg/L (aproximadamente una reducción del 30%).

Esta reducción demuestra la capacidad de los microorganismos empleados para favorecer los procesos de transformación del nitrógeno, posiblemente mediante mecanismos de nitrificación, asimilación bacteriana y aprovechamiento de compuestos orgánicos,

reduciendo la acumulación de metabolitos potencialmente tóxicos para los organismos cultivados.

En cuanto al oxígeno disuelto, el tratamiento T1 presentó valores ligeramente menores respecto al control, disminuyendo de 4,43 mg/L a 4,16 mg/L, equivalente a una reducción del 6,1 %. Este comportamiento puede explicarse debido a que la actividad metabólica de las bacterias benéficas incrementa la demanda bioquímica de oxígeno durante los procesos de degradación de materia orgánica y transformación de compuestos nitrogenados. Sin embargo, los valores registrados permanecieron dentro de rangos adecuados para el cultivo de tilapia, donde concentraciones superiores a 4 mg/L permiten mantener condiciones favorables para el crecimiento y metabolismo de los peces.

El pH presentó un incremento de 7,90 a 8,06, equivalente a un aumento del 2,0 %, manteniéndose dentro del rango recomendado para el cultivo de *Oreochromis sp.*. Este ligero incremento puede estar relacionado con una mayor actividad fotosintética y microbiológica dentro del sistema, favoreciendo una condición alcalina estable necesaria para los procesos de nitrificación.

La temperatura mostró una variación mínima entre tratamientos (28,50 °C en T0 y 28,68 °C en T1), representando solamente un incremento del 0,63 %, lo que indica que ambos tratamientos estuvieron sometidos a condiciones térmicas homogéneas y que las diferencias observadas en los parámetros nitrogenados no estuvieron influenciadas por cambios importantes de temperatura.

En relación con el objetivo de evaluar la eficiencia de los microorganismos benéficos sobre el cultivo de *Oreochromis sp.*, los resultados permiten concluir que la aplicación de probióticos representa una estrategia biotecnológica sostenible para mejorar la interacción microorganismo–ambiente–organismo cultivado. La acción combinada de *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum* y *Saccharomyces kudriavzevii* favoreció el establecimiento de una comunidad microbiana beneficiosa, contribuyendo al mantenimiento de parámetros adecuados de calidad del agua y proporcionando mejores condiciones fisiológicas para los peces.

Finalmente, la investigación demuestra que la incorporación de tecnologías biológicas basadas en microorganismos benéficos constituye una alternativa sostenible para optimizar los sistemas de producción de *Oreochromis sp.*, debido a su capacidad para mejorar la calidad del agua, reducir la acumulación de compuestos nitrogenados y favorecer un ambiente acuático más estable. En consecuencia, el uso de probióticos puede ser considerado una herramienta eficiente dentro de los modelos de acuicultura sostenible, permitiendo disminuir los impactos ambientales asociados a la intensificación productiva y fortaleciendo la eficiencia del cultivo.

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento al Instituto Tecnológico TECNO ECUATORIANO, a sus directivos, administradores, cuerpo de docentes e investigadores, que cada día dan lo mejor de sí y transmiten ese espíritu de transformación educacional, en aras de formar profesionales responsables, dedicados, competentes, con ética y alta calidad moral, que ayuden a solucionar los problemas del entorno y la sociedad.

G. V. V.

Referencias

- Abdel-Rahim, M. M. (2022). The effects of some commercial probiotics as water additive on water quality, fish performance, blood biochemical parameters, expression of growth and immune-related genes, and histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Elsevier*.
- Akhter, N. W. (2015). Probiotics and Prebiotics Associated with Aquaculture: A Review. *Fish & Shellfish Immunology*.
- Banerjee, G. &. (2017). The advancement of probiotics research and its application in fish farming industries. *Research in Veterinary Science. Editorial Elsevier*.
- Chauhan, A. &. (2019). *Probiotics in aquaculture : a promising tool for sustainable*
- Hai, N. (2015). *The use of probiotics in aquaculture*. Journal of Applied Microbiology.
- Hernández, R. . (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Huavas, e. a. (2024). Microbiomes of Tilapia Culture Systems: Composition, Affecting Factors, and Future Perspectives. *Aquaculture Research (Wiley)*.
- Liao, & al, e. (2023). Effects of dietary supplementation of *Bacillus subtilis* DSM 32315 on growth, immune response and acute ammonia stress tolerance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with high or low protein diets. *Animal Nutrition Elsevier*.
- Lubis, e. a. (2024). Review of Quorum-Quenching Probiotics: A Promising Non/Antibiotic/Based Strategy for Sustainable Aquaculture. *Journal of Fish Diseases*.
- Melo J., F. B. (2019). Trabajos sobre probióticos en tilapia y exclusión competitiva. *Publicaciones en revistas de acuicultura*.
- Mohammadi, G. R.-L. (2021). The enrichment of diet with beneficial bacteria (single- or multi-strain) in biofloc system enhanced the water quality, growth performance, immune responses, and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture. Elsevier*.
- Mohapatra, e. a. (2013). *Aquaculture and stress management: a review of probiotic mechanisms*. *Revistas internacionales de Acuicultura*.
- Mugwanya, D. K. (2022). Updating the Role of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics for Tilapia Aquaculture as Leading Candidates for Food Sustainability A Review.
- Naiel, M. A. (2022). Administration of Some Probiotic Strains in the Rearing Water Enhances the Water Quality, Performance, Body Chemical Analysis, Antioxidant and Immune Responses of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Applied Water Science. Springer Nature*.
- Oliveira, B. P. (2025). Evaluation of Probiotic Effects on the Growth Performance and Microbiome of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a High- Density Biofloc System. *Aquaculture Nutrition. John Wiley & Sons*.
- Pérez T., e. a. (2014). Estudios sobre mecanismos de acción de probióticos en acuicultura. *Revistas de microbiología y acuicultura*.
- Rahman, e. a. (2024). Probiotics and Parabiotics in Aquaculture: A Sustainable Strategy for Enhancing Fish Growth, Health and Disease Prevention - A Review. *Frontiers in Marine Science*.

- Rivera Barrero, C. A., & Saltaren García, L. (2021). *Manual de buenas prácticas acuícolas y de manufactura: (1 ed.)* . Sello Editorial Universidad del Tolima .
- Tachibana, L. e. (2021). Bacillus subtilis and Bacillus licheniformis in Diets for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): Effects on Growth Performance, Gut Microbiota Modulation and Innate Immunology. *Aquaculture Research Wiley*.
- Vásquez Conde, R. (2015). *Ecología y medio ambiente (2a ed.)*. Grupo Editorial Patria.
- Vijayaram, e. a. (2024). Bacillus sp. as Potential Probiotics for use in Tilapia Fish Farming Aquaculture - A Review. *Annals of Animal Science (Sciendo)*.
- Vulla, M. N. (2024). Unlocking Potential Benefits on Applications in Inland Aquaculture Industry: A Review. *Aquaculture, Fish and Fisheries (Wiley)*.
- Won, S. H. (2020). Effects of Bacillus subtilis WB60 and Lactococcus lactis on Growth, Immune responses, Histology and Gene Expression in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) . *Microorganismos MDPI*.
- Yu, H. e. (2025). Dietary Supplementation of Bacillus subtilis as Probiotic Influenced the Growth Performance , Hematological Parameters, Immune Function, Antioxidant Status, and Digestive Enzyme Activity of Nile Tilapia Fingerlings (*Oreochromis niloticus*) . *Animals MDPI*.
- Zorriehzahra, M. a. (1016). *Probiotics as beneficial microbes in aquaculture: an update on their multiple modes of action: a review*. Taylor & Francis.

Regeneración ambiental de aguas residuales en cultivos de camarón mediante tecnologías sostenibles

Environmental regeneration of wastewater in shrimp farms using sustainable technologies

 Galo Omar Valarezo Villacrés

Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano
Magister en Ciencias mención en Manejo Sustentable de Recursos
Bioacuáticos

 Ginger Katherine Floreano Lindao

Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano

 Rubén Bolívar Mateo Mateo

Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano

 Verónica Elizabeth Mera Cifuentes

Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano

 Eleazar Lenin Bajiña Canelos

Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano

 Luis Felipe Catuto Guale

Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano

 Nayeli Epifanía Suarez Pozo

Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano

Resumen:

El manejo ineficiente e insostenible de las aguas residuales generadas en los cultivos del camarón *Litopenaeus vannamei* provoca un impacto ambiental significativo. La falta de tratamientos adecuados para estos efluentes conlleva a la acumulación de desechos sólidos. La ausencia de estrategias efectivas para mitigar estos efectos limita el desarrollo de tecnologías regenerativas y sostenibles en acuicultura. El objetivo fue evaluar la eficacia de las bacterias benéficas en los cultivos de camarones, su aporte en el tratamiento de los efluentes generados y su reutilización como nutriente de otros organismos acuáticos. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio del ISTTE, utilizando el método cuasi-experimental, tinajas circulares de 300 L, acuarios de vidrio de 50 L, aireación constante, ejemplares de camarón, de ostras *Crassostrea gigas*, que aprovecharon las descargas orgánicas de los crustáceos, además de alimentos balanceados y un stock de bacterias probióticas, durante un periodo de 100 días. La interacción de *Thalassiosira* sp. junto a los bivalvos, permitió conformar un sistema integrado de biorremediación que favoreció la remoción de nutrientes y el mejoramiento de la calidad del agua residual. El nitrato bajó así un 57,3%, el nitrito bajó un 35,4%, el amonio bajó un 35,2%. El estudio demostró ser una solución innovadora y sostenible, aplicando conocimientos interdisciplinarios de biología, acuicultura y economía circular. El uso de bacterias benéficas y su interacción con los organismos del medio acuático coadyuvaron al equilibrio y sostenibilidad de los efluentes, permitiendo su reutilización en medios requeridos por otros organismos como las ostras, que son filtradores por naturaleza.

Palabras clave: Algas, efluentes, filtración, nutrientes, ostras.

Abstract:

Sustainable The inefficient and unsustainable management of wastewater generated from *Litopenaeus vannamei* shrimp farming causes a significant environmental impact. The lack of adequate treatment for these effluents leads to the accumulation of solid waste. The lack of effective strategies to mitigate these effects limits the development of regenerative and sustainable technologies in Aquaculture. The objective was to evaluate the efficacy of beneficial bacteria in shrimp cultures, their contribution to the treatment of generated effluents, and their reuse as a nutrient source for other aquatic organisms. The trials were conducted at the ISTTE laboratory using a quasi-experimental design, 300 L circular tanks, and 50 L glass aquaria with constant aeration; the setup utilized shrimp and *Crassostrea gigas* oysters which utilized the crustaceans organic waste, along with balanced feed and a stock of probiotic bacteria, over a 100-day period. The interaction between *Thalassiosira* sp. and bivalves enabled the formation of an integrated bioremediation system that facilitated nutrient removal and improved wastewater quality. Thus, nitrate decreased by 57.3%, nitrite by 35.4%, and ammonium by 35.2%. The study proved to be an innovative and sustainable solution, applying interdisciplinary knowledge from biology, aquaculture, and the circular economy. The use of beneficial bacteria and their interaction with aquatic organisms contributed to the balance and sustainability of the effluents, enabling their reuse in environments required by other organisms such as oysters, which are natural filter feeders.

Keywords: Algae, effluents, filtration, nutrients, oysters.

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

Las especies animales poseen una gran variedad de organismos que forman numerosas comunidades y habitan en diferentes hábitats, muy particularmente en la cavidad digestiva, estos conforman un microbiota normal que no causa perjuicios al hospedador y tienen mucha participación en los procesos digestivos de los hospederos, cumplen una función protectora, al bloquear la colonización de agentes patógenos y mejorar su sistema inmunológico.

El desarrollo de la acuicultura ha generado muchos beneficios en distintas regiones del mundo, sin embargo, es importante que vaya de la mano con el uso de buenas prácticas de manejo para eludir la degradación de los ecosistemas naturales .

Por eso es imperativo tratar las aguas de efluentes y con ello surge la necesidad de poder reutilizar estas aguas y más aún poder contar con filtros biológicos naturales, como es el caso de ciertas especies acuícolas, como es el caso de moluscos bivalvos, que podrían aprovechar los desperdicios y de esa forma desarrollar un acuicultura más sostenible y amigable con el ambiente.

Excretas de los organismos como excrementos, compuestos orgánicos nitrogenados y sustancias de desecho, son desintegradas por la actividad enzimática de muchos descomponedores como las bacterias y los hongos, que a través de la respiración las modifican en compuestos más simples muy oxidados de los que ya no se podría obtener energía utilizable para los seres vivos. Pero estos compuestos pueden ser asimilados nuevamente por el fitoplancton y a través de los procesos fotosintéticos estructurar complejos moleculares y de esta forma reciclar la materia..

Los autores estudiaron el microbiota digestivo del camarón *Penaeus vannamei* y de la ostra *Crassostrea gigas* cultivados conjuntamente en un sistema IMTA. Observaron que el cocultivo modificó favorablemente las comunidades bacterianas intestinales de ambas especies y redujo la abundancia relativa de bacterias del grupo Vibrionaceae, asociado con enfermedades en acuicultura. Los resultados indican que la integración de ostras no solo favorece la reutilización de nutrientes, sino que también mejora el equilibrio microbiológico del sistema y la sanidad de los organismos cultivados.

En otros estudios desarrollaron un modelo para evaluar la capacidad de carga de estanques de camarón utilizando técnicas integradas de biorremediación. El sistema combinó *Litopenaeus vannamei*, la ostra *Crassostrea gigas*, la macroalga *Gracilaria lemaneiformis* y biofiltros. Concluyeron que esta integración favorece un ciclo de producción sostenible, reduce la acumulación de nitrógeno y optimiza el equilibrio ecológico del sistema. Además, propusieron una biomasa óptima de ostras y macroalgas para maximizar tanto el rendimiento productivo como la recuperación ambiental.

Muchas actividades antrópicas como la acuicultura, agricultura, etc., crean un gran desarrollo e ingresos económicos muy importantes, pero también pueden ocasionar un impacto negativo, modificando de cierta manera los ecosistemas y recursos naturales. Para el caso concreto en los cultivos acuáticos, estos podrían causar efectos devastadores, resultar en una alteración, generando sustancias de desecho en los efluentes, contaminación ambiental, pérdida de la biodiversidad y desencadenar en una extrema eutrofización de acuerdo a mala gestión realizada. En estos residuales están presentes

muchas descargas de compuestos nitrogenados que no podrían ser desnitrificados a tiempo por los procesos naturales, desembocando en aguas continentales y el mar, contaminar acueductos subterráneos que podrían ser utilizados por los seres humanos .

El cuidado del medioambiente y la razón de la sostenibilidad en el desarrollo de los procesos de producción amigables, otorga mucha relevancia a temas del cuidado de la salud, bienestar social y la inserción de tecnologías de producción limpia, cumplimiento de la legislación ambiental y la difusión de las buenas prácticas, para obtener un mejor proceso comunicacional con la colectividad .

En ciertas investigaciones evaluaron el uso de la ostra *Crassostrea gasar* dentro de un sistema IMTA asociado al cultivo de *Litopenaeus vannamei* con tecnología biofloc. Determinaron que la ostra tiene capacidad para consumir partículas del biofloc y modificar la comunidad microbiana del sistema, especialmente mediante la reducción de microorganismos suspendidos y organismos planctónicos. El estudio demuestra que los moluscos filtradores pueden integrarse como organismos extractivos para aprovechar nutrientes generados por el cultivo de camarón y mejorar la sostenibilidad del sistema.

Existen otros estudios que evaluaron diferentes densidades de ostras dentro de un sistema multitrófico con camarón y biofloc. Los investigadores encontraron que la presencia de ostras favoreció el mantenimiento de la calidad del agua mediante la reducción de sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables. Además, demostraron que los moluscos pueden aprovechar componentes del biofloc como fuente alimenticia, reduciendo la acumulación de materia orgánica en el sistema.

En un estudio experimental, los autores desarrollaron un sistema integrado con bivalvos y macroalgas para tratar efluentes de camarón. Obtuvieron remociones aproximadas del 90 % de amonio (NH_4^+), 86 % de fósforo total, 73 % de nitrógeno total y 52 % de nitrato, demostrando que la combinación de moluscos y macroalgas incrementa significativamente la eficiencia de depuración respecto al uso de un solo organismo.

Existen aportes de investigadores que evaluaron un sistema multitrófico con recirculación, cámara de sedimentación y cultivo conjunto de *Crassostrea* sp. con *Litopenaeus vannamei*. Los tratamientos con ostras presentaron menores concentraciones de sólidos sedimentables que el monocultivo, demostrando que la integración de bivalvos mejora la calidad del agua y favorece una producción más sostenible.

Otros investigadores demostraron que los efluentes de granjas de *Penaeus vannamei* pueden ser aprovechados para el cultivo de *Crassostrea* sp. en un sistema IMTA. Las ostras mostraron un crecimiento significativamente mayor cuando utilizaron los nutrientes presentes en los efluentes, evidenciando que estos residuos pueden convertirse en un recurso productivo mediante una estrategia de economía circular.

El efecto de los bivalvos sobre la calidad del agua y la estructura bacteriana en un sistema IMTA es relevante, así unos investigadores encontraron que las zonas con cultivo de moluscos presentaron menores concentraciones de amonio y nitrito, mayor oxígeno disuelto y mayor presencia de bacterias relacionadas con procesos de nitrificación y desnitrificación. El estudio demuestra que los bivalvos no solamente actúan como filtros físicos, sino que modifican positivamente la microbiología del sistema acuícola.

En ciertos estudios, los autores evaluaron un sistema integrado con microalgas y moluscos para recuperar fósforo y disminuir emisiones contaminantes provenientes de

cultivos acuícolas. Encontraron que la integración de organismos filtradores permitió disminuir el fósforo disponible en agua y sedimento, favoreciendo la recuperación de nutrientes en forma de biomasa aprovechable. El trabajo demuestra el potencial de los sistemas multitróficos para transformar residuos acuícolas en recursos mediante procesos naturales.

En estudios anteriores, los autores analizaron soluciones basadas en la naturaleza para el tratamiento de efluentes de camarón. Destacan que los organismos filtradores, incluyendo moluscos, pueden actuar como herramientas ecológicas para disminuir nutrientes y reducir impactos ambientales derivados de la intensificación acuícola. El estudio plantea que la combinación de organismos extractivos y procesos biológicos puede favorecer la transición hacia modelos productivos más sostenibles y compatibles con la conservación ambiental.

Una de las investigaciones mas completas y recientes sobre el tratamiento de efluentes en acuicultura, analiza tecnologías como estanques de sedimentación, humedales, biofloc, organismos filtradores (bivalvos), microalgas y sistemas de recirculación. Concluye que ningún método por sí solo resuelve el problema, pero que la integración de varias tecnologías biológicas permite reducir el nitrógeno y la materia orgánica, favoreciendo la reutilización del agua y la sostenibilidad de la producción acuícola.

El rol de las bacterias benéficas y comunidades microbianas en sistemas biofloc es importante, pues transforman el amonio y el nitrito; degradan la materia orgánica y mejoran la calidad del agua, incrementando además el crecimiento y la supervivencia del camarón. Este trabajo respalda científicamente la incorporación de bacterias benéficas como parte del tratamiento biológico del agua.

Los probióticos no solo mejoran el crecimiento y la inmunidad del camarón, sino que también reducen la acumulación de compuestos nitrogenados y favorecen el equilibrio microbiológico del agua. Esto respalda el uso de bacterias benéficas como herramienta para una acuicultura más sostenible.

En otro estudio de investigación, los autores evaluaron la factibilidad del uso de microalgas para tratar aguas residuales provenientes de sistemas de recirculación de camarón. Determinaron que la incorporación de microalgas reduce significativamente el potencial de eutrofización mediante la captura de nutrientes, como el nitrógeno, el estudio demuestra que los sistemas basados en microalgas pueden ser una alternativa sostenible frente a tratamientos convencionales, además de permitir la recuperación de biomasa con valor agregado.

Los investigadores en otros trabajos, desarrollaron un consorcio de microalgas y bacterias autóctonas para el tratamiento de aguas residuales de camarón. Encontraron reducciones superiores al 90 % en nitrógeno total disuelto y nitrógeno orgánico, además de una eliminación muy elevada de fosfatos. El estudio demuestra que existe una relación simbiótica entre algas y bacterias donde las algas consumen nutrientes y producen oxígeno, mientras que las bacterias degradan materia orgánica y transforman compuestos nitrogenados.

Un trabajo de investigación científica analiza la importancia de las comunidades microbianas en sistemas de cultivo de *Litopenaeus vannamei*. Los autores explican que

las bacterias benéficas participan en procesos de nitrificación, degradación de materia orgánica, control de amonio y nitrito, y exclusión competitiva frente a microorganismos patógenos. Además, resaltan que los microorganismos mejoran la estabilidad del agua y contribuyen a incrementar la supervivencia y productividad del camarón.

Además, ciertos autores analizaron la función ecológica de las microalgas dentro del cultivo de *Penaeus vannamei*. Concluyeron que las microalgas participan en la regulación de la calidad del agua mediante la absorción de amonio, nitrato y fosfatos, además de favorecer la producción de oxígeno y la estabilidad microbiana del sistema. Destacan que las microalgas son un componente fundamental para transformar sistemas intensivos de camarón hacia modelos más sostenibles.

En otro estudio, los investigadores desarrollaron un sistema integrado de microalgas y bacterias para el tratamiento de aguas residuales de camarón. El consorcio biológico logró eliminar más del 99 % del amonio y más del 98 % del nitrito en siete días. Además, observaron mejoras productivas en el cultivo de camarón, demostrando que los sistemas simbióticos entre microorganismos fotosintéticos y bacterias pueden reducir la contaminación y aumentar la eficiencia del cultivo.

La producción del camarón en Ecuador es altamente relevante, representa una actividad estratégica en el desarrollo económico del país, sin embargo, la producción de estos crustáceos enfrenta retos asociados con la degradación de la calidad del agua, acumulación de materia orgánica y la aparición de enfermedades, lo que afecta directamente a la productividad del recurso y aumenta los costos de producción.

En este sentido evaluar la utilización de bacterias benéficas como una opción biotecnológica resulta muy importante, ya que tributa al mejoramiento de la calidad del agua, fortalece la salud de los camarones e impulsa sistemas sostenibles y sustentables más responsables para la Producción acuícola del país.

El lugar donde se realizó esta investigación, fue en el Laboratorio de Prácticas en la ISTTE, Sede Santa Elena, ubicado en La Libertad, Ecuador, polo de producción de larvas de camarón en América, donde la implementación de sistemas sostenibles resulta clave, para mantener la competitividad y disminuir el impacto ambiental.

La importancia en efectuar esta investigación, es generar información relevante que proporcione datos para lograr la regeneración ambiental de aguas residuales en cultivos de camarón *Penaeus vannamei* mediante tecnologías sostenibles de manera sustentable.

Ante esto surge la pregunta: ¿Cómo contribuye la implementación de tecnologías aplicadas en la acuicultura a la sostenibilidad ambiental y productiva del camarón?

El objetivo general de esta investigación es determinar la eficiencia de tecnologías sostenibles basadas en *Crassostrea gigas*, *Thalassiosira* sp. y bacterias benéficas para regenerar aguas residuales del cultivo de *Penaeus vannamei*, mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos y de calidad del agua que permitan su reutilización en sistemas acuícolas.

Para ello se debe evaluar la incidencia del uso de bacterias benéficas en los cultivos de camarón y las correlaciones que ejercen entre los parámetros físicos-químicos del agua, asociados al uso de probióticos durante el tiempo de estudio.

Metodología

El presente trabajo sobre la regeneración ambiental de aguas residuales en cultivos de camarón mediante tecnologías sostenibles se desarrolló mediante una metodología cuasiexperimental. “El mismo que faculta manejar variables independientes en un ambiente controlado, posibilitando el análisis de su incidencia, sin el requerimiento de una asignación aleatoria de los individuos a los grupos de estudio”.

El enfoque de la investigación es cuantitativo y el diseño es experimental, debido a que propone determinar el efecto del uso de las bacterias benéficas sobre las diferentes variables físicas, químicas, biológicas y su interacción con la calidad del agua en la sostenibilidad en cultivos de los camarones blancos *Penaeus vannamei*.

El diseño experimental estuvo conformado por dos tratamientos: el grupo control (T0) sin empleo de bacterias y el otro grupo (T1) aplicando bacterias benéficas, según el protocolo establecido. Cada tratamiento dispuso de tres replicas independientes (R1, R2 y R3), para un total de seis unidades experimentales, lo que posibilitó reducir la variabilidad biológica y ampliar la confiabilidad de los resultados.

La comparación entre los dos tratamientos (T0 y T1) permitió evaluar la incidencia de esta biotecnología sobre la calidad del agua y las variables productivas en el cultivo de camarones asociados a moluscos (*Crassostrea gigas*), determinando posibles diferencias estadísticas entre ambos tratamientos y estableciendo su contribución a un modelo de acuicultura sostenible.

La tipología es mixta: documental y aplicada. La investigación es de tipo aplicada, con un nivel explicativo, ya que además de realizar descripciones de los procesos, busca la demostración de la relación causal, entre la dosificación de bacterias benéficas, la mejora en los parámetros de cultivo y las sostenibilidad de las producciones acuícolas en el sector.

El estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Practicas experimentales en la carrera de Acuicultura en el ISTTE, Sede Santa Elena. Fue realizado en dos tinas y un acuario para el tratamiento T0 (grupo control, sin aplicación de bacterias benéficas) y así mismo dos tinas y un acuario para el tratamiento T1 (grupo con aplicación de bacterias benéficas + ostras *Crassostrea gigas*). Cada tina de cultivo de 300 L contuvo 18 camarones y 12 ostras; mientras que cada uno de los acuarios de 50 L alojaron 3 camarones y 2 ostras, para mantener la misma densidad de cultivo en todas las unidades experimentales. El periodo experimental abarco los meses de noviembre 2024 – marzo 2025 (P38), tuvo una duración aproximada de 100 días.

El laboratorio además de contar con estas unidades de cultivo, posee una serie de elementos que posibilitan el estudio y la generación de resultados de la presente investigación.

Para esto posee una línea de aireación compuesta por una tubería de PVC de 1 pulgada, la cual es abastecida por un motor eléctrico de aire de 1,20 Hp, marca Hidrotermal, 1F., 220 V.; además contiene llaves de cierre de paso, un juego completo de difusores de aire, mangueras de 3/16 pulg. y demás accesorios.

Adicional a esto, existen motores eléctricos de difusión de aire Powers de 500, con doble salida. Al igual que un motor de 0,25 Hp. usado para emergencias ocasionalmente.

La aireación es crucial para las especies, por ello existe un tablero con encendido automatizado en caso de cortes de fluido de energía. De esta forma, también existe la disponibilidad de energía fotovoltaica, a través de paneles solares.

Lo interesante es que fluye siempre aire en el sistema, el mismo que es un requerimiento indispensable para los cultivos de todas las especies acuícolas.

El laboratorio además cuenta con una línea de agua dulce para realizar los llenados respectivos y las renovaciones de agua para las especies dulceacuícolas.

La población de organismos estudiados estaba compuesta por individuos en etapa adulta de camarón blanco: *Penaeus vannamei*. Los mismos que arrancaron con un peso promedio de 18 g, los que fueron otorgados por una reconocida empresa privada de producción acuícola en la localidad. Los muestreos y las mediciones de los parámetros se realizaron de manera sistemática, para determinar las variaciones y fluctuaciones en las magnitudes de los mismos. Posteriormente fueron analizados a través de modelos estadísticos, que permitieron validar la consistencia de los resultados.

Entre las variables estudiadas tenemos el oxígeno, la temperatura y salinidad como variables físicas, las variables químicas: amonio, pH, nitrito, nitrato y otras variables biológicas, como son los indicadores de sostenibilidad del cultivo, entre ellos, la natación, periodo de estrés, consumo de alimentos, coloración corporal y demás características biológicas de los animales que fueron también analizadas en esta investigación.

Se efectuaron observaciones directas de los ejemplares, para poder determinar estas variables en los individuos, así como también se llevó un registro, tabulación y el procesamiento de los datos para el estudio estadístico correspondiente.

Se utilizaron Kits API y reactivos con rangos de medición colorimétrica, para determinación de parámetros químicos como el amonio, pH, nitrito y nitrato. Para medir los niveles de oxígeno, se utilizó un equipo portátil digital con sonda, para facilitar la inmersión del bulbo sensor en la profundidad del cultivo.

Los monitoreos de parámetros físicos como la salinidad, temperatura, se realizaron con equipos de medición digitales. Mientras que la turbidez del agua fue revisada con discos Secchi para determinar la transparencia de los medios.

Además, se contó con una balanza digital decimal, para el registro de los pesos de los animales, así como también procesar los pesos de los alimentos balanceados que aportaron los nutrientes necesarios, para el desarrollo de los procesos fisiológicos de las tilapias.

La dosis de alimentación diaria de los animales consistió en proporcionar entre el 3 al 4 % del peso corporal de los individuos, a través del cálculo de la biomasa antes del suministro del alimento. El porcentaje de proteína del balanceado alimenticio correspondió al 35 %.

El componente microalgas y su concentración, fue de gran importancia en el medio, puesto que se inoculó permanentemente en el tiempo de ejecución del proyecto y su presencia fue determinante tanto en el cocultivo de ostras con camarones,) aplicación

de bacterias benéficas y su dosis (grupo T0); como en el de camarones solamente, sin ostras, ni aplicación de bacterias benéficas (grupo T1). Los factores químicos como nitrato, nitrito, amonio, pH, entre otros, fueron también considerados y las modificaciones que sufrieron, según las inoculaciones de los componentes bióticos: microalgas y probióticos. Los factores físicos como la temperatura, salinidad y turbidez gravitaron también de manera regular, dependientes del entorno, medio de cultivo y la asociación con las otras variables durante la fase experimental.

Se registraron las masas de los animales de forma semanal con el objetivo de estimar los incrementos, compararlos con los datos iniciales y establecer el crecimiento alcanzado en el cultivo.

La masa promedio final al término del estudio, registró los siguientes datos, los camarones alcanzaron 30 g para el grupo T0, mientras que para el grupo T1 llegaron a 32 g. (recordando que la masa inicial fue de 18 g al arranque del experimento).

En las ostras adultas la masa inicial promedio fue de 150 g y al corte, en el final de la investigación, el valor de la masa promedio alcanzó los 170 g para el grupo T0, mientras que para el grupo T1 llegó a 173, lo cual marca una distancia entre los grupos analizados.

Para el grupo T1, en la primera semana se inocularon microalgas del género *Thalassiosira weissflogii* (concentración promedio 400.000 células por ml) en los cultivos de ostras *Crassostrea gigas* por dos veces, mientras que, en las siguientes se aplicó una semanalmente, esto intercalado, con la inoculación reutilizable de los residuales orgánicos presentes en los efluentes del camarón, los mismos que estaban “enriquecidos” con el suministro continuo de probióticos. Así se evidenció una completa armonía entre las microalgas, los residuales, las bacterias benéficas en el medio, los que propiciaron a las ostras un ambiente sano y natural. Las ostras pudieron alimentarse adecuadamente, puesto que tienen un poder de filtración extraordinario y prácticamente “limpian” las aguas turbias cargadas de mucho detrito orgánico, transformando la materia orgánica en una mejor calidad del agua. La utilización de la cámara de Neubauer permitió realizar la cuantificación de las microalgas, además de las revisiones para determinar la calidad de las células, antes del proceso de alimentación a las ostras y ocasionalmente a los camarones.

Se realizaron observaciones macroscópicas de los individuos y los medios, para poder así determinar los grados de turbidez y asociarlos con los consumos alimenticios de las ostras en las unidades de cultivo.

Para la determinación de los parámetros químicos, fueron empleados Kits API y reactivos con rangos de medición colorimétrica, los mismos que indicaron los niveles en los organismos cultivados. Así mismo, para obtener las lecturas de los niveles de oxígeno disuelto en el agua, fue útil un equipo digital portátil, provisto de una sonda de inmersión, el mismo que facilitó la medición a través de un bulbo sensorial en su porción terminal.

Las mediciones de salinidad se realizaron con un salinómetro digital y en ocasiones uno manual. La transparencia del agua a su vez fue revisada por medios elementales como discos Secchi, que pudieron determinar la turbidez y asistieron con una estimación de la profundidad de visión del disco.

Para las mediciones de las masas de los organismos y también de los alimentos secos suministrados a los cultivos, que brindaron el aporte de los nutrientes requeridos por los animales, se utilizó una balanza digital decimal. La dosificación de alimentos cada día, fue del 3 al 4 % del peso vivo (biomasa) de los animales tratados. Por ello se efectuaron análisis de estas variables, previo a la alimentación y hacer los reajustes necesarios. El porcentaje de proteína del balanceado usado fue alrededor del 35 %.

La metodología también incluyó el uso de agentes probióticos solo para el grupo T1, los mismos que estaban en una solución madre y estuvo conformada por tres tipos de microorganismos: *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum* y *Saccharomyces kudriavzevii*. (Los dos primeros pertenecen a bacterias grampositivas en forma de bastoncitos y el tercero es un hongo, que colabora en la descomposición de la sacarosa). Cada uno de los componentes se encontraba presente en una concentración del 1×10^6 u.f.c. (unidades formadoras de colonias). Estos microorganismos fueron previamente enriquecidos con melaza por 24 horas, en ausencia de luz, para lograr la sustentación bacteriana y obtener velozmente su división celular. La forma de inoculación fue la siguiente, se empleó 1 litro de agua dulce esterilizada y a esto se adicionó 25 ml de EMBIO+PLUS, que contenía los probióticos ya descritos antes, además de 20 ml de melaza; se dejó completamente tapado, en descanso, ausencia de luz y después se prosiguió con su empleo. Esta preparación sirvió hasta 48 días seguidos de inoculación para los medios acuáticos y así se hicieron nuevamente más preparaciones. De este preparado, se puso 30 ml a las tinas de cultivo de los camarones con ostras (grupo T0) y 10 ml al acuario (T1), cada 24 horas y si se notaba alguna situación anormal como, por ejemplo, calidad deteriorada del agua o exceso de detritos orgánicos, se adicionaban 10 ml a las tinas (T1) y 3,3 ml para el acuario (T1).

Las dosificaciones para el tratamiento (T1) con bacterias benéficas en las tinas y el acuario destinados para esta actividad se realizaron de manera diaria. Para las mediciones de colonias bacterianas, se extrajeron muestras provenientes de las tinas y el acuario tratados (T1), así como las tinas y el acuario sin tratamiento (T0), las mismas que fueron realizadas de manera semanal para revisar y comparar los crecimientos bacterianos.

Las tomas de las muestras se hicieron en el centro de cada tina, una vez apagado el aire por 5 minutos, a 25 cm por debajo de la superficie del agua, y colectadas en recipientes estériles, antes de la aplicación de bacterias y alimentación para evitar alteraciones en las lecturas finales. Los análisis de conteo de bacterias se realizaron mediante el método de siembra por extensión en superficie (Spread Plate). Las muestras fueron sometidas a diluciones en serie decimal (10^{-1} - 10^{-9}) en solución salina estéril y sembradas en agar Plate Count (PCA).

Las placas se incubaron a 37°C durante 24-48 horas y de ahí fueron realizados los conteos de las unidades formadoras de colonias (UFC) por ml. Los niveles de bacterias benéficas aplicando los probióticos descritos anteriormente alcanzaron un promedio de 3 escalas logarítmicas más, esto es 1×10^9 u.f.c.: mientras que para el grupo control la colonización de bacterias era muy mínima debajo del estándar (1×10^4 u.f.c)

Las variables físicas (temperatura, salinidad), químicas (pH, oxígeno, amonio, nitrito y nitrato) y biológicas (coloración corporal, comportamiento alimenticio, lesiones

externas, período de estrés) fueron registradas dos veces por cada semana, durante un periodo de cien días, para los tratamientos experimentales:

T0 (sin aplicación de bacterias benéficas) y T1 (con aplicación de bacterias benéficas), cada uno con conformado por tres replicas independientes.

Los recambios de agua en los cultivos de camarones se realizaron para renovar el medio del cultivo, se efectuaron para mejorar la calidad del agua. Sin embargo, se debe anotar que las tinas y el acuario del grupo T1 estaban mejor acondicionados y con mayor limpieza que las tinas y el acuario del grupo T0.

Para realizar el análisis estadístico, se utilizó un software: IBM Corp. SPSS Statistic, Versión 26.

Previo a la aplicación de las pruebas paramétricas o no paramétricas, se plantearon rigurosamente las hipótesis nulas y alternas en cada caso analizado y seleccionar así de manera adecuada el procedimiento correcto se comprobó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, a través de la prueba de Shapiro-Wilk.

Una vez comprobados estos supuestos, se procedió a realizar el análisis de correlación de Spearman para establecer las posibles asociaciones entre los parámetros de calidad del agua y los indicadores productivos del cultivo.

Los resultados de los datos de cada uno de los tratamientos, tanto para el grupo control, que no fueron inoculadas con bacterias (T0), como para el grupo tratadas con bacterias benéficas (T1) fueron minuciosamente tabuladas.

Se consideró un nivel de confianza del 95% con un margen de significancia de $\alpha = 0,05$ (error del 5%) para hacer los ajustes y criterios de selección pertinentes al estudio.

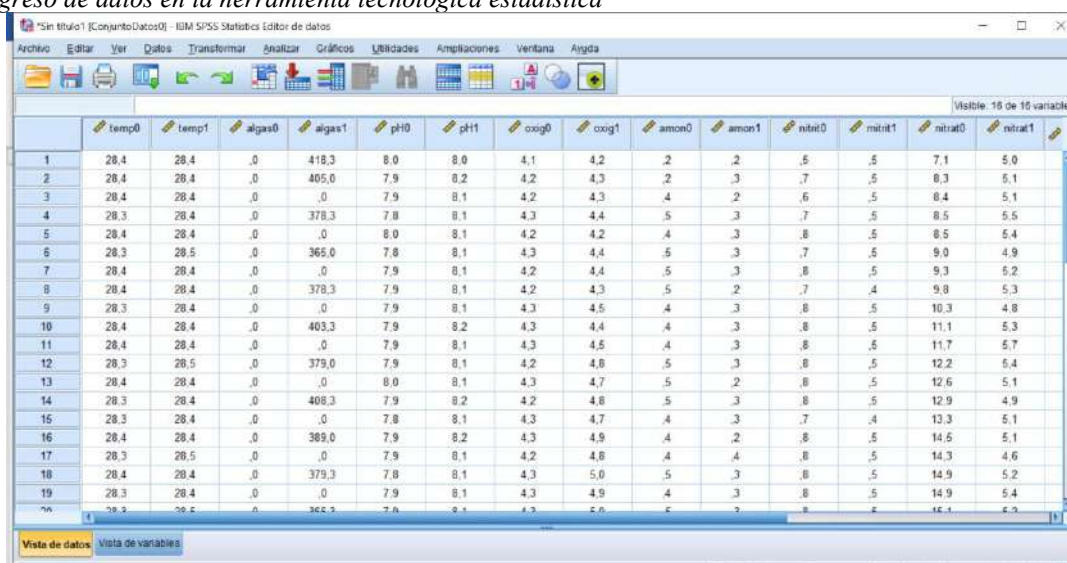
De esta forma se analizaron los resultados con total argumento científico y evidencia estadística, para determinar si existía o no, diferencias significativas o simplemente se debían al azar.

Resultados

Para el procesamiento de los datos en esta investigación, se empleó una herramienta tecnológica, basada en un programa de software estadístico: IBM Corp. SPSS Statistic, Versión 26, para realizar los análisis de la Estadística descriptiva, prueba de normalidad, Correlación Estadística y medir la fuerza, como dirección de la relación entre dos variables cuantitativas. La misma se puede apreciar en la figura 1, ingresando los datos de manera ordenada, independiente, por cada grupo de tratamiento: T0 para el grupo control y T1 (para el grupo de tratamiento con bacterias benéficas), con 3 réplicas para cada uno de los tratamientos mencionados, poderlos tabular y analizarlos posteriormente, someterlos a pruebas y validaciones estadísticas comprobables. Los valores de las variables se aprecian en las Tablas 1 y 2.

Figura 1

Ingreso de datos en la herramienta tecnológica estadística



Nota. Autores, (2025)

Tabla 1

Parámetros físicos y químicos en tratamientos: T0 (grupo control sin bacterias) y T1 (grupo con bacterias benéficas)

		temperatura °C						algas						pH						oxígeno disuelto mg/L						amonio mg/L						nitrito mg/L						nitrato mg/L					
semanas	muestras	tratamientos						tratamientos						tratamientos						tratamientos						tratamientos						tratamientos						tratamientos					
		T0			T1			T0			T1			T0			T1			T0			T1			T0			T1			T0			T1			T0			T1		
		réplicas			réplicas			réplicas			réplicas			réplicas			réplicas			réplicas			réplicas			réplicas			réplicas			réplicas			réplicas			réplicas			réplicas		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
semana 1	1er	28,5	28,8	28,4	28,2	28,8	28,4	0	0	0	41,5	42,2	44,0	8,0	8,8	8,8	8,1	8,0	8,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	7,2	7,0	5,0	6,4	6,0
	2do	28,3	28,8	28,4	28,4	28,8	28,4	0	0	0	40,0	40,5	41,0	8,9	7,9	7,8	8,2	8,1	8,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	8,3	8,4	4,5	5,5	5,4	
semana 2	1er	28,4	28,8	28,3	28,4	28,8	28,4	0	0	0				7,9	7,7	7,8	8,1	8,4	8,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	8,5	8,2	5,5	5,5	5,0		
	2do	28,3	28,8	28,4	28,4	28,8	28,4	0	0	0	38,0	36,0	39,5	8,9	7,7	7,8	8,2	8,1	8,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	8,8	8,4	6,5	5,5	5,3			
semana 3	1er	28,4	28,8	28,4	28,4	28,8	28,4	0	0	0				7,9	7,8	8,1	8,2	8,4	8,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	8,6	8,0	5,6	6,4	6,0			
	2do	28,4	28,8	28,3	28,5	28,8	28,5	0	0	0	37,0	35,5	37,0	8,9	7,7	7,8	8,2	8,1	8,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	8,9	8,9	4,7	5,4	5,0			
semana 4	1er	28,3	28,8	28,4	28,4	28,8	28,4	0	0	0				8,1	7,8	8,9	8,1	8,2	8,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	9,0	9,5	5,3	5,2	5,0			
	2do	28,4	28,8	28,3	28,4	28,8	28,4	0	0	0	39,5	38,0	40,0	9,9	7,7	7,8	8,2	8,2	8,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	9,8	9,7	4,8	5,0	5,0			
semana 5	1er	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	0	0	0				7,9	7,8	8,1	8,1	8,3	8,6	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	4,6	4,2	4,0				

Tabla 2

Parámetros físicos y químicos en tratamientos: T0 (grupo control sin bacterias) y T1 (grupo con bacterias benéficas)

valores promedios de las réplicas (3) por cada tratamiento	temperatura °C		Algas cel/ml		pH		oxígeno mg/L		amonio mg/L		nitrito mg/L		nitrato mg/L	
	tratamientos		tratamientos		tratamientos		tratamientos		tratamientos		tratamientos		tratamientos	
	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1
	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1
	28,4	28,4	0,0	418,3	8,0	8,0	4,1	4,2	0,2	0,2	0,5	0,5	7,1	5,0
	28,4	28,4	0,0	405,0	7,9	8,2	4,2	4,3	0,2	0,3	0,7	0,5	8,3	5,1
	28,4	28,4	0,0	0,0	7,9	8,1	4,2	4,3	0,4	0,2	0,6	0,5	8,4	5,1
	28,3	28,4	0,0	378,3	7,8	8,1	4,3	4,4	0,5	0,3	0,7	0,5	8,5	5,5
	28,4	28,4	0,0	0,0	8,0	8,1	4,2	4,2	0,4	0,3	0,8	0,5	8,5	5,4
	28,3	28,5	0,0	365,0	7,8	8,1	4,3	4,4	0,5	0,3	0,7	0,5	9,0	4,9
	28,4	28,4	0,0	0,0	7,9	8,1	4,2	4,4	0,5	0,3	0,8	0,5	9,3	5,2
	28,4	28,4	0,0	378,3	7,9	8,1	4,2	4,3	0,5	0,2	0,7	0,4	9,8	5,3
	28,3	28,4	0,0	0,0	7,9	8,1	4,3	4,5	0,4	0,3	0,8	0,5	10,3	4,8
	28,4	28,4	0,0	403,3	7,9	8,2	4,3	4,4	0,4	0,3	0,8	0,5	11,1	5,3
	28,4	28,4	0,0	0,0	7,9	8,1	4,3	4,5	0,4	0,3	0,8	0,5	11,7	5,7
	28,3	28,5	0,0	379,0	7,9	8,1	4,2	4,8	0,5	0,3	0,8	0,5	12,2	5,4
	28,4	28,4	0,0	0,0	8,0	8,1	4,3	4,7	0,5	0,2	0,8	0,5	12,6	5,1
	28,3	28,4	0,0	408,3	7,9	8,2	4,2	4,8	0,5	0,3	0,8	0,5	12,9	4,9
	28,3	28,4	0,0	0,0	7,8	8,1	4,3	4,7	0,4	0,3	0,7	0,4	13,3	5,1
	28,4	28,4	0,0	389,0	7,9	8,2	4,3	4,9	0,4	0,2	0,8	0,5	14,5	5,1
	28,3	28,5	0,0	0,0	7,9	8,1	4,2	4,8	0,4	0,4	0,8	0,5	14,3	4,6
	28,4	28,4	0,0	379,3	7,8	8,1	4,3	5,0	0,5	0,3	0,8	0,5	14,9	5,2
	28,3	28,4	0,0	0,0	7,9	8,1	4,3	4,9	0,4	0,3	0,8	0,5	14,9	5,4
	28,3	28,5	0,0	366,3	7,9	8,1	4,3	5,0	0,5	0,3	0,8	0,5	15,1	5,2
	28,4	28,4	0,0	0,0	7,9	8,1	4,3	4,9	0,4	0,3	0,8	0,5	15,3	5,1
	28,4	28,4	0,0	403,3	7,8	8,1	4,3	5,0	0,5	0,3	0,8	0,5	14,7	5,0
	28,3	28,5	0,0	0,0	7,9	8,1	4,2	4,9	0,4	0,2	0,8	0,5	15,2	5,5
	28,3	28,4	0,0	378,0	7,8	8,1	4,3	4,9	0,5	0,3	0,7	0,4	15,3	5,0
	28,4	28,5	0,0	0,0	7,9	8,1	4,3	5,0	0,5	0,3	0,8	0,5	14,9	5,1
	28,4	28,4	0,0	202,1	7,9	8,1	4,3	4,6	0,4	0,3	0,7	0,5	12,1	5,2

Nota. Autores, (2025)

Los estadísticos descriptivos evidencian que el tratamiento aplicado (T1) produjo una mejora en varios parámetros de la calidad del agua al comparar los valores iniciales (T0) con los finales (T1). La temperatura se mantuvo prácticamente constante, pasando de 28,356 °C a 28,424 °C, lo que representa un incremento de apenas 0,24 %, indicando condiciones térmicas estables durante todo el ensayo.

El pH aumentó de 7,888 a 8,112, equivalente a un incremento aproximado del 2,84 %, manteniéndose dentro del rango recomendado para el cultivo acuícola. Asimismo, el oxígeno disuelto se incrementó de 4,256 a 4,648 mg/L, lo que representa un aumento cercano al 9,21 %, reflejando una mejora en las condiciones de oxigenación del agua.

Se realizó un análisis de estadística descriptiva para resumir el comportamiento de las variables evaluadas mediante el cálculo de las medias aritméticas, medianas, modas, varianzas y desviaciones estándar (figuras 2a y 2b).

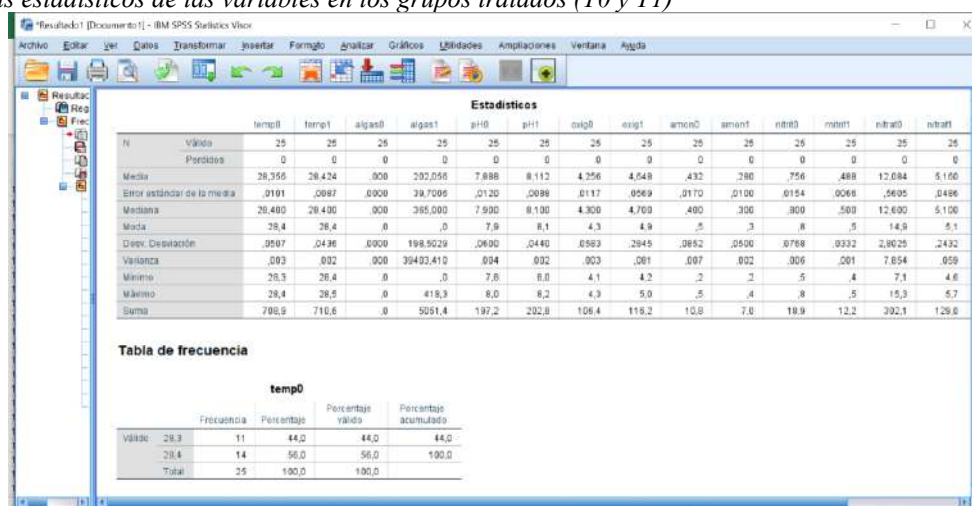
Respecto a los compuestos nitrogenados, se observó una reducción progresiva de sus concentraciones. El amonio disminuyó de 0,432 a 0,280 mg/L, equivalente a una reducción aproximada del 35,2 %; el nitrito descendió de 0,756 a 0,488 mg/L, representando una disminución cercana al 35,4 %; mientras que el nitrato pasó de 12,084 a 5,160 mg/L, lo que corresponde a una reducción del 57,3 %, siendo el parámetro que presentó la mayor disminución durante el tratamiento.

Por otra parte, el tratamiento favoreció el desarrollo de la biomasa algal, cuya concentración aumentó de 0 a 202,056, evidenciando el establecimiento del cultivo de microalgas durante el experimento.

En cuanto a la variabilidad de los datos, la temperatura presentó un coeficiente de variación (CV) de 0,18 % en T0 y 0,15 % en T1, indicando una excelente estabilidad térmica. El pH mostró un CV de 0,76 % en T0 y 0,54 % en T1, reflejando una elevada estabilidad. De igual forma, el amonio (19,7 % y 17,9 %), nitrito (10,2 % y 6,8 %) y nitrato (23,2 % y 4,7 %) presentaron una menor variabilidad al finalizar el tratamiento, lo que evidencia una mayor homogeneidad en la calidad del agua. En contraste, la biomasa de algas presentó una elevada dispersión (CV = 98,2 %) debido al crecimiento progresivo registrado durante el periodo experimental.

Figura 2a

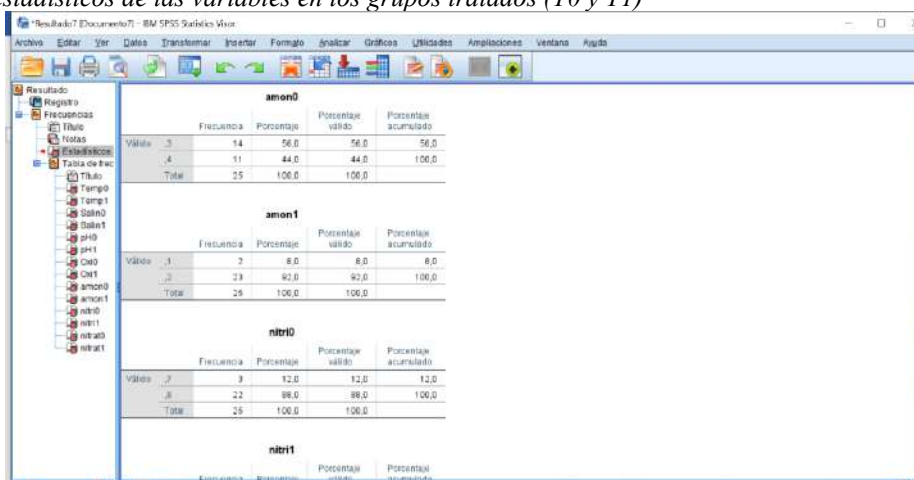
Análisis estadísticos de las variables en los grupos tratados (T0 y T1)



Nota. Autores, (2025)

Figura 2b

Análisis estadísticos de las variables en los grupos tratados (T0 y T1)

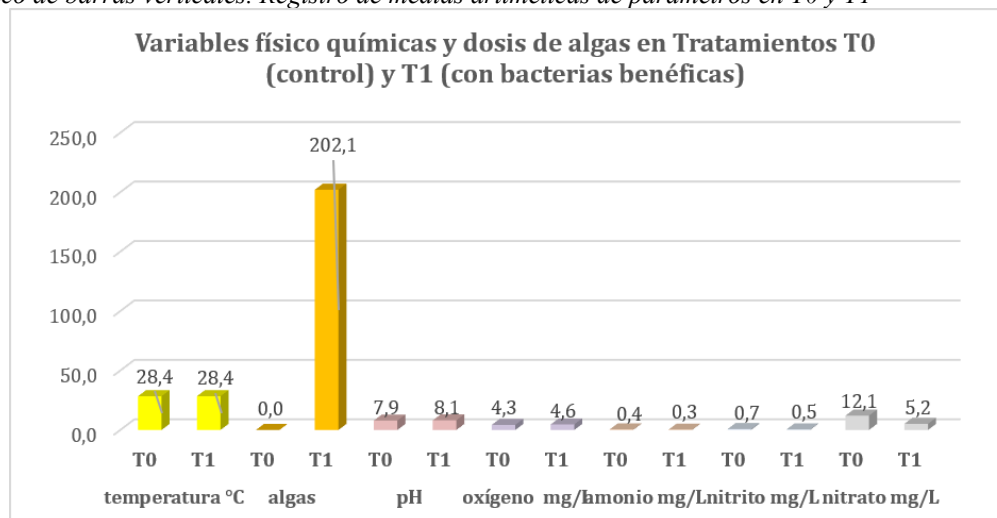


Nota. Autores, (2025)

Los promedios aritméticos de los parámetros físicos químicos, así como dosificaciones de algas en los tratamientos durante todo el periodo experimental, tanto para el tratamiento sin bacterias benéficas, grupo control T0, como para el tratamiento con bacterias benéficas grupo T1, están representados en la Figura 3.

Figura 3

Gráfico de barras verticales. Registro de medias aritméticas de parámetros en T0 y T1



Nota. Autores, (2025)

Se realizó la prueba de normalidad (Figura 4), es decir el análisis estadístico para determinar si los datos de las variables siguen una distribución normal (gaussiana o campana de Gauss). Se procedió a determinar si aplica para una prueba paramétrica o no paramétrica (Tabla 3). La primera aplica para determinadas presuposiciones como: 1) normalidad de la distribución de los datos y 2) homogeneidad de la varianza de los datos, es decir grupos homogéneos. Mientras que para la segunda: 1) los datos no tienen presuposiciones y son pruebas de distribución libre.

Para explorar el estudio de normalidad se usó la prueba estadística de Shapiro- Wilk. (Figuras 5 y 6). Antes de ello, se efectuó el planteo de la hipótesis.

Hipótesis:

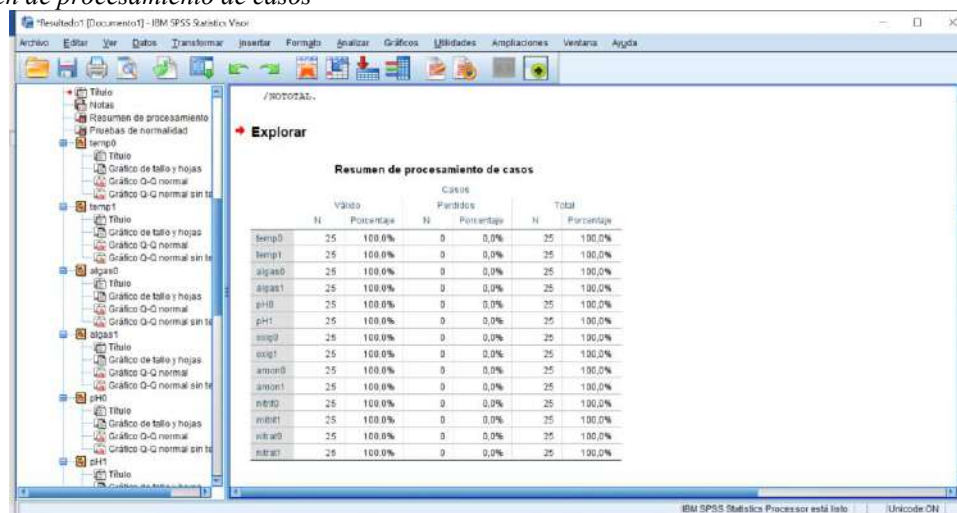
Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal

El nivel de confianza es del 95%, y el de significancia(error) $\alpha = 5\%$

El criterio de decisión es el siguiente:

Si p es menor a 0,05 se rechaza la Ho y se acepta la Ha, si por el caso contrario, es decir $p \geq 0,05$ se acepta la Ho y se rechaza la Ha.

Figura 4*Resumen de procesamiento de casos*

Nota. Autores, (2025)

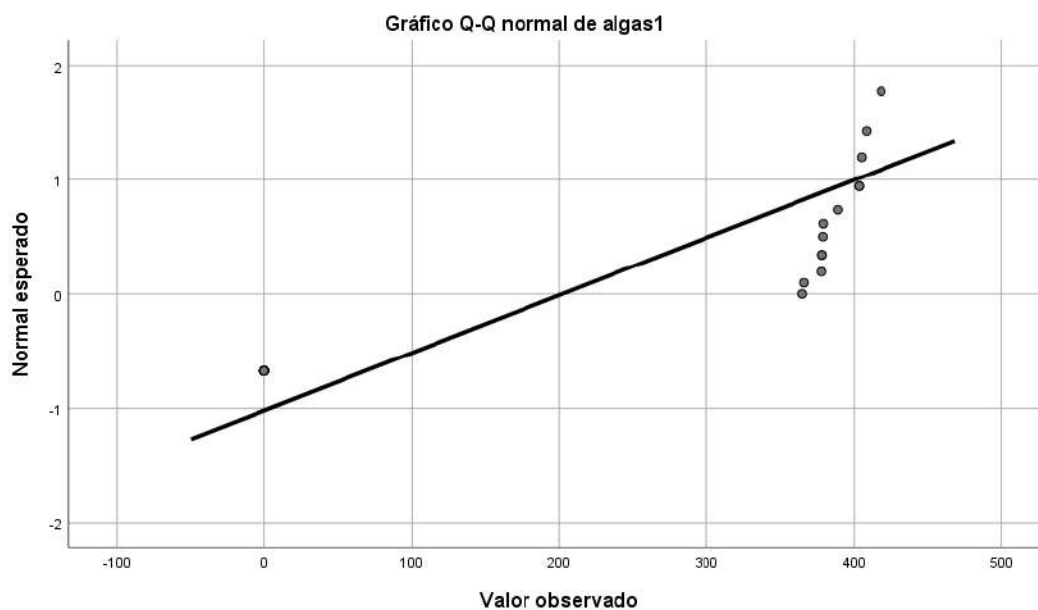
Tabla 3*Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk*

Pruebas de normalidad						
Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
temp0	,367	25	,000	,634	25	,000
temp1	,469	25	,000	,533	25	,000
algas0	.	25	.	.	25	.
algas1	,326	25	,000	,678	25	,000
pH0	,339	25	,000	,762	25	,000
pH1	,448	25	,000	,597	25	,000
oxig0	,375	25	,000	,693	25	,000
oxig1	,183	25	,030	,881	25	,007
amon0	,274	25	,000	,703	25	,000
amon1	,415	25	,000	,667	25	,000
nitrit0	,397	25	,000	,630	25	,000
nitrit1	,521	25	,000	,384	25	,000
nitrat0	,185	25	,026	,880	25	,007
nitrat1	,157	25	,111	,975	25	,762

Nota. Autores, (2025)

Figura 5

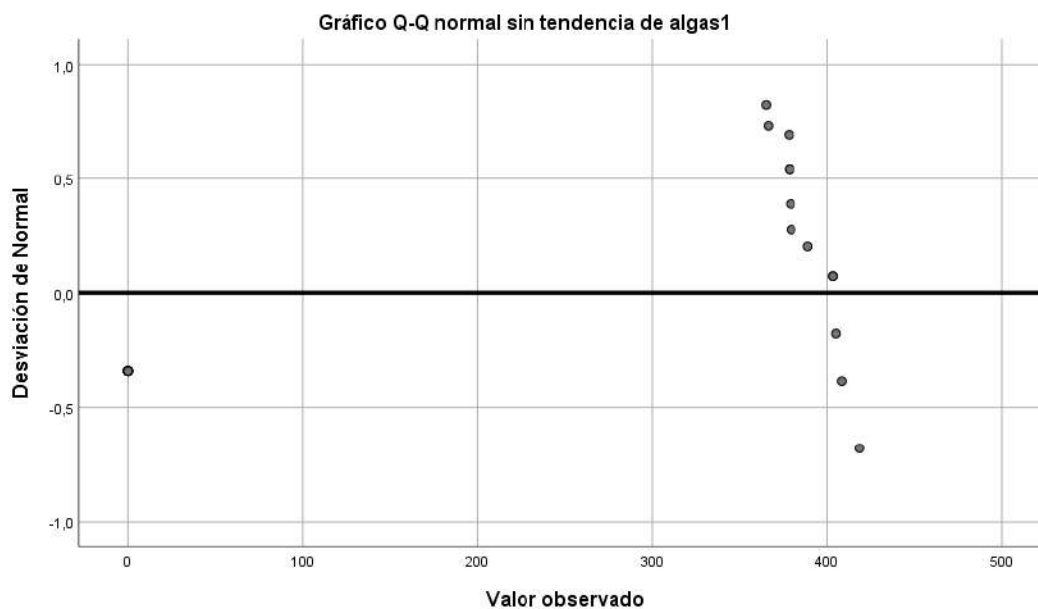
Trayectoria de recta normal esperada: amonio. Shapiro - Wilk



Nota. Autores, (2025)

Figura 6

Trayectoria de recta con valores observados: amonio. Shapiro – Wilk



Nota. Autores, (2025)

El criterio de decisión es el siguiente:

p es menor a 0,05, se rechaza la H_0 y por lo tanto se acepta la H_a . Es decir, los datos no tienen una distribución normal y por ende, se conecta a un tipo de Estadística No Paramétrica.

Sabiendo esto, el modelo adecuado a realizar es la Correlación estadística de Spearman (figura 7), cuyo símbolo es rho (ρ) que analiza el grado de asociación entre las variables del cultivo estudiado.

Para esto se efectúa nuevamente el planteo de la hipótesis.

Para cada coeficiente obtenido se puede realizar el siguiente contraste de hipótesis, para determinar si el coeficiente es igual a cero.

Entonces se tiene lo siguiente:

$H_0: \rho = 0$ (No existe correlación)

$H_a: \rho \neq 0$ (Si existe correlación)

Además de esto se analiza la significancia de esta relación, en caso este presente, con un nivel de confianza del 95%. El nivel de significancia(error) $\alpha = 5\%$.

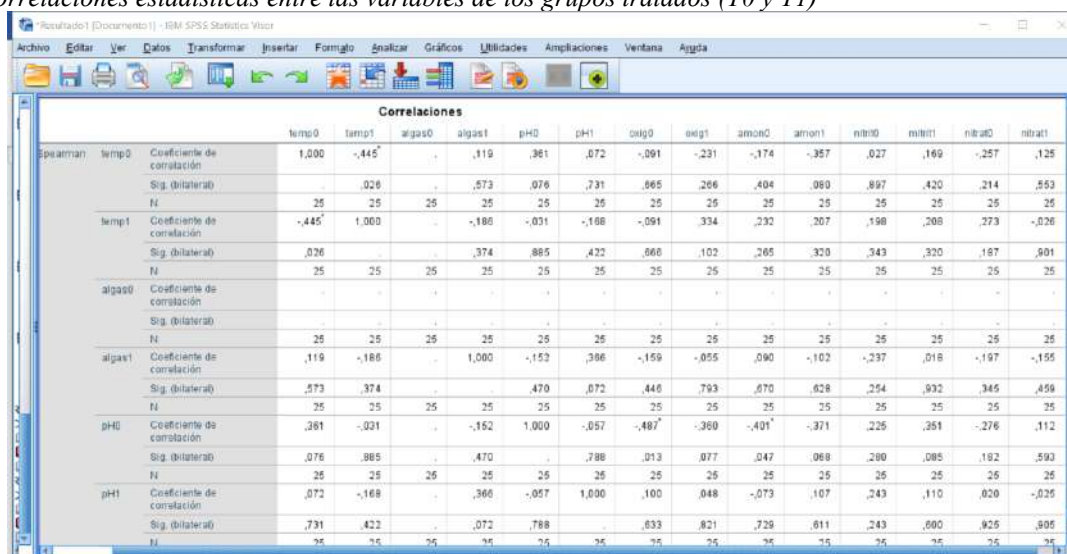
El criterio de decisión es el siguiente:

Si ρ es menor a 0,05 se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , si por el caso contrario, es decir ρ es $\geq 0,05$ se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .

La correlación estadística de Spearman genera rangos de intensidad (Tabla 4), según los niveles de asociación entre las variables.

Figura 7

Correlaciones estadísticas entre las variables de los grupos tratados (T0 y T1)



Nota. Autores, (2025)

Tabla 4

Interpretación de valores Correlación de Spearman

Rho (ρ)	Relación	Correlación estadística
0	No existe	Nula
$0,00 < \rho \leq 0,20$	Muy poco intensa	Muy baja
$0,20 < \rho \leq 0,40$	Pequeña	Baja
$0,40 < \rho \leq 0,60$	Considerable	Regular
$0,60 < \rho \leq 0,80$	Intensa	Alta
$0,80 < \rho \leq 1,00$	Muy intensa	Muy alta

Nota. Autores, (2025)

Tabla 5

Nivel de intensidad de correlación entre las variables

Correlaciones																
		temp0	temp1	algas0	algas1	pH0	pH1	oxig0	oxig1	amon0	amon1	nitrit0	nitrit1	nitrat0	nitrat1	
Rho de Spearman	temp0	Coefficiente de correlación	1,000	-,445*		0,119	0,361	0,072	-0,091	-0,231	-0,174	-0,357	0,027	0,169	-0,257	0,125
		Sig. (bilateral)		0,026		0,573	0,076	0,731	0,665	0,266	0,404	0,080	0,897	0,420	0,214	0,553
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	temp1	Coefficiente de correlación	-,445*	1,000		-0,186	0,031	-0,168	-0,091	0,334	0,232	0,207	0,198	0,208	0,273	-0,026
		Sig. (bilateral)	0,026			0,374	0,885	0,422	0,666	0,102	0,265	0,320	0,343	0,320	0,187	0,901
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	algas0	Coefficiente de correlación														
		Sig. (bilateral)														
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	algas1	Coefficiente de correlación	0,119	-0,186		1,000	0,152	0,366	-0,159	-0,055	0,090	-0,102	0,237	0,018	-0,197	-0,155
		Sig. (bilateral)	0,573	0,374			0,470	0,072	0,446	0,793	0,670	0,628	0,254	0,932	0,345	0,459
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	pH0	Coefficiente de correlación	0,361	-0,031		-0,152	1,000	-0,057	-,487*	-0,360	-,401*	-0,371	0,225	0,351	-0,276	0,112
		Sig. (bilateral)	0,076	0,885		0,470		0,788	0,013	0,077	0,047	0,068	0,280	0,085	0,182	0,593
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	pH1	Coefficiente de correlación	0,072	-0,168		0,366	0,057	1,000	0,100	0,048	-0,073	0,107	0,243	0,110	0,020	-0,025
		Sig. (bilateral)	0,731	0,422		0,072	0,788		0,633	0,821	0,729	0,611	0,243	0,600	0,925	0,905
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	oxig0	Coefficiente de correlación	-0,091	-0,091		-0,159	-,487*	0,100	1,000	-,524**	0,261	0,239	0,249	-0,060	-,479*	0,005
		Sig. (bilateral)	0,665	0,666		0,446	0,013	0,633		0,007	0,208	0,249	0,230	0,777	0,016	0,983
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	oxig1	Coefficiente de correlación	-0,231	0,334		-0,055	0,360	0,048	-,524**	1,000	0,374	0,233	-,558*	0,060	-,920**	-0,072
		Sig. (bilateral)	0,266	0,102		0,793	0,077	0,821	0,007		0,065	0,262	0,004	0,774	0,000	0,733
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	amon0	Coefficiente de correlación	-0,174	0,232		0,090	-,401*	-0,073	0,261	0,374	1,000	0,125	0,157	-0,152	0,257	0,011
		Sig. (bilateral)	0,404	0,265		0,670	0,047	0,729	0,208	0,065		0,551	0,455	0,468	0,216	0,959
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	amon1	Coefficiente de correlación	-0,357	0,207		-0,102	0,371	0,107	0,239	0,233	0,125	1,000	0,311	0,098	0,181	-0,149
		Sig. (bilateral)	0,080	0,320		0,628	0,068	0,611	0,249	0,262	0,551		0,130	0,641	0,386	0,476
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	nitrit0	Coefficiente de correlación	0,027	0,198		-0,237	0,225	0,243	0,249	-,558**	0,157	0,311	1,000	-,468*	-,515**	0,184
		Sig. (bilateral)	0,897	0,343		0,254	0,280	0,243	0,230	0,004	0,455	0,130		0,018	0,008	0,378
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	nitrit1	Coefficiente de correlación	0,169	0,208		0,018	0,351	0,110	-0,060	0,060	-0,152	0,098	-,468*	1,000	-0,145	0,061
		Sig. (bilateral)	0,420	0,320		0,932	0,085	0,600	0,777	0,774	0,468	0,641	0,018		0,488	0,774
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	nitrat0	Coefficiente de correlación	-0,257	0,273		-0,197	0,276	0,020	-,479*	-,920**	0,257	0,181	-,515*	-0,145	1,000	-0,012
		Sig. (bilateral)	0,214	0,187		0,345	0,182	0,925	0,016	0,000	0,216	0,386	0,008	0,488		0,953
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	nitrat1	Coefficiente de correlación	0,125	-0,026		-0,155	0,112	-0,025	0,005	-0,072	0,011	-0,149	0,184	0,061	-0,012	1,000
		Sig. (bilateral)	0,553	0,901		0,459	0,593	0,905	0,983	0,733	0,959	0,476	0,378	0,774	0,953	
		N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota. Autores, (2025)

Se procede luego a analizar los resultados de la tabla (Tabla 5), para ello se extrae un valor relevante, como el siguiente:

Tabla 6

Correlación de Spearman entre pH 0 - oxígeno 0

pH 0 - oxígeno 0	rho (ρ)	p	N
	-0,487	0,013	25

Nota. Autores, (2025)

Así p (0,013) es menor a 0,05, por ende, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a . Sabiendo que la H_a $\rho \neq 0$ (Si existe correlación).

Como $p = 0,013 < 0,05$, por lo tanto, existe relación significativa entre pH 0 y oxígeno 0. Esta relación es indirecta, considerable, es decir a mayor oxígeno 0, disminuye el pH 0, además la correlación estadística es regular ($=-0,487$).

De igual modo, se tiene otra relación relevante dentro de la tabla de resultados, como es el caso del nitrato vs el oxígeno y es la siguiente:

Tabla 7

Correlación de Spearman entre nitrato 0 - oxígeno 0

nitrato 0 - oxígeno 0	rho (ρ)	p	N
	0,479	0,016	25

Nota. Autores, (2025)

Para este otro caso, p (0,016) es menor a 0,05, por ende, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a . Sabiendo que la H_a $\rho \neq 0$ (Si existe correlación).

Como $p = 0,016 < 0,05$, por lo tanto, existe relación significativa entre el nitrato 0 y oxígeno 0. Esta relación en cambio es directa, considerable, es decir a mayor oxígeno, el nitrato aumenta, además la correlación estadística es regular ($=0,479$).

Discusión

La aplicación del sistema integrado conformado por *Crassostrea gigas*, *Thalassiosira sp.* y bacterias benéficas demostró ser una alternativa eficiente para la regeneración de aguas residuales provenientes del cultivo de *Penaeus vannamei*. Los resultados obtenidos evidenciaron estabilidad térmica durante todo el ensayo, registrándose una temperatura promedio de 28,356 °C al inicio y 28,424 °C al final del tratamiento, equivalente a una variación de apenas 0,24 %, mientras que el pH aumentó de 7,888 a 8,112 (2,84 %). Estos valores permanecieron dentro del rango recomendado para el cultivo de camarón marino y favorecieron el desarrollo de los procesos microbiológicos responsables de la transformación del nitrógeno. En una revisión sobre sistemas biofloc, Raza et al. (2024) señalaron que mantener temperaturas cercanas a 28–30 °C y un pH entre 7,5 y 8,5 favorece la actividad de bacterias benéficas y mejora la calidad del agua al reducir la acumulación de compuestos nitrogenados.

Uno de los indicadores más importantes de la eficiencia del tratamiento fue el incremento del oxígeno disuelto, que pasó de 4,256 mg/L a 4,648 mg/L, representando

un aumento del 9,21 %, el incremento observado refleja una mejora en las condiciones ambientales del agua residual. Según Ariyanto et al. (2023), la incorporación de bacterias probióticas en cultivos de *P. vannamei* favorece la degradación de la materia orgánica y reduce la demanda biológica de oxígeno, contribuyendo al incremento del oxígeno disuelto y al equilibrio microbiológico del sistema. De igual forma, Haris et al. (2024) indican que los probióticos mejoran simultáneamente la calidad del agua, disminuyen la materia orgánica acumulada y fortalecen la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de camarón.

La reducción de los compuestos nitrogenados constituye uno de los principales hallazgos de esta investigación. El amonio disminuyó de 0,432 a 0,280 mg/L, equivalente a una reducción del 35,2 %; el nitrito descendió de 0,756 a 0,488 mg/L (35,4 %), mientras que el nitrato presentó la mayor reducción, pasando de 12,084 a 5,160 mg/L, equivalente al 57,3 %. Estos resultados demuestran la eficiencia del sistema de tratamiento para disminuir la carga nitrogenada del agua residual. En la revisión de Haris et al. (2024) se recopilan diversos estudios donde la aplicación de *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis* y otras bacterias benéficas redujo significativamente el nitrógeno amoniacal y el nitrito en cultivos de *Penaeus vannamei*, mejorando la calidad del agua y disminuyendo el riesgo de toxicidad. Asimismo, Raza et al. (2024) destacan que los microorganismos presentes en sistemas biofloc aceleran la nitrificación y la desnitrificación, favoreciendo la remoción de nitrógeno y reduciendo la necesidad de recambios de agua.

El establecimiento de *Thalassiosira sp.*, con una concentración hasta 202,056 cel./ml, constituye otro aspecto relevante del estudio. Las microalgas desempeñan un papel fundamental en la captura de nutrientes inorgánicos, especialmente nitrógeno y fósforo, además de contribuir al incremento del oxígeno mediante la fotosíntesis. La disminución simultánea del amonio, nitrito y nitrato observada en esta investigación sugiere una acción complementaria entre las bacterias benéficas, la microalga y la capacidad filtradora de *Crassostrea gigas*, fortaleciendo el proceso de regeneración ambiental del agua residual. Este comportamiento coincide con lo señalado por Raza et al. (2024), quienes destacan que la interacción entre microorganismos y productores primarios incrementa la eficiencia de remoción de nutrientes y favorece la sostenibilidad de los sistemas acuícolas con baja renovación de agua.

El análisis de correlación de Spearman permitió identificar relaciones significativas entre algunos parámetros fisicoquímicos, particularmente entre pH₀ y oxígeno disuelto₀ ($\rho = -0,487$; $p = 0,013$) y entre oxígeno₀ y nitrato₀ ($\rho = 0,479$; $p = 0,016$), además de una correlación positiva muy fuerte entre oxígeno₁ y nitrato₀ ($\rho = 0,920$; $p < 0,001$). Estas asociaciones evidencian la estrecha interacción entre la disponibilidad de oxígeno y los procesos de transformación del nitrógeno durante la regeneración del agua residual. En este sentido, Pimentel et al. (2024) evaluaron un sistema simbiótico para el cultivo de *Penaeus vannamei* inoculado con *Bacillus*, *Lactobacillus sp.*, encontrando un control más rápido del nitrógeno amoniacal total (TAN) en el tratamiento con la mezcla de probióticos (BLP), acompañado por una mayor abundancia de bacterias oxidantes de amonio (AOB) y de nitrito (NOB), responsables del proceso de nitrificación. Asimismo, los autores reportaron mejores indicadores productivos, como mayor peso final, mayor rendimiento y menor factor de conversión

alimenticia, atribuidos a la mejora de la calidad del agua y al fortalecimiento de la comunidad microbiana. Comparativamente, en la presente investigación también se observó una respuesta favorable del sistema de regeneración ambiental, reflejada en la reducción del amonio en 35,2 %, del nitrito en 35,4 % y del nitrato en 57,3 %, además del incremento del 9,21 % en el oxígeno disuelto. Aunque el estudio de Pimentel et al. se desarrolló en un sistema simbiótico de vivero y el presente trabajo empleó un sistema integrado con *Crassostrea gigas*, *Thalassiosira sp.* y bacterias benéficas para regenerar aguas residuales, ambos coinciden en que el establecimiento de comunidades microbianas funcionales favorece la nitrificación, acelera el control de los compuestos nitrogenados y mejora la calidad del agua, constituyendo una estrategia eficaz para incrementar la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de *Penaeus vannamei*.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la integración de *Crassostrea gigas*, *Thalassiosira sp.* y bacterias benéficas constituye una tecnología sostenible con alto potencial para la regeneración de aguas residuales del cultivo de *Penaeus vannamei*. La estabilidad de los parámetros fisicoquímicos, el incremento del oxígeno disuelto, la reducción de hasta 57,3 % del nitrato y la disminución del amonio y nitrito demuestran que el sistema favoreció la recuperación de la calidad del agua y fortaleció las posibilidades de su reutilización en acuicultura. Estos hallazgos concuerdan con el consenso científico actual, el cual reconoce que el empleo de probióticos, microorganismos funcionales y sistemas biológicos integrados constituye una de las estrategias más prometedoras para avanzar hacia una acuicultura de camarón más sostenible, con menor impacto ambiental y menor consumo de agua.

Conclusiones

Se determinó que la implementación de tecnologías sostenibles basadas en *Crassostrea gigas*, *Thalassiosira sp.* y bacterias benéficas, fue muy eficiente para la regeneración de las aguas residuales del cultivo de *Penaeus vannamei*, al mejorar significativamente la calidad del agua mediante la reducción de compuestos nitrogenados y la estabilización de los principales parámetros fisicoquímicos, cumpliéndose así el objetivo general de la investigación y evidenciando el potencial de estas tecnologías para su reutilización en sistemas acuícolas.

Se comprobó que el uso de bacterias benéficas incidió favorablemente en la transformación de los compuestos nitrogenados presentes en el agua residual. El tratamiento permitió reducir la concentración de amonio en un 35,2 %, nitrito en un 35,4 % y nitrato en un 57,3 %, resultados que evidencian una mejora sustancial en la calidad del agua y una mayor eficiencia de los procesos biológicos asociados al ciclo del nitrógeno, disminuyendo la acumulación de metabolitos potencialmente tóxicos para el cultivo de camarón.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados presentaron un comportamiento estable durante el periodo experimental. La temperatura permaneció prácticamente constante con una variación de apenas 0,24 %, mientras que el pH se incrementó en 2,84 % y el oxígeno disuelto aumentó en 9,21 %, manteniéndose dentro de rangos adecuados para favorecer

la actividad metabólica de los microorganismos benéficos y de los organismos empleados en el sistema de regeneración ambiental.

El establecimiento de *Thalassiosira sp.*, evidenciado por el incremento de la biomasa algal durante el ensayo, junto con la acción filtradora de *Crassostrea gigas* y la actividad metabólica de las bacterias benéficas, permitió conformar un sistema integrado de biorremediación que favoreció la remoción de nutrientes y el mejoramiento de la calidad del agua residual. Estos resultados demuestran la complementariedad funcional de las tecnologías sostenibles utilizadas en el estudio.

El análisis de correlación de Spearman permitió identificar relaciones significativas entre algunos parámetros fisicoquímicos del agua, destacándose la correlación negativa entre el pH inicial y el oxígeno disuelto inicial ($\rho = -0,487$; $p = 0,013$) y la correlación positiva entre el nitrato inicial y el oxígeno disuelto inicial ($\rho = 0,479$; $p = 0,016$), lo que evidencia la interacción existente entre los procesos de oxigenación y transformación del nitrógeno durante la regeneración del agua residual. Estas relaciones contribuyen a comprender la dinámica del sistema y respaldan el efecto del tratamiento sobre la calidad del agua.

Los resultados obtenidos responden a la pregunta de investigación planteada, demostrando que la implementación de tecnologías sostenibles aplicadas a la acuicultura contribuye a la sostenibilidad ambiental del cultivo de *Penaeus vannamei* al favorecer la regeneración de las aguas residuales, mejorar sus características fisicoquímicas y reducir la carga de compuestos nitrogenados, incrementando así el potencial de reutilización del recurso hídrico y promoviendo prácticas acuícolas más sostenibles y ambientalmente responsables.

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento al Instituto Tecnológico TECNO ECUATORIANO, a sus directivos, administradores, cuerpo de docentes e investigadores, que cada día dan lo mejor de sí y transmiten ese espíritu de transformación educacional, en aras de formar profesionales responsables, dedicados, competentes, con ética y alta calidad moral, que ayuden a solucionar los problemas del entorno y la sociedad

G. V. V.

Referencias

- Arbour, A. B. (2024). Evaluación del ciclo de vida sobre la viabilidad ambiental del tratamiento de aguas residuales basado en microalgas para sistemas de acuicultura de recirculación de camarones. *Bioresource Tech. Elsevier*.
- Ariyanto, I., & al., e. (2023). The role of probiotics in vannamei shrimp aquaculture performance – A review. *F1000 Research Ltd. / Taylor & Francis*.
- Bhatt, P. B. (2024). Consorcio de algas y bacterias autóctonas en el tratamiento de aguas residuales de camarones: Un estudio para la recuperación de recursos en un sistema de acuicultura sostenible. *Environmental Research. Elsevier*.

- Costa, L. P. (2021). Eliminación de biofloc por la ostra *Crassostrea gasar* como especie candidata para un sistema de acuicultura multitrófica integrada (IMTA) con el camarón marino *Litopenaeus vannamei*. *Acuicultura. Elsevier*.
- Costa, LCO, Poersch, LHS, Abreu, & PC. (2021). Efecto de la densidad de siembra de *Crassostrea* sp. en un sistema de biofloc multitrófico con *Litopenaeus vannamei* en un vivero. *Acuicultura. Elsevier*.
- Danial Iman Haris, J. Y. (2024). The use of commercial feed and microdiets incorporated with probiotics in Penaeid shrimp culture: a short review. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 52(3), 52(3). 350–367.
- De Lima, P. D. (2022). Uso de cámara de recirculación y sedimentación en cultivo multitrófico simbiótico de *Crassostrea* sp. con *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research. Wiley*.
- Goto, G. C. (2023). Un enfoque de soluciones basadas en la naturaleza para la gestión de efluentes de la acuicultura de camarones. *PLOS Sustainability and Transformation. Public Library of Science*.
- Hernández, R. . (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Herrera Meza, L. (2021). *Ecología, cambio climático y sexta extinción*. McGraw-Hill España .
- Khanjani, M. H., Mozanzadeh, M. T., Gisbert, E., & Hoseinifar, S. H. (2024). Probióticos, prebióticos y simbióticos en la acuicultura de camarones: sus efectos sobre el rendimiento del crecimiento , las respuestas inmunitarias y la microbiota intestinal . *Informes sobre acuicultura*.
- Kong, X. y. (2023). Los bivalvos mejoraron la calidad del agua al modificar la composición bacteriana en los sedimentos y el agua en un sistema IMTA. *Investigación en acuicultura. Wiley*.
- Ma, S. D. (2023). Cultivo en tándem de camarones y bivalvos mediado por microalgas: una solución con beneficios ambientales y para la salud que permite la recuperación de fósforo y la reducción de emisiones. *Fronteras en la Ciencia Marina. Medios Frontiers*.
- Malacalza, L. (2020). *Fundamentos de ecología y medio ambiente*. Ecoe Ediciones.
- Mazón-Suástegui, J. M.-O.-M.-S.-V.-F.-C. (2022). Crecimiento mejorado de la ostra *Crassostrea* sp. cultivada bajo el concepto de acuicultura multitrófica integrada (IMTA), utilizando efluentes de granja de camarón *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Research. Wiley*.
- Mignon, S. G. (2020). Microbiota digestiva del camarón. *Aquaculture. Elsevier*.
- Pimentel, O. A., Wilson, W., Oliveira, S. d., R., B., & D., y. K. (2024). Microbial community composition, nitrification process, and growth of *Penaeus vannamei* in a synbiotic nursery system inoculated with different probiotic microorganisms. *Aquaculture, . Elsevier, , Vol. 592, Art. 741254*.
- Raza, B., Zheng, Z., Zhu, J., & Yang, W. (2024). Una revisión: Microbios y su efecto en el rendimiento de crecimiento de *Litopenaeus vannamei* durante el cultivo. *Microorganismos. Editorial MDPI. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Basel, Suiza*.

- Rivera Barrero, C. A., & Saltaren García, L. (2021). *Manual de buenas prácticas acuícolas y de manufactura: (1 ed.)* . Sello Editorial Universidad del Tolima .
- Romero Ormazábal, R. E. (2002). *Microflora en ostras chilenas y su incidencia en la colonización por vibrios patógenos y en la descomposición post cosecha*. Universidad de Chile.
- Song, X. P. (2020). Evaluación de la capacidad de carga para el cultivo de camarones en estanques con técnicas de biorremediación integradas. *Aquaculture Research*. Wiley.
- Tabrett, S., Ramsay, I., Paterson, B. D., & Burford, M. A. (2024). Una revisión de los beneficios y limitaciones del tratamiento de nutrientes residuales en la acuicultura. *Resenas en acuicultura Wiley*..
- Zhang, & al, e. (2025). Desarrollo de un sistema integrado de biotratamiento de microalgas y bacterias para la eliminación eficiente de nitrógeno y la mejora de la productividad en la acuicultura de camarones. *Algal Research*. Elsevier.
- Zhang, A. S. (2025). El papel de las microalgas en la acuicultura de *Penaeus vannamei*: Explorando la importancia de la tecnología de biofloc. *Acuicultura*. Elsevier.
- Zhou, T. H. (2021). Tratamiento de efluentes del cultivo de camarón mediante el cultivo integrado de bivalvos y algas . *Asian Agricultural Research*. Prensa de Ciencia y Tecnología Agrícola de China.

Evolución histórica de la producción acuícola de *Penaeus vannamei* en Ecuador y la influencia climática

*Historical evolution of *Penaeus vannamei* aquaculture production in Ecuador and its climatic influence*



Johnny Chavarría Viteri

Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano
PhD en Ingeniería Ambiental



Dennis Tomalá Solano

Universidad Estatal Península de Santa Elena
Magister en Acuicultura

Resumen:

La producción acuícola de *Penaeus vannamei* en Ecuador ha experimentado una notable expansión desde su inicio en la década de los 1970s, consolidándose como un referente mundial en la industria. Este estudio analiza su evolución a través de series de tiempo de producción y temperatura superficial del mar del área Niño 1+2, en formato anual para el periodo 1976-2024, y mensual para 1994-2024, enfatizando en el impacto de factores climáticos y cambios estructurales en el sector, así como un análisis cronológico de las enfermedades. Ello permitió organizar las fases históricas en cuatro etapas: inicio hasta la crisis de la mancha blanca (1976-1999), post Mancha Blanca - recuperación (2000-2010), expansión sostenida (2011-2018) y boom exportador a China (2019-2024). La metodología incluyó la estimación de promedios climatológicos para cada etapa y su contraste con la climatología marina. Finalmente se aplicó un proceso de regresión y correlación entre las variables, con énfasis en la fase post Mancha Blanca, para lo cual se contó con una muestra de 132 datos mensuales por variable. Los resultados revelaron persistencia de la influencia de variaciones climáticas en baja (PDO, El Niño, La Niña) y alta (estacionalidad – intraestacionalidad) frecuencia sobre la producción. La regresión registró un coeficiente $r=0,55822$, y que el 31,2 % de la variable producción es explicada por la variable climática. El ANOVA determinó que la regresión es significativa al 95% de confianza ($p=9,1892E-12$). Se puede indicar que el control sanitario sostenible requiere integrar vigilancia climática a los sistemas ya implementados para reducir riesgo y asegurar estabilidad productiva frente a nuevos escenarios climáticos previstos.

Palabras clave: Camarón blanco, Enfermedades del camarón, Mancha blanca, El Niño, La Niña, Variabilidad climática

Abstract:

Aquaculture production of *Penaeus vannamei* in Ecuador has experienced significant expansion since its inception in the 1970s, establishing itself as a global benchmark in the industry. This study analyzes its evolution through time series of production and sea surface temperature in the Niño 1+2 area, in annual format for the period 1976–2024, and monthly for 1994–2024, emphasizing the impact of climatic factors and structural changes in the sector, as well as a chronological analysis of diseases. This allowed organizing the historical phases into four stages: beginning until the white spot crisis (1976–1999), recovery (2000–2010), sustained expansion (2011–2018), and export boom to China (2019–2024). The methodology included the estimation of climatological averages for each stage and their comparison with marine climatology. Finally, a regression and correlation process was applied between the two variables, with emphasis on the post-white spot. The results revealed a persistent influence of low (PDO, El Niño, La Niña) and high (seasonality - intraseasonality) climatic variations on production. The regression coefficient was $r = 0.55822$, and 31.2% of the production variable was explained by the climatic variable. The ANOVA determined that the regression was significant at the 95% confidence level ($p = 9.1892E-12$). It can be indicated that sustainable sanitary control requires integrating climatic surveillance into already implemented systems to reduce risk and ensure productive stability in the face of new expected climatic scenarios.

Keywords: White shrimp, Shrimp diseases, White spot, El Niño, La Niña, Climate variability

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La acuicultura ecuatoriana de *Penaeus vannamei* constituye un ejemplo destacado del potencial agroexportador sudamericano, lo cual se ha logrado en base al dinamismo y desarrollo de cualidades de la industria como resiliencia, investigación e innovación tecnológica. El sector ha alcanzado la madurez en cerca de 57 años de evolución, desde 1968, cuando inició (Cobo Cedeño, 1974) potencialmente vinculada a condiciones favorables presentadas durante la ocurrencia del evento climático El Niño 1968-1969 (NOAA CPC, 2025).

Estas primeras experiencias ocurrieron en el archipiélago de Jambelí, provincia de El Oro, donde, a decir de Tabares (2023), producto de la marea durante los aguajes, quedaban atrapados camarones en los salitrales y lagunas costeras cercanas a los manglares, donde luego crecían normalmente, situación que fue observada y aprovechada por los pioneros de la industria.

Posteriormente, el sector evolucionó a través de varias etapas delimitadas por, cambios de estrategias productivas, enfermedades, cambios ambientales, retos sanitarios y cambios de mercado, las cuales han sido estudiadas por múltiples autores *e. g.* Stern & Sonnenholzner (2024) describieron la historia de la acuicultura del camarón en Ecuador, desde la posición como productor menor, en los inicios de la industrialización en los 1970s, hasta su liderazgo mundial actual; por otro lado, desde el punto de vista del comercio exterior, el acuerdo comercial con China (Lujan, 2020) potenció el panorama exportador, consolidando un crecimiento exponencial que ha sido objeto de estudio por Franco Borbor (2024), Ochoa López & Mina Bayas (2023), Álvarez Landívar (2024), Amerise (2023) y Trejo López (2022), etc; otro campo amplio de estudios ha sido el de las enfermedades, destacándose estudios como los del WSSV (Virus del Síndrome de la Mancha Blanca) por Rodríguez et al. (2003), el sistema de alerta epidemiológica realizado por Bayot (2006), los estudios de dispersión del TSV (Virus del Síndrome de Taura) realizado por Wertheim et al. (2009), o el de Lightner (2011) quien indica que “las enfermedades causadas por virus, bacterias similares a rickettsias, bacterias verdaderas, protozoos y hongos han surgido como las principales enfermedades del camarón de cultivo en la región”. Algunas de las situaciones mencionadas tienen el potencial de ser climáticamente moduladas.

En este contexto, una investigación efectuada por el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM) de la ESPOL, para el desarrollo del producto ACUICLIMA (Molina, 2003), concluyó que “... la acuicultura del camarón en Ecuador se ve influenciada por la estacionalidad anual, y por eventos correspondientes a una alta variabilidad climática en diferentes escalas de tiempo, tales como: El Niño/La Niña...” (Chavarría, 2003). El estudio tuvo validez desde los inicios de la industrialización en los 1970s, hasta el período post “mancha blanca” en los primeros años de la década de los 2000, destacándose que los El Niño estuvieron asociados a condiciones favorables para la producción, mientras que, en contraste, las condiciones frías de La Niña promovieron el desarrollo de epidemias como el Síndrome de la Gaviota, el Síndrome de Taura y la enfermedad de la Mancha Blanca. Más recientemente, la influencia de la temperatura sobre la infección por WSSV ha sido abordada por

Valladares et al. (2024) quienes determinaron experimentalmente una menor probabilidad de infección a 31 °C en comparación con una exposición a 24°C, ambos casos en combinación con otra variable controlada. Mientras que, en el sudeste asiático, Aziz et al. (2018) han explorado los efectos del cambio climático en la productividad de los cultivos de *P. Vannamei* por, en un marco climatológico estacional similar al ecuatoriano.

En tal sentido, es necesario destacar que el período inicial de la acuicultura del camarón estuvo asociado a la fase cálida de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), la cual favorece la ocurrencia recurrente de eventos cálidos (sucesivos El Niño) durante su largo período de duración de entre 20 a 30 años (Chavarría Viteri & Tomalá Solano, 2012). Esta coincidencia promovió el despegue de la actividad en Ecuador entre las décadas de los 70s a 90s, con eventos El Niño como los de 1973 (fuerte), 1976-77, 1982-83 (extraordinario), 1987 (fuerte), 1992 (Fuerte) y 1997-98 (extraordinario), mientras que a partir de 1998 - 99 se pasó a la fase fría de la PDO con la ausencia de eventos cálidos extraordinarios, como ha ocurrido hasta ahora.

La influencia climática y más específicamente de la temperatura, ha sido abordada por varios autores, promoviendo distintas estrategias de manejo post mancha blanca, entre los cuales se puede mencionar los trabajos de:

Bayot (2002) y Bayot (2004) quien, con enfoque epidemiológico, estudió los efectos de parcelar los estanques en áreas de tamaños grandes y pequeños, a fin de evitar el agrupamiento de camarones en las piscinas, disminuyendo las oportunidades de infección, lo cual se realizó en época cálida y época fría.

Piedrahita (2018) reporta la implementación de barreras sanitarias como instrumentos para prevenir el ingreso de enfermedades emergentes *e. g.* el Síndrome de Mortalidad Temprana, prohibiendo la importación de camarón en cualquiera de sus fases de desarrollo y restringiendo la entrada de insumos procedentes de países que representen un factor de riesgo.

Castillo-Ochoa & Velásquez-López (2021) demostraron diferencias en los cultivos del camarón entre la estación fría y la estación cálida. En la primera, que es más extendida en el tiempo, se realizó a una menor densidad de siembra, con tiempos de cultivo más largos (22 semanas) y se realizaron en forma trifásica, con una supervivencia de 75,3%; mientras que, en la segunda, los cultivos fueron bifásicos con períodos más cortos (18,5 semanas) y una supervivencia de 79,31%.

Martínez-Ordoñez & Tomalá-Solano (2025) evaluaron experimentalmente el crecimiento y rendimiento de larvas de *P. vannamei*, desde nauplio 5 hasta PL-10, bajo distintas densidades de siembra, a una temperatura de 33°C, en consideración a que estas temperaturas promueven la metamorfosis larval y controlan enfermedades como la Mancha Blanca.

En definitiva, la crisis ocasionada por el WSSV representó un punto de inflexión en la industria, que impulsó la adopción de nuevas prácticas de manejo y el fortalecimiento institucional del sector.

En este contexto, el análisis histórico de la producción local de *P. vannamei* y su relación con variables climáticas resulta fundamental para comprender los factores que han sostenido el liderazgo actual. Es factible entonces plantear las siguientes preguntas

¿En qué medida la variabilidad climática, representada por la temperatura superficial del mar (TSM) y los fenómenos oceánico-atmosféricos asociados, ha influido en la producción acuícola de *Penaeus vannamei* durante el período post Mancha Blanca, y cuál ha sido su importancia para la sostenibilidad del sector camaronero ecuatoriano?

Hipótesis nula (H_0): La variabilidad climática, expresada a través de las fluctuaciones de la TSM y de eventos como El Niño/La Niña, no ejerce una influencia significativa sobre la producción acuícola de *P. vannamei* durante el período post Mancha Blanca, por lo que no constituye un factor determinante para la sostenibilidad del sector camaronero ecuatoriano.

Hipótesis alterna (H_A): La variabilidad climática, expresada a través de las fluctuaciones de la TSM y de eventos de baja frecuencia como El Niño/La Niña, mantiene una influencia significativa sobre la producción acuícola de *P. vannamei* durante el período post Mancha Blanca, constituyendo un factor determinante para la sostenibilidad y el desempeño productivo del sector camaronero ecuatoriano.

Metodología

Con el objeto de explorar relaciones entre la variabilidad climática y la producción de camarón blanco en Ecuador, se trabajó con series de tiempo de Temperatura Superficial del Mar (TSM) y producción camaronera de exportación.

Además, se investigó de manera cronológica y referenciada, la ocurrencia de enfermedades/síndromes del camarón de cultivo, que se han presentado a lo largo de la historia camaronera del Ecuador, procurando establecer potenciales relaciones con el clima, en particular con la temperatura del agua.

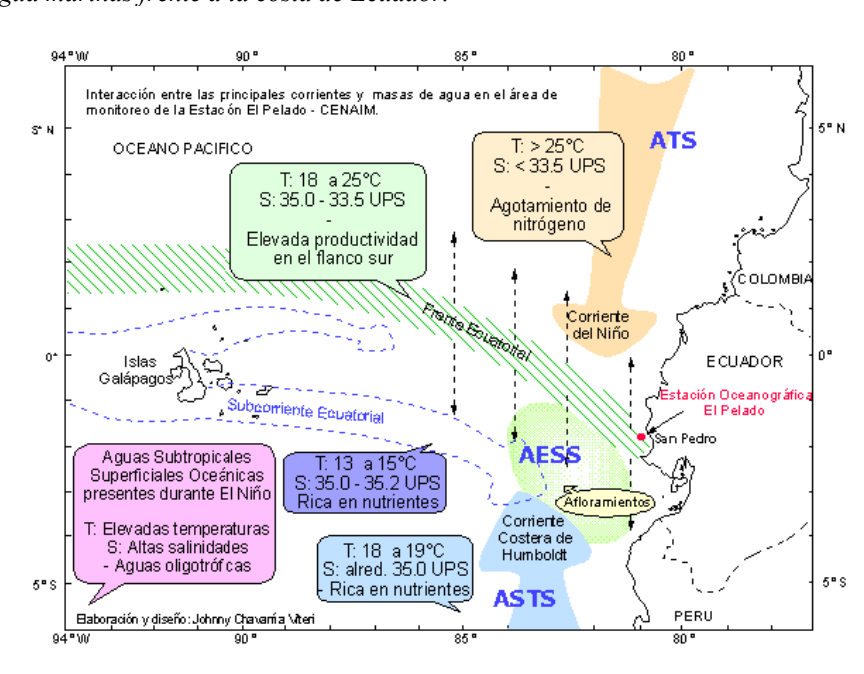
La TSM constituye un indicador de las masas de agua frente a las costas de Ecuador (Figura 1) las cuales influyen las distintas fases de la actividad camaronera desarrolladas a lo largo de la costa ecuatoriana. En la región norte predomina el Agua Tropical Superficial (ATS) que se transporta a la región por la corriente del Niño, mientras que al sur se localiza el Agua Subtropical Superficial, transportada al área por la corriente costera de Humboldt; entre ellas se localiza el Frente Ecuatorial, al sur del cual se producen afloramientos de la corriente de Cromwell (Chavarría Viteri, 2015). De estas masas de agua, el ATS es la que está asociada a la presencia natural de camarón blanco, y la que presenta mejores condiciones para el camarón de cultivo. Cabe resaltar que esta masa de agua hace presencia en el área de interés, principalmente entre los meses de enero a abril.

En este contexto, para la TSM se seleccionó la serie mensual obtenida con el método de reconstrucción ERSSTv5 (TSM reconstruida extendida, V.5) del área Niño 1+2 (0-10°Sur) (90°-80°Oeste) (Figura 1), obtenida principalmente de datos de boyas, flotadores ARGO y barcos (Huang et al., 2017). La serie original presenta un período base climatológico de treinta años (1990-2020), conforme a lo establecido por la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera de USA (NOAA, 2025) a fin de filtrar los efectos del cambio climático. Cabe resaltar que el Índice Oceánico del Niño (ONI), índice principal de la NOAA para el seguimiento de El Niño en el océano Pacífico,

utiliza la información ERSSTv5 de TSM, en el área Niño 3.4, para su determinación (Lindsey, 2009).

Figura 1

Masas de agua marinas frente a la costa de Ecuador.



En un primer paso, la información de TSM fue procesada obteniendo promedios anuales para el período 1976-2024 a fin de comparar los datos con la serie anual de producción acuícola y determinar las ocurrencias de eventos El Niño y La Niña y establecer las conexiones cronológicas con las enfermedades ocurridas. Por otro lado, con los datos mensuales se calcularon los promedios climatológicos, tomando como base el período establecido por la NOAA.

La serie de producción se la obtuvo en dos períodos de disponibilidad, el primero de 1976 a 1993 estuvo conformado por información anual de producción acuícola obtenida de la Dirección General de Pesca por Chavarría (2003a), mientras que la información de 1994 a 2024 se obtuvo de la Cámara Nacional de Acuicultura (CNA, 2025). Con ambas fuentes se integró una serie continua anual 1976 – 2024, que en conjunto con el análisis cronológico de las enfermedades y la serie de TSM e índice ONI (NOAA CPC, 2025), sirvió para determinar el efecto de la variable climática sobre los cultivos en el rango interanual. Esta serie permitió también definir fases en la acuicultura del camarón blanco en Ecuador.

La serie 1994 – 2024, se obtuvo también en valores mensuales, lo que permitió calcular promedios climatológicos por etapas: 1) 1994-99, período de inicio hasta la Mancha Blanca; 2) 2000-10, post - Mancha Blanca; 3) 2011-18, período de expansión; y, 4) 2019-24, Boom exportador a China.

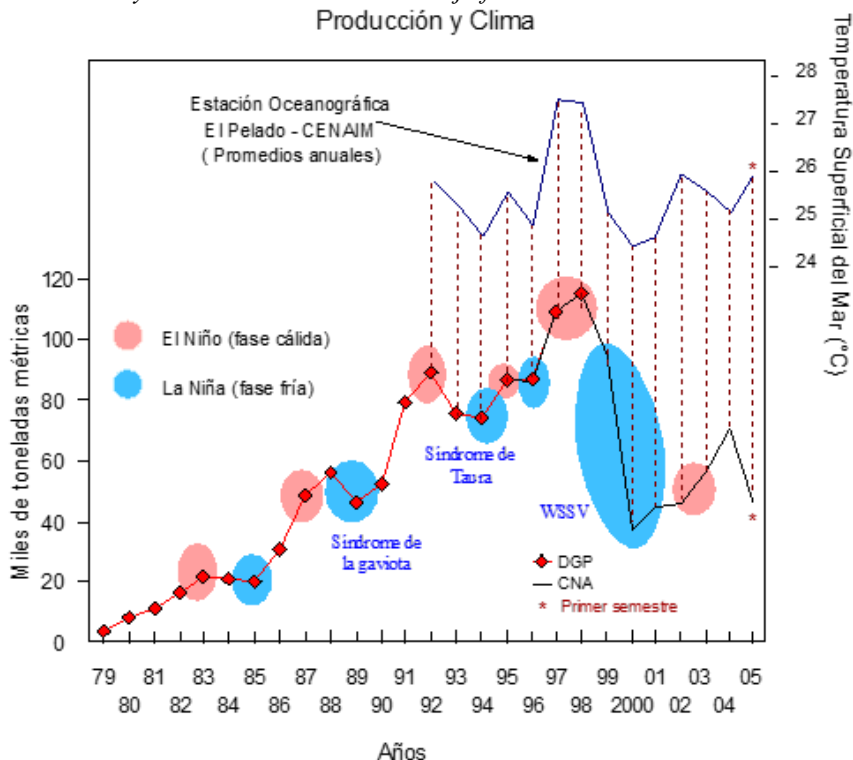
Cabe resaltar que la Etapa 1, fue investigada por Chavarría (2003a), quién mostró como la variabilidad climática de baja frecuencia está relacionada a los picos de

producción durante episodios El Niño (fase cálida), mientras que las caídas asociadas a la presencia de enfermedades ocurrieron durante La Niña (fase fría) (Figura 2).

Con el antecedente previo, el trabajo se amplió a las etapas siguientes moduladas por nuevas variables, como son las estrategias de manejo post Mancha Blanca, mejoramiento genético y nuevas exigencias sanitarias.

Figura 2

Producción camaronera y variabilidad climática de baja frecuencia en Ecuador durante la Etapa 1.
Producción y Clima



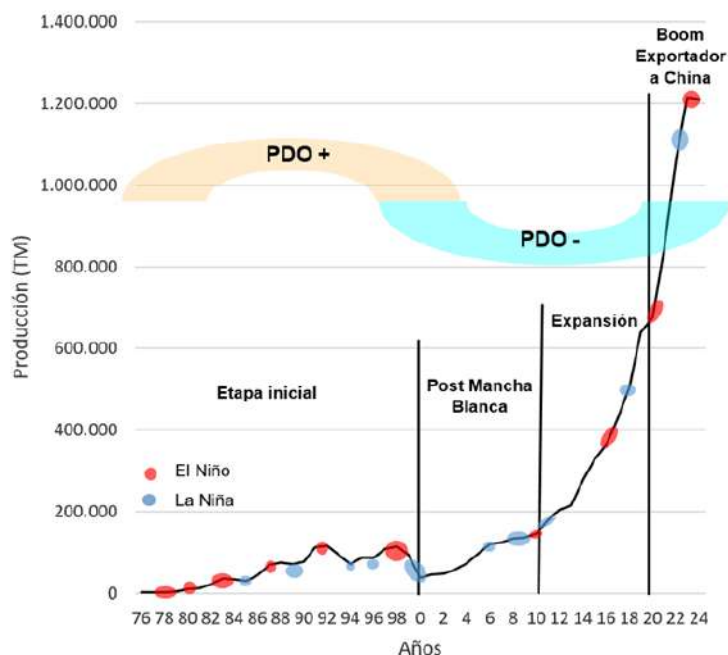
A objeto de estimar en qué grado las variables TSM (independiente) y Producción (dependiente) están relacionadas, se realizó una regresión lineal. En consideración a la alta variabilidad de la producción mensual de camarón, se aplicaron técnicas clásicas del análisis de series de tiempo para lo cual se aplicó el filtro pasa bajo (bajas frecuencias) de doble media corrida de tres meses a la serie de producción, a fin de filtrar las oscilaciones de alta frecuencia o ruido (Tene Cabrera et al., 2023) introducidas por variables de mercado. Previamente se eliminó la tendencia de esta serie mediante el método de diferencias (Andrade Chávez, 2023) con el objeto de que las dos series sean comparables. Tanto la aplicación del filtro pasa bajo, como la eliminación de la tendencia se realizó en la página Excel donde se sistematizó la información de las variables, mientras que el análisis estadístico de regresión, correlación y ANOVA de la regresión se realizó con el software estadístico SPSS versión 26.

Resultados

En la Figura 3 se presenta el gráfico actualizado de producción acuícola, mostrando las cuatro etapas definidas en este trabajo.

Figura 3

*Etapas de la evolución de la producción acuícola de *P. vannamei* en Ecuador.*



Nota. Basados en información de NOAA, DGP, CNA y Chavarría Viteri & Tomalá Solano (2012). Autores, (2025)

En cada etapa se ha resaltado con círculos de color rojo los eventos El Niño y azul los eventos La Niña, además, se ha destacado las fases positiva y negativa de la PDO. La etapa inicial ocurrió íntegramente bajo la fase positiva, observándose la influencia recurrente de eventos cálidos El Niño durante ese período incipiente, donde cada ocurrencia motivó un incremento en la producción, mientras que cada enfriamiento representó una caída y en algunos casos la presencia de una enfermedad o epizootia. Mientras que las fases siguientes se han desarrollado bajo la fase negativa de la PDO, con una menor cantidad de eventos anómalos. Cabe destacar que, durante estas fases, el efecto de la variabilidad de baja frecuencia parece no haber generado impactos tan significativos sobre la producción, como durante la primera fase.

Vinculación de las enfermedades con el clima

La Tabla 1 resume las distintas enfermedades presentadas en los cultivos de *P. Vannamei* en un contexto temporal y climático.

Tabla 1*Cronología de las enfermedades más importantes de P. Vannamei de cultivo en Ecuador.*

Enfermedad / síndrome	Agente principal	Brotos documentados	Provincias / zonas reportadas	Referencias
Etapas 1 hasta Enfermedad de la Mancha Blanca	Etapas 1 hasta Enfermedad de la Mancha Blanca	Etapas 1 hasta Enfermedad de la Mancha Blanca	Etapas 1 hasta Enfermedad de la Mancha Blanca	Etapas 1 hasta Enfermedad de la Mancha Blanca
Síndrome de la Gaviota	Epidemia masiva de vibriosis: predominantemente Vibrio parahaemolyticus, V. vulnificus y V. alginolyticus.	1988 -1990	Estuario interior del Golfo de Guayaquil	Mohney et al. (2007)
Síndrome de Taura (TSV)	Taura Syndrome Virus (TSV)	Emergió en Ecuador en 1991–1994; impacto histórico en 1990s.	Cuenca del río Taura, Guayas y zonas productoras.	Lightner (2011) Wertheim et al. (2009) WOAH Org. (2009)
Enfermedad de la Mancha Blanca	White Spot Syndrome Virus (WSSV)	Brotos con mortalidad desde mayo 1999; impacto mayor 1999–2000.	Esmeraldas, Guayas y zonas costeras productoras.	Rodríguez et al. (2003)
Etapas post Mancha Blanca	Etapas post Mancha Blanca	Etapas post Mancha Blanca	Etapas post Mancha Blanca	Etapas post Mancha Blanca
Infección por el virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética	Infectious Hypodermal & Hematopoietic Necrosis Virus (IHHNV)	Detecciones y vigilancia desde 1990s; estudios regionales confirmaron presencia en 2000s–2020s.	Guayas, El Oro, Esmeraldas (estudios recientes).	Aranguren Caro et al. (2022)
Enfermedad de Necrosis Hepato-pancreática Aguda (AHPND)	Vibrio parahaemolyticus con toxinas PirAB. Existe una correlación genética positiva entre la resistencia a VP AHPND y las características de crecimiento de P. vannamei	Las infecciones con cepas de Vibrio parahaemolyticus aún no han causado altos niveles de mortalidad en Ecuador. Se ha reportado evidencia de resistencia a AHPND en camarones ecuatorianos	Vigilancia nacional. Sólo se han reportado indicios con cierto nivel de plausibilidad.	Martínez Soler et al. (2025)
Vibriosis	Vibrio spp.	Endémica; estudios de prevalencia y resistencia antimicrobiana publican datos desde 2000s–2020s. En un estudio realizado en 2015 en 229 muestras, 219 (95,6%) dieron positivo para Vibrio spp.	El Oro, Guayas	Sperling et al. (2015)
Necrosis muscular / cuadros tipo IMNV	Bacterias del género Vibrio	Casos de necrosis muscular reportados (cuadros desde 2000s–2010s); vigilancia y estudios locales.	Granjas con problemas de crecimiento; reportes técnicos.	Tomalá Bazán (2010)

Nota. Autores, (2025)

En la etapa pre Mancha Blanca las primeras epidemias que afectaron los cultivos fueron:

El Síndrome de la Gaviota, entre 1988 hasta 1990, Mohny et al. (2007) indican que la epizootia coincidió con un período de sequía severo que redujo la descarga del río Guayas, incrementando la salinidad y la concentración de nutrientes, favoreciendo el crecimiento de los vibrios causantes de la enfermedad. El evento coincidió con la presencia del evento frío La Niña.

El Síndrome de Taura (TSV) se identificó por primera vez en Ecuador en 1991, siendo reconocida como una enfermedad importante de *P. vannamei* de cultivo (Wertheim et al., 2009; WOAHOrg. 2009; Lightner, 2011), presentándose en el período 1994-96, caracterizado por un episodio prologado de La Niña.

La enfermedad de la Mancha Blanca, que reportó mortalidades, inducidas por el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) desde mayo de 1999, mostrando una asociación entre temperaturas bajas y mayores tasas de mortalidad en camarónicas (Rodríguez et al., 2003), en asociación a un episodio extraordinario de La Niña, desde julio de 1998 a febrero de 2001.

La Niña también marcó el paso de la fase cálida de la PDO a la fase fría que, combinada con un ascenso lento de la temperatura por el cambio climático, presentó un esquema centrado en la normalidad, con pocas variaciones durante cerca de 25 años, modulando incluso El Niño 2023-24, proyectado como extraordinario, pero que no alcanzó esa intensidad en Ecuador. Este período ha sido denominado como “La Nada” (Buis, 2013), estando caracterizado por un comportamiento en que, aproximadamente, la mitad de los años han experimentado condiciones de La Nada, en comparación con alrededor del 20% de El Niño y el 30% de La Niña.

En este escenario climático estable, se desarrollaron las siguientes etapas de la acuicultura del camarón blanco en Ecuador. En este contexto, se analizan los siguientes escenarios planteados, conforme se presentó en la Figura 3:

La infección por el virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética (IHHNV) es un patógeno endémico en la mayoría de los países de América Latina, causando deformidad y retraso del crecimiento en *P. vannamei*, no obstante las líneas de camarón actualmente cultivadas en Ecuador son tolerantes a los genotipos circulantes de IHHNV (Aranguren Caro et al., 2022). A decir de Defaz Alvarado (2020) su incidencia ha descendido, a tal punto que ya no representa un riesgo mayor. Los reportes de los años 2012 a 2015, presentaron una incidencia mayor en los meses de transición a la estación fría y durante el pico estacional frío hacia la primavera del sur.

Enfermedad de Necrosis Hepatopancreática Aguda (AHPND): no hay reportes específicos de la enfermedad. Experimentos relacionados a ella, en Ecuador, han sido realizados a 35 ups y a una temperatura de alrededor de $30 \pm 0,1$ °C (Martínez Soler et al., 2025), combinación de parámetros coincidentes con aguas subtropicales asociadas a El Niño.

Vibriosis: El estrés hipertérmico es una limitante al momento de controlar la presencia de *Vibrios* patógenos en la larvicultura de camarón, las temperaturas mayores a las óptimas, disminuyen la resistencia a la infección con *Vibrios* (Rivera Altamirano, 2018).

Necrosis muscular: Bajo condiciones experimentales: bacterias del género *Vibrio* junto al estrés por baja temperatura ($T = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$) inducirían la expresión de necrosis muscular en *P. vannamei* (Tomalá Bazán, 2010).

Aun cuando, en la fase negativa de la PDO, la influencia climática de El Niño/La Niña sobre la producción parece haber decrecido en la post mancha blanca, en realidad el sistema se ha adaptado al clima. La revisión indica que este sigue siendo importante y que constituye un parámetro de gestión. Durante el prolongado período de “normalidad” climática, la producción ha manejado una estrategia climatológica.

Climatologías de la TSM Niño 1+2 y Producción

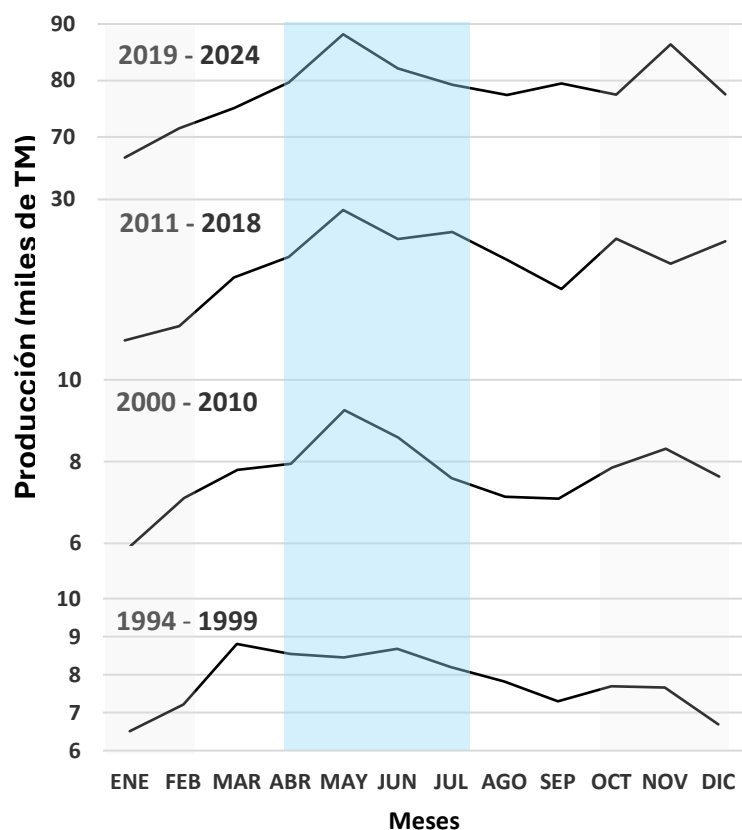
La Figura 4 presenta la climatología de la TSM en el área Niño 1+2 (Figura 1), representando muy bien la estacionalidad climática de la mayor parte de la costa ecuatoriana (hasta la línea ecuatorial). Se resalta que el período cálido (húmedo) se extiende generalmente desde enero hasta abril, mientras que después de uno o dos meses de transición se pasa a la estación fría (seca), la cual se extiende principalmente entre los meses de julio a mediados de noviembre, presentando generalmente una mayor extensión temporal que la estación cálida.

Figura 4

Climatología de la Temperatura Superficial del Mar en área Niño 1+2



Por su parte, la Figura 5 presenta la climatología de la producción ecuatoriana de cultivo de camarón blanco. Las franjas verticales indican los períodos asociados a las estaciones climáticas costeras de la Figura 4, con un desfase de 3 a 4 meses (duración del período de cultivo).

Figura 5*Climatologías de las distintas etapas de la producción de *P. vannamei* en Ecuador*

Los datos expresan que, a pesar del incremento exponencial de la producción, en las distintas fases se presenta un comportamiento estacional con dos picos estacionales, uno principal y otro secundario. El primero es un pico sostenido asociado a la estación cálida, centrado en el mes de mayo, mientras que el segundo pico, centrado en octubre-noviembre es más corto y es la respuesta a la fase de siembra al inicio de la estación fría. Se destaca que los efectos de la estación fría sobre la producción se prolongan hasta aproximadamente mediados de febrero del año siguiente, cuando se cosechan las últimas siembras realizadas durante el período frío, las cuales son las más bajas del año. La vinculación de la producción con el clima en las fases post Mancha Blanca es evidente también en la escala estacional, mediante la aplicación estrategias de manejo que se han adaptado a los ciclos de calor y frío.

Relación entre las variables

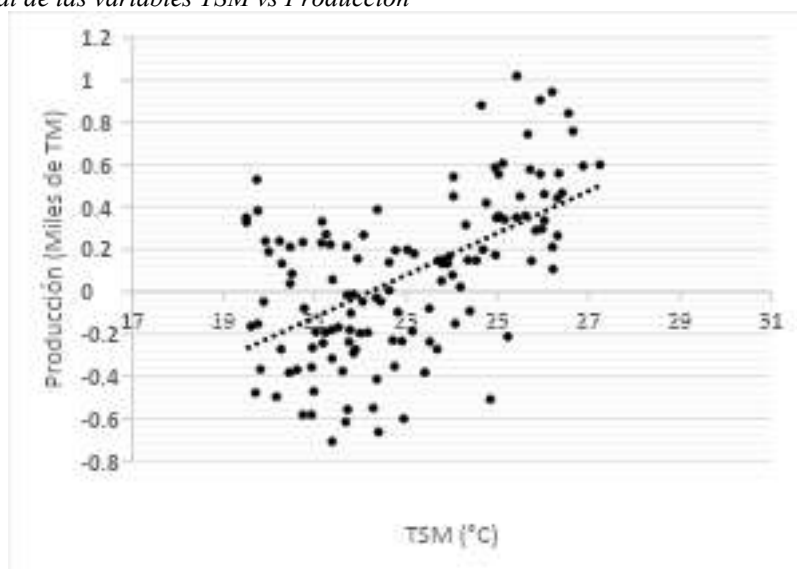
Conforme se describió en el componente metodológico, se realizó el análisis de regresión (Figura 6) para el período post mancha blanca (2000-2010) en consideración a que constituyó un largo período de normalidad climática (La Nada) con una tendencia ascendente sostenida pero lineal, mientras que las fases posteriores presentan tendencia exponencial.

Los resultados de la regresión registraron un coeficiente de correlación $r=0,55822$, un coeficiente de determinación $R^2=0,31160$ (el 31,2 % de la variable de respuesta es explicada por la variable independiente). El Análisis de Varianza determinó

que la regresión es significativa al 95% de confianza ($p= 9,1892E-12$). Se concluye que, aun cuando el coeficiente r es de nivel medio, es estadísticamente significativo, demostrando la persistencia de la influencia climática durante la fase posterior a la mancha blanca.

Figura 6

Regresión lineal de las variables TSM vs Producción



171

Discusión

Existe evidencia de que la primera fase de la acuicultura del camarón blanco en Ecuador hasta la aparición de la mancha blanca, la producción estuvo climáticamente modulada, tanto en la baja (El Niño/La Niña) como en la alta (estacionalidad e intraestacionalidad) frecuencia (Molina, 2003), período que coincidió además con la fase positiva de la PDO. Las evidencias epidemiológicas de esta fase, mostraron que los eventos climáticos han asociado los descensos de temperatura a mayores tasas de mortalidad, lo que permitió consolidar protocolos de manejo térmico y bioseguridad en las décadas siguientes. El cambio a la fase negativa de la PDO (enfriamiento) y el ascenso sostenido de la temperatura (calentamiento moderado) ocasionaron un largo y poco acostumbrado período de normalidad climática, para lo cual no existía antecedentes en la acuicultura local.

Durante este período los cultivos han experimentado una recuperación y expansión notable, impulsada por una gestión estratégica en que la adaptación climática parece haber sido trascendente, como lo indican Castillo-Ochoa & Velásquez-López (2021) quienes plantean que en la estación cálida se aprovecha un mejor factor de conversión alimenticia y de ganancia en peso con un menor tiempo de cultivo, mientras que en la estación fría, el sistema trifásico permite mantener la producción y contrarrestar los efectos de las bajas temperaturas, es decir que el sector se ha adaptado mediante estrategias innovadoras y técnicas de cultivo *e. g.* con respecto a las estrategias de densidad de siembra Martínez-Ordoñez & Tomalá-Solano (2025) estudiaron la densidad

de siembra en estado larvario en condiciones de hipertermia (similares a las de El Niño), mientras que, Naranjo Tibanlombo (2016) lo hizo a nivel de granja, concluyendo que la densidad es directamente proporcional al rendimiento pero inversamente proporcional al crecimiento y supervivencia. La densidad varía de acuerdo a la estación climática, buscando obtener el mejor rendimiento.

Durante las fases post mancha blanca también se presentaron mejoras en la genética de reproductores y apertura de nuevos mercados, especialmente el mercado chino, motivando un incremento exponencial en la producción. Defaz Alvarado (2020) sostiene que actualmente el sector maneja de manera más eficaz la producción, con una adecuada gestión desde los laboratorios en la fase de maduración, con un control eficiente de los parámetros microbiológicos y con programas adecuados de bioseguridad, logrando obtener larvas de mejor calidad y de mayor resistencia.

En este contexto, se puede indicar que la PDO modula la fuerza y las teleconexiones de El Niño/La Niña en la costa ecuatoriana (Chavarría Viteri & Tomalá Solano, 2012); explicando por qué la respuesta sanitaria y productiva varía entre décadas y estacionalmente, dificultando proyecciones sanitarias y productivas. Actualmente nos encontramos en fase de transición de retorno a la fase positiva de la PDO y este nuevo escenario podría suponer nuevos retos a la industria. Se puede indicar que el control sanitario sostenible requiere integrar vigilancia climática a los sistemas ya implementados para reducir riesgo y asegurar estabilidad productiva frente a los nuevos escenarios climáticos.

Conclusiones

El procesamiento de las series de tiempo de TSM y producción, en escalas interanual y climatológica, y la relación cronológica con las enfermedades, aportó evidencias sobre la interacción entre producción acuícola y variabilidad climática, en el período post mancha blanca. Determinando además la existencia de cuatro etapas en la acuicultura ecuatoriana del camarón blanco: 1) período de inicio hasta la enfermedad de la mancha blanca, fuertemente modulado por el clima; 2) post - mancha blanca (2000-10); 3) período de expansión (2011-18); y, 4), boom exportador a China (2019-24), y su vinculación a las dos fases de la PDO ocurridos a lo largo de la historia acuícola ecuatoriana.

Los resultados también encontraron que luego de la mancha blanca, la gestión se ha adaptado a la variabilidad climatológica mediante la implementación de estrategias de cultivo y el fortalecimiento genético del camarón. No obstante, el análisis de regresión entre las series mensuales de TSM y de producción reportó un coeficiente $r = 0,55822$, estadísticamente significativo al 95% de confianza, permitiendo concluir que, persiste la influencia climática durante la fase posterior a la mancha blanca.

Referencias

- Álvarez Landívar, C. D. (2024). *Análisis del sector camaronero ecuatoriano. Desarrollo, crecimiento y posicionamiento como exportador. Periodo 2010-2023* [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14723>
- Amerise, A. (2023, abril 21). Cómo Ecuador se convirtió en el mayor exportador mundial de camarones (y qué papel clave jugó China). *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-65247655>
- Andrade Chávez, F. M. (2023). Un modelo de series de tiempo ARIMA para pronosticar la variable generadora de ingresos por negociaciones de renta variable en el mercado de valores en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 16(2), 1-12. <https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4496>
- Aranguren Caro, L. F., Gomez-Sanchez, M. M., Piedrahita, Y., Mai, H. N., Cruz-Flores, R., Alenton, R. R. R., & Dhar, A. K. (2022). Current status of infection with infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus (IHHNV) in the Peruvian and Ecuadorian shrimp industry. *PLoS ONE*, 17(8), 19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272456>
- Aziz, N., Misiran, M., Yin, T. S., Yee, T. H., Hui, N. J., Pei, L. Y., Mahat, N. I., Yusof, M. M., & Ruddin, A. S. (2018). The Effect of Climate Change to the Farm Shrimp Growth and Production: An Empirical Analysis. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4.1), 138-141. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.1.28242>
- Bayot, B. (2002). Efecto de la Parcelación sobre la Propagación de la Enfermedad. *Cenaim Informa - Boletín Informativo No. 57*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8460>
- Bayot, B. (2004). Parcelación de piscinas camaroneras (experimento en época fría). *Cenaim Informa - Boletín Informativo No. 101*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8460>
- Bayot, B. (2006). *Sistema de alerta epidemiológico y de manejo acuícola (saema) (parte I)*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8416>
- Buis, A. (2013, septiembre 8). «La Nada» climate pattern lingers in the Pacific. NASA Climate Change: Vital Signs of the Planet. <https://climate.nasa.gov/news/981/la-nada-climate-pattern-lingers-in-the-pacific>
- Castillo-Ochoa, B. del C., & Velásquez-López, P. C. (2021). Manejo estacional de los sistemas de producción de camarón en el Ecuador. *Sociedad & Tecnología*, 4(3), Article 3. <https://doi.org/10.51247/st.v4i3.151>
- Chavarría, J. (2003). Desarrollo de un sistema de alerta climática para acuicultura (parte II). *Cenaim Informa*, (82).
- Chavarría Viteri, J. (2015). *Macro y microzonificación del mar ecuatoriano para el desarrollo de la maricultura de pargo (Lutjanus guttatus) y huayaipe (Seriola rivoliana) usando criterios de sostenibilidad* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2143>

- Chavarría Viteri, J., & Tomalá Solano, D. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y pesquerías en el Ecuador. *Ciencias Pedagógicas e Innovación*, 1(1). <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/7829>
- CNA. (2025). *Estadísticas Camarón – Reporte de Exportaciones Ecuatorianas Totales* [Institucional]. Cámara Nacional de Acuicultura - Estadísticas. <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- Cobo Cedeño, M. (1974). *EL CULTIVO DEL CAMARON EN EL ECUADOR* (159 Volumen 1 SE 32; Informes de Pesca, FAO). ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. <https://www.fao.org/4/ac866s/AC866S32.htm>
- Defaz Alvarado, M. B. (2020). *Frecuencia de positivos para la necrosis hipodérmica y hematopoyética infecciosa (IHHNV) en camarones entre la época seca y lluviosa* [B.S. thesis, ESPOL]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/49649>
- Franco Borbor, S. A. (2024). *Análisis de la Evolución de las Exportaciones Ecuatorianas de Camarón Blanco Litopenaeus Vannamei al Mercado Chino en el período 2019-2023* [Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Administrativas]. <https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/78076>
- Huang, B., Thorne, P. W., Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., & Zhang, H.-M. (2017). Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons. *Journal of Climate*, 30(20), 8179-8205. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>
- Lightner, D. V. (2011). Virus diseases of farmed shrimp in the Western Hemisphere (the Americas): A review. *Journal of Invertebrate Pathology, Diseases of Edible Crustaceans*, 106(1), 110-130. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2010.09.012>
- Lindsey, R. (2009, agosto 30). *Variabilidad climática: Índice de El Niño Oceánico*. NOAA Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-nino-index>
- Lujan, M. (2020, agosto 17). Protocolo sanitario y de bioseguridad de camarón ecuatoriano de exportación a China tiene plena vigencia. *Aquahoy*. <https://aquahoy.com/protocolo-sanitario-bioseguridad-camaron-ecuadoriano-exportacion-china-vigencia/>
- Martínez Soler, M., Shin, H. S., Lorenzo-Felipe, Á., Zamorano Serrano, M. J., Castro, P. L., Pachón Mesa, L. C., Rodríguez, J. A., Tomalá, C., Sonnenholzner, S., Carneiro, R., Mekki, W., Aranguren, L. F., Reyes Abad, E., & Afonso López, J. M. (2025). Genetic parameters of resistance to acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) caused by *Vibrio parahaemolyticus* and their genetic correlations with growth traits in an Ecuadorian *Penaeus vannamei* population. *Aquaculture*, 604, 742458. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742458>
- Martínez-Ordoñez, M. A., & Tomalá-Solano, D. G. (2025). Evaluación del crecimiento y rendimiento de larvas de *Penaeus vannamei* bajo distintas densidades de siembra en condiciones controladas. *STUDIES IN ENVIRONMENTAL AND ANIMAL SCIENCES*, 6(3), e20004-e20004. <https://doi.org/10.54020/seasv6n3-002>

- Mohney, L. L., Lightner, D. V., & Bell, T. A. (2007). *An Epizootic of Vibriosis in Ecuadorian Pond-Reared Penaeus vannamei Boone (Crustacea: Decapoda)*. 25(1), 116-125. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1994.tb00811.x>
- Molina, C. (2003). Insumos con propiedades aglutinantes I. Efectos sobre la estabilidad física del alimento preparado para reproductores de *Litopenaeus vannamei*. *Cenaim Informa*, (84). <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8480/1/bquinc84.pdf>
- Naranjo Tibanlombo, J. R. (2016). *Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento y sobrevivencia de camarón blanco (Litopenaeus Vannamei, Perez-Farfante y Kensley, 1997)* [Maestría en Ciencias con énfasis en Manejo sustentable de Biorrecursos y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/25231>
- NOAA. (2025). *Climate Prediction Center—Monitoring & Data: Current Monthly Atmospheric and Sea Surface Temperatures Index Values*. NOAA National Weather Service CPC. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>
- NOAA CPC. (2025). *Cold & Warm Episodes by Season*. NOAA National Weather Service - Climate Prediction Center. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Ochoa López, P. A., & Mina Bayas, L. A. (2023). Análisis breve sobre el impacto del precio del camarón en exportaciones del Ecuador periodo 2018-2022. *South Florida Journal of Development*, 4(7), 2800-2812. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n7-019>
- Piedrahita, Y. (2018, junio 25). *Shrimp farming industry in Ecuador, part 1—Historical evolution, genetic improvement, mangrove reforestation, sanitary barriers and other developments*. Global Seafood Alliance. <https://www.globalseafood.org/advocate/shrimp-farming-industry-in-ecuador-part-1/>
- Rivera Altamirano, R. M. (2018). *Efecto de la temperatura sobre la susceptibilidad del Camarón Blanco Penaeus Vannamei a Vibrio Parahaemolyticus* [bachelorThesis, ESPOL. FIMCM: Acuicultura]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/45476>
- Rodríguez, J., Bayot, B., Amano, Y., Panchana, F., De Blas, I., Alday, V., & Calderón, J. (2003). White spot syndrome virus infection in cultured *Penaeus vannamei* (Boone) in Ecuador with emphasis on histopathology and ultrastructure. *Journal of Fish Diseases*, 26(8), 439-450. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.2003.00483.x>
- Sperling, L., Alter, T., & Huehn, S. (2015). Prevalence and Antimicrobial Resistance of *Vibrio* spp. In Retail and Farm Shrimps in Ecuador. *Journal of Food Protection*, 78(11), 2089-2092. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-160>
- Stern, S., & Sonnenholzner, S. (2024). Semi-Intensive Shrimp Culture, the History of Shrimp Farming In Ecuador. En *The Shrimp Book* (pp. 207-232). <https://doi.org/10.1079/9781800629349.0008>
- Tabares, S. (2023, mayo 10). *El nacimiento casual de la acuicultura de camarón ecuatoriana*. Sustainable Shrimp Partnership.

- <https://sustainableshrimppartnership.org/es/el-nacimiento-casual-de-la-acuicultura-de-camaron-ecuatoriana/>
- Tene Cabrera, K. A., Garzón Montealegre, V. J., Quezada Campoverde, J. M., & Carvajal Romero, H. R. (2023). Pronóstico de la demanda de carne de ganado vacuno en la provincia de El Oro, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 5468-5482. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4866
- Tomalá Bazán, V. J. (2010). *Estudio de la necrosis muscular en el camarón blanco Penaeus Litopenaeus vannamei cultivado en Ecuador* [UPSE]. <https://repositorio.upse.edu.ec/items/b03a9cc3-6725-4751-aed8-38509a171512>
- Trejo López, Y. J. (2022). *Evaluación de la evolución del mercado de exportación de camarón ecuatoriano hacia China durante el periodo 2017- 2021* [bachelorThesis]. <https://repositorio.ecotec.edu.ec/handle/123456789/553>
- Valladares, A., Domínguez-Borbor, C., Echeverría, F., Panchana, F., Betancourt, I., Sonnenholzner, S., Bayot, B., & Rodríguez, J. (2024). The influence of temperature and β -1,3-glucans on the occurrence of white spot syndrome virus and white spot disease in post-larvae of *Penaeus vannamei* shrimp. *Fish & Shellfish Immunology*, 154, 109938. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109938>
- Wertheim, J. O., Tang, K. F. J., Navarro, S. A., & Lightner, D. V. (2009a). A quick fuse and the emergence of Taura syndrome virus. *Virology*, 390(2), 324-329. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2009.05.010>
- Wertheim, J. O., Tang, K. F. J., Navarro, S. A., & Lightner, D. V. (2009b). A quick fuse and the emergence of Taura syndrome virus. *Virology*, 390(2), 324-329. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2009.05.010>
- WOAH Org. (2009). TAURA SYNDROME. En *Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals CHAPTER 2.2.4*. (6th edition, pp. 105-120). World Organisation for Animal Health. https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/International_Standard_Setting/docs/pdf/2.2.04_TAURA.pdf?utm_source=chatgpt.com

Inteligencia Artificial aplicada a un chatbot jurídico conforme al derecho ecuatoriano

Artificial Intelligence Applied to a Legal Chatbot Compliant with Ecuadorian Law



Efrain Henry Tibanta Narvaez
Instituto Superior Tecnológico Tungurahua
Magister en Electrónica y Automatización



Pablo David Pazmay Pazmay
Instituto Superior Tecnológico España
Máster en Derecho Laboral



Jenny Alexandra Núñez Villacis
Instituto Superior Tecnológico Tungurahua,
Magister en Ingeniería del Software

Resumen

La inteligencia artificial legal es la accesibilidad, control, procesamiento e interpretación de la información legal mediante el uso de la tecnología. En Ecuador, existe una falta de información legal y conocimientos jurídicos, y la información existente no es fácil de acceder. La brecha también se debe a la falta de conocimiento legal y la incapacidad de hacer preguntas contextuales de manera rápida y precisa en el marco legal. Esta investigación tuvo como objetivo diseñar, entrenar y validar un marco de chatbot de inteligencia artificial legal dentro de las normativas legales de Ecuador. La investigación se realizó de enero a junio de 2024 con un enfoque cuantitativo, tipo de investigación aplicable, método no experimental, diseño funcional descriptivo y validación funcional. La población estuvo formada por 30 profesionales jurídicos, abogados asesores legales y académicos seleccionados mediante muestreo intencional. Hubo cuatro etapas en el proceso metodológico: construcción del corpus legal, curatoria y normalización textual estandarizada, entrenamiento mediante procesamiento de lenguaje natural conversacional, inteligencia artificial con aprendizaje automático y validación funcional. Los resultados muestran un 87% de coherencia jurídica en la consulta realizada y la respuesta legal proporcionada por el chatbot de IA, un 91% de idoneidad en la recuperación de citas legales respecto a las leyes citadas relevantes para la consulta del usuario, y una disminución promedio del 62% en el tiempo de búsqueda de una pregunta legal en particular en comparación con la investigación legal tradicional. Es evidente que el chatbot asistente legal ofrece una herramienta eficiente de apoyo en la investigación jurídica, pero depende en gran medida de la supervisión humana. El objetivo es mejorar la eficiencia y precisión de las consultas legales; sin embargo, depende de modificaciones continuas en la ley a medida que las partes interesadas externas e internas proporcionan información legal específica del usuario con trazabilidad de las fuentes si es necesario, observando las obligaciones éticas y profesionales, y manteniendo la integridad de la información legal con la ayuda del chatbot de IA.

Palabras clave: inteligencia artificial; chatbot jurídico; derecho ecuatoriano; procesamiento del lenguaje natural; responsabilidad jurídica.

Abstract

Artificial intelligence applied to the legal field represents an emerging tool for optimizing the search, interpretation, and communication of normative information. In Ecuador, timely and understandable access to legal knowledge remains a challenge, especially when users formulate legal queries in natural language or when professionals require fast and contextualized responses. The objective of this study was to design, train, and validate an artificial intelligence-based legal chatbot in accordance with the Ecuadorian legal framework. The research was conducted between January and June 2024, using a quantitative approach, with an applied, non-experimental, descriptive, and functional validation design. The study involved 30 legal professionals, legal advisors, and academics selected through intentional sampling. The methodological process included four phases: construction of the legal corpus, text curation and normalization, training through natural language processing and machine learning techniques, and functional evaluation of the system. The results showed 87% normative coherence between queries and responses, 91% accuracy in legal citation retrieval, and a 62% reduction in the average legal search time compared with the traditional method. It is concluded that the legal chatbot is a viable auxiliary tool for improving the efficiency of legal consultation, provided that its use remains subject to human supervision, continuous legal updating, source traceability, and ethical responsibility in the handling of legal information.

Keywords: artificial intelligence; legal chatbot; Ecuadorian law; natural language processing; legal responsibility.

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La creciente relevancia de la inteligencia artificial en la profesión legal puede atribuirse a la automatización de la búsqueda, clasificación, recuperación e incluso la interpretación preliminar de datos normativos. Parte de la explicación radica en los avances en algunas arquitecturas de Transformers e incluso en desarrollos más recientes en modelos de lenguaje preentrenados y procesamiento de lenguaje natural, lo que facilita una mejor comprensión del cómputo de textos complejos y de consultas en lenguaje natural (Vaswani et al., 2017; Devlin et al., 2019; Brown et al., 2020).

La profesión legal ha sido el foco de innovaciones comerciales y tecnologías desarrolladas en relación con estos avances, cubriendo un amplio espectro, desde la revisión automática de documentos y asistentes legales hasta búsquedas de contratos y jurisprudencia, incluyendo la generación automatizada de respuestas legales preliminares en marcos conversacionales. El consenso en la literatura es que la IA puede apoyar la automatización de tareas legales repetitivas y consultas, pero no reemplazará la interpretación y el razonamiento sabio de un profesional legal (Ashley, 2017; Surden, 2019; Susskind, 2019). Esto también se aplica a estudios más recientes y modelos de lenguaje legal, que contienen avances valiosos en investigación y experimentos en áreas restringidas, pero destacan los riesgos de generar información legal errónea, sin principios, no responsable, sesgada, con una trazabilidad insuficiente (Katz et al., 2024; Pasquale, 2020).

Los chatbots legales utilizan un marco de procesamiento de lenguaje natural para ayudar a los usuarios a navegar en bases de datos de documentos legales. A diferencia de los motores de búsqueda basados en la web, donde los usuarios deben ingresar consultas en un formato específico, los usuarios de chatbots basados en NLP pueden hacer sus consultas en lenguaje natural. El sistema genera una respuesta proporcionando información en una nueva estructura. La calidad de los resultados esperados se ve influenciada por (1) la riqueza y relevancia del corpus consultado (Chalkidis et al., 2020), (2) la validación recuperable y controlable en una fuente externa, y (3) la estructuración normativa mantenida por el sistema (Lewis et al., 2020).

Dentro del contexto de Ecuador, las restricciones asociadas con la disponibilidad de información legal para los usuarios provienen de las siguientes demandas: la comprensión del lenguaje legal por parte de los usuarios; la fragmentación del sistema de información legal; la necesidad de actualizaciones constantes del sistema legal; y la necesidad de respuestas directas, inequívocas y completas a las preguntas planteadas. Aunque existen compilaciones legales, bases de datos de precedentes legales, páginas web oficiales, entre otros recursos, su despliegue requiere formación legal que estudiantes, ciudadanos y profesionales pueden no poseer. Esto, en última instancia, resulta en una disparidad entre la disponibilidad formal de información legal y el acceso al sistema de información legal que se requiere.

Según el Derecho Constitucional ecuatoriano, los principios de acceso a la información pública, el derecho a la protección judicial efectiva, la certeza jurídica y el derecho a un debido proceso constituyen componentes vitales del Estado constitucional de derechos y justicia (Asamblea Constituyente de Ecuador, 2008). Por ello, es

imperativo considerar el contexto local obligatorio relacionado con la protección de datos personales (Ecuador, 2021) y la gestión responsable de dichos datos en formatos digitales, como se delimita en la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales. Por esta razón, la creación de un chatbot legal para Ecuador encarna un marco legal, ético y metodológico más allá de lo técnico.

La respuesta de la comunidad global respecto a las implicaciones de la inteligencia artificial fue rápida, y los principios propuestos siguen siendo relevantes en la actualidad. La UNESCO (2021) cita principios de supervisión humana, proporcionalidad, protección de datos y responsabilidad, mientras que la OCDE (2019) señala que la IA confiable debe ser centrada en el ser humano, alineada con los derechos fundamentales y ser confiable, segura, responsable e inclusiva. Finalmente, la Comisión Europea (2019) exige que la IA confiable cuente con supervisión humana, robustez y seguridad, protección de datos y privacidad, transparencia sustantiva, además de no discriminación, equidad y responsabilidad.

La brecha actual en el marco legal ecuatoriano es la ausencia de modelos de chatbot legal creados y validados con base en coherencia normativa, precisión recursiva a las fuentes normativas y evaluación funcional por parte de profesionales jurídicos. Esto justifica la exploración de qué tanto un asistente legal virtual puede contribuir a mejorar el tiempo de respuesta para las consultas, la claridad en las respuestas y la relevancia de las preguntas jurídicas respecto a las normas aplicables.

Para ello, diseñamos, entrenamos y validamos un chatbot legal de inteligencia artificial para procesamiento de lenguaje natural y respuesta en el marco del sistema legal ecuatoriano. La justificación técnica incorpora tres aspectos: un modelo de automatización legal para asistir y mejorar la eficiencia de las consultas legales; un análisis legal de la relación de la inteligencia artificial con la certeza jurídica y la práctica del derecho, y las actividades profesionales de los abogados como consecuencia del auge de la inteligencia artificial; y, lo más importante, la primera democratización del conocimiento jurídico mediante la provisión de una herramienta legal básica y, específicamente, un chatbot jurídico enfocado en conocimientos jurídicos básicos y de apoyo, cuyo uso deberá mantenerse para brindar apoyo legal en casos simples y no controversiales y no debe sustituir a los profesionales jurídicos en casos más complejos, controvertidos o sensibles.

Metodología

La investigación empleó un diseño cuantitativo, descriptivo con una perspectiva de validación aplicada y funcional. Se considera investigación aplicada porque tuvo la finalidad de diseñar y evaluar una herramienta tecnológica para satisfacer una necesidad específica: optimizar la búsqueda de información legal relacionada con las regulaciones ecuatorianas. Se considera investigación no experimental porque las variables independientes no pudieron ser controladas y se analizó el comportamiento del chatbot legal en un entorno de prueba. Se considera investigación descriptiva porque permitió caracterizar el comportamiento del sistema en función de los indicadores establecidos

para los criterios de validez: coherencia normativa, precisión textual, relevancia contextual y el tiempo de respuesta.

La investigación se llevó a cabo de enero a junio de 2024. La muestra estuvo formada por 30 profesionales del derecho, asesores jurídicos y académicos en derecho, seleccionados mediante muestreo por criterio. Para ser incluido en la muestra, era necesario que los participantes poseyeran experiencia profesional en el ámbito legal ecuatoriano, demostraran conocimientos en el sistema jurídico ecuatoriano y tuvieran la capacidad de evaluar la pertinencia legal de las respuestas del sistema.

El corpus legal utilizado para entrenar y validar el sistema estuvo compuesto por las fuentes normativas y doctrinales del derecho ecuatoriano. Este corpus contempló la Constitución de la República del Ecuador, leyes orgánicas, leyes ordinarias, reglamentos, doctrina jurídica y jurisprudencia nacional. Esto se realizó para dotar al modelo de un amplio corpus documental que permitiera comprender el significado del lenguaje natural y las relaciones jurídicas correspondientes.

El procedimiento metodológico se desarrolló en cuatro etapas. La formación del corpus legal fue la primera etapa, e implicó la recopilación, clasificación y organización de textos normativos y doctrinales jurídicos. La segunda etapa consistió en la revisión y normalización de textos. Aquí, los documentos recogidos se revisaron para eliminar duplicados, corregir errores tipográficos y estandarizar criterios formales, y la información se organizó en un orden coherente semántica y jurídicamente, así como en un orden de utilidad.

La tercera etapa fue el entrenamiento del chatbot legal, y en ella, el enfoque estuvo en el uso de técnicas de aprendizaje automático y procesamiento del lenguaje natural. El lenguaje jurídico, como cualquier otro lenguaje especializado, requiere corpus adaptados para los modelos entrenados, y, como indican los autores, los modelos justifican la necesidad de entrenamiento en el campo del lenguaje jurídico debido a la complejidad semántica, técnica e interpretativa de las normas jurídicas (Chalkidis et al., 2020). Las otras técnicas que apoyan el razonamiento y la estructura del lenguaje dentro del chatbot legal son los modelos de lenguaje y el aprendizaje profundo, así como la generación aumentada por recuperación (Devlin et al., 2019; Lewis et al., 2020; Vaswani et al., 2017).

El objetivo de la cuarta fase fue evaluar la funcionalidad del sistema. Los evaluadores realizaron consultas legales de diferentes complejidades y monitorearon la extracción de información legal relevante del chatbot, además de evaluar sus respuestas utilizando un marco de evaluación de funcionalidad. Este marco evaluó las respuestas con base en los siguientes cuatro criterios: coherencia normativa, recuperación de citas legales específicas, relevancia contextual y claridad en la comunicación. Además, evaluaron la eficiencia de búsqueda del chatbot respecto a cuánto tiempo tomaba en promedio realizar búsquedas frente al tiempo requerido para completar las búsquedas manualmente.

El marco de evaluación de funcionalidad, los registros de interacción y una matriz comparativa de tiempos sirvieron como base para la recopilación de datos. La evaluación se realizó con estadísticas descriptivas, y el sistema fue valorado en función de porcentajes, promedios y otros indicadores de tendencia central. La recopilación y procesamiento de datos se realizaron usando Excel y Python.

El estudio se centró en la ética e incorporó la privacidad y protección de datos, la confidencialidad de las interacciones del sistema, la trazabilidad responsable y la gestión de las fuentes normativas consultadas, así como la supervisión humana. Estos elementos corresponden a los estándares internacionales de gestión de riesgos de IA y gobernanza ética de IA responsable. El estudio consideró el sistema como un sistema de apoyo a la toma de decisiones legales, y no como un sistema autónomo de asesoramiento legal.

Resultados

La validación funcional del chatbot legal permitió evaluar métricas de rendimiento para la coherencia normativa, precisión en la recuperación de citas legales, relevancia legal de las respuestas y reducción del tiempo de búsqueda legal. Según los resultados, el sistema funcionó bien en el apoyo a la consulta de información jurídica normativa de acuerdo con el marco legal de Ecuador.

El sistema proporcionó una respuesta a una consulta legal dada en el 87% de los casos, manteniendo la coherencia normativa. Los participantes plantearon preguntas legales, y el sistema brindó una respuesta tras consultar una norma legal. La evaluación de la coherencia normativa se basó en tres categorías: la pregunta y respuesta legales; la norma legal consultada y la respuesta; y la norma legal citada y la respuesta.

El sistema demostró una tasa de precisión del 91% en la citación legal. Esta métrica describió la capacidad del sistema para vincular las respuestas con las disposiciones legales consultadas, reduciendo así la posibilidad de que el sistema ofrezca respuestas jurídicas desconectadas del sistema legal de Ecuador. La precisión en la citación legal es vital para garantizar a los respondientes la certeza jurídica y la confianza en el sistema.

En cuanto a la eficiencia en el tiempo, las búsquedas realizadas con este método lograron una tasa de utilización del 62% en comparación con las búsquedas realizadas mediante métodos tradicionales de lápiz y papel. Antes de utilizar el chatbot, cualquier búsqueda, ya sea simple, intermedia o compleja, tomaba aproximadamente de dos (2) a tres (3) minutos. Utilizando el chatbot para realizar las mismas búsquedas, el tiempo requerido en promedio era inferior a cuarenta (40) segundos. Esta eficiencia en el tiempo indica que la herramienta en cuestión es adecuada para búsquedas simples e intermedias relacionadas con las normas o disposiciones legales.

Tabla 1

Resultados de la validación funcional del chatbot jurídico

Indicador evaluado	Resultado obtenido	Interpretación
Coherencia normativa entre consulta y respuesta	87 %	Nivel alto de correspondencia jurídica entre pregunta y respuesta
Precisión en la recuperación de citas legales	91 %	Alta capacidad para vincular respuestas con fuentes normativas pertinentes
Reducción del tiempo de búsqueda jurídica	62 %	Mejora significativa frente al método tradicional
Promedio de coherencia del modelo	8,7/10	Desempeño estable en la relación entre consulta, respuesta y fundamento legal

Promedio de relevancia contextual	8,4/10	Buena pertinencia entre contexto de la pregunta y respuesta emitida
Desviación estándar en coherencia	0,6	Baja dispersión en los resultados obtenidos

Nota. Los porcentajes corresponden a los resultados obtenidos durante la validación funcional del sistema. Autores, (2025)

Una coherencia promedio del modelo de 8.7 con una desviación estándar de 0.6 indica un rendimiento relativamente consistente en el chatbot probado a través de un espectro de consultas legales. El promedio de la coherencia de las relaciones semánticas fue de 8.4. Esto indica el mantenimiento de una pregunta legal, respuesta y contexto. Además, los participantes en el estudio señalaron la capacidad del chatbot para responder preguntas de manera clara, lógica y bien organizada, y citaron las respuestas como una mejora sobre las respuestas normativas y prescriptivas. Los participantes mostraron preferencia por el chatbot sobre los recursos legales tradicionales. Se mencionó que el chatbot enfrentó desafíos con consultas legales altamente semánticas (como aquellas que contienen capas de significado), contradicciones legales y preguntas legales recientes. Los resultados confirmaron que, aunque el chatbot tiene la capacidad de responder a preguntas legales, no proporciona intencionalmente razonamiento jurídico y, por lo tanto, no debe ser un reemplazo para un profesional del derecho.

Discusión

Los resultados nos permiten establecer que el chatbot jurídico de IA ecuatoriano gestiona normas legales como una herramienta avanzada que ayuda a buscar, recuperar y realizar una revisión superficial de las normas legales. Con respecto al contexto ecuatoriano, los chatbots jurídicos de IA incluso parecieron proporcionar un grado de coherencia normativa, lo que indica que, dada su capacidad de procesamiento de lenguaje natural, el chatbot tiene el potencial de reducir la brecha entre el lenguaje técnico-legal y las expectativas de los usuarios de una respuesta pragmática.

Uno de los descubrimientos más notables es la capacidad del chatbot jurídico de IA para recuperar citas legales con una tasa de precisión del 91%. Esto, entre otras cosas, posiciona la trazabilidad de las fuentes legales como un principio fundamental de una IA responsable dentro de la profesión legal. Las respuestas legales automatizadas exigen, como mínimo, una cita normativa; una cita legal sin un respaldo normativo puede llevar al usuario a información legal errónea o crear una falsa sensación de seguridad. Esta línea de razonamiento está en línea con los principios de trazabilidad y auditabilidad planteados por la UNESCO (2021), la Comisión Europea (2019) y NIST (2023) con respecto al marco responsable de la IA.

En relación con los métodos tradicionales de búsqueda legal, una mejora en la eficiencia del tiempo de hasta el 62% indica que el chatbot jurídico asistido podría ofrecer una mejora significativa en el método de búsqueda, incluso en métodos de búsqueda legal más sencillos, o inclusive más complejos. Esto apunta a un método de búsqueda legal más eficiente; sin embargo, se entiende que el método de búsqueda legal en un contexto profesional trasciende la mera aplicación de un método de búsqueda. Para ello, Surden

(2019) propone que “la IA puede automatizar algunos componentes de la práctica legal. No reemplazará totalmente el razonamiento legal”. Además, Pasquale (2020) sostiene que “los sistemas automatizados deben complementar la experiencia humana en lugar de reemplazarla”.

Desde un punto de vista doctrinal, los hallazgos sugieren que la categorización de las disciplinas jurídicas sería un enfoque reduccionista. La aplicación de las disciplinas jurídicas implica la contextualización de los principios. Aunque el chatbot obtiene ratios aceptables en su capacidad para recuperar datos normativos, debe usarse como una ayuda técnica y no como un generador definitivo de criterios legales. Si bien la IA Legal puede identificar patrones, enlazar textos o hacer búsquedas más eficientes, no podrá reemplazar el juicio y la responsabilidad del profesional del derecho (Ashley et al, 2017, Susskind y Susskind, 2019).

Las limitaciones exhibidas en las situaciones de ambigüedad normativa, contradicciones resueltas y los desafíos de la jurisprudencia actual/legal respaldan la teoría. En todas las situaciones en las que la respuesta legal requería equilibrar derechos, un análisis de jurisprudencia legal vigente o una evaluación de un caso particular, el sistema mostró una disminución significativa en el rendimiento. Esto concierne a las preocupaciones de Mittelstadt (2019) de que los principios éticos generales de la IA carecen de sentido sin la provisión de roles específicos, supervisión y control institucional.

La calidad del corpus legal es una condición necesaria para el funcionamiento del chatbot. Fue elegido y organizado de una manera particular para garantizar que el sistema funcione. Además, la precisión del sistema depende en gran medida de la selección y curación de las fuentes. En el contexto del procesamiento del lenguaje natural legal, diferentes modelos requieren entrenamiento con distintos ejemplares del dominio legal y corpora del dominio legal para lograr relevancia en las respuestas (Chalkidis et al., 2020; Devlin et al., 2019). Los modelos de recuperación que han sido mejorados indican una tendencia positiva en la relación entre la generación del lenguaje y los documentos que se utilizan, especialmente en el contexto de regulaciones (Lewis et al., 2020).

Desde una perspectiva ética, este estudio ha demostrado que el sistema de IA legal debe incluir los principios de transparencia, trazabilidad, protección de datos, uso responsable de los algoritmos y control humano. Esto se debe a la posibilidad de que el sistema de IA legal pueda empeorar la comprensión de los usuarios sobre sus derechos y las opciones legales disponibles para ellos. La literatura sobre ética de la IA considera la privacidad, la equidad y los problemas interrelacionados de explicabilidad y responsabilidad como los elementos fundamentales de un sistema confiable (Floridi & Cowls, 2019; Baracas et al., 2023). Además, la discusión sobre la explicabilidad en los algoritmos ha indicado que las personas deben tener información suficiente para entender, evaluar y desafiar los resultados producidos por sistemas automatizados (Doshi-Velez & Kim, 2017; Wachter et al., 2017).

En cuanto a sus condiciones de uso dentro del contexto ecuatoriano, se establece que este tipo de herramienta puede democratizar el primer acercamiento a los conceptos básicos del conocimiento jurídico para usuarios que enfrentan requisitos legales elementales por primera vez. Sin embargo, esta democratización debe ser responsable.

Una respuesta automatizada incorrecta podría provocar confusión o desinformación y generar una falsa sensación de certeza legal. Por lo tanto, es imperativo incorporar dentro del modelo una advertencia respecto al uso del chatbot y la idoneidad de responder a ciertas preguntas; citar información externa verificable; proporcionar actualizaciones permanentes de la información legal; y establecer formas para que el contenido sea revisado y moderado por especialistas (abogados).

Los investigadores han llegado a varias conclusiones a partir del análisis de los resultados. En primer lugar, el chatbot legal construido y validado puede, efectivamente, funcionar como un asistente de asesoría legal para Ecuador, aunque bajo la supervisión cuidadosa de un especialista. En segundo lugar, el chatbot legal fortaleció la asistencia de asesoría legal dentro de los límites de la productividad legal, aclaraciones comunicativas y recuperación de información jurídica. Finalmente, se encontró que el chatbot legal es un constructo legítimo para la productividad de la asistencia y los servicios de asesoría jurídica. Los principales obstáculos negativos en el uso del constructo de chatbot legal fueron ambigüedades semánticas, falta de jurisprudencia o precedentes legales, e insuficiencias en la provisión de respuestas legales.

Conclusiones

La investigación descrita anteriormente llevó a la conclusión de que, en Ecuador, a través del diseño, la capacitación y la validación bajo las normas de coherencia legal, trazabilidad de fuentes, supervisión humana y compromiso ético, la inteligencia artificial generativa centrada en contenido legal podría ser utilizada como una alternativa a la consulta de regulaciones.

El chatbot desarrollado y validado interpretó positivamente las preguntas en lenguaje natural, logrando un 87 % de coherencia y un 91 % de precisión en citas legales. Estos resultados demuestran la capacidad del sistema para responder a las preguntas de los usuarios refiriéndose a normas legales específicas del sistema jurídico ecuatoriano. Se logró una reducción del 62 % en el tiempo promedio asociado a la investigación legal en comparación con el tiempo consumido en el método tradicional de consulta legal manual. Esto permitiría afirmar que, en comparación con los modos tradicionales de consulta legal, el Sistema de Consulta por Chatbot es un sistema efectivo para la recuperación de información legal para consultas regulatorias simples a medianas. Sin embargo, no reemplaza el esfuerzo del análisis legal.

Desde una perspectiva doctrinal, el sistema de consulta por chatbot no es un reemplazo para un abogado, asesor legal o juez. El sistema carece de la capacidad para interpretar la ley porque, en la evaluación de la ley, es necesario ponderar, argumentar y analizar un caso específico, funciones cognitivas que es imposible delegar en sistemas automáticos.

Las principales limitaciones fueron la incapacidad para interpretar preguntas ambiguas, contradicciones normativas no resueltas y jurisprudencia reciente. Esto ilustra la falta de un corpus legal establecido, así como la necesidad de evaluación por expertos y control de calidad de las respuestas producidas.

La introducción de la inteligencia artificial generativa en las prácticas legales también requiere salvaguardas técnicas y éticas, incluyendo la anonimización de datos personales, registro de interacciones, auditoría de los sistemas, protección de datos sensibles y divulgaciones sobre las limitaciones de los sistemas de IA. El enfoque principal de estas especificaciones es la confianza y seguridad jurídica de las tecnologías utilizadas en el ámbito legal.

El chatbot legal mejorado con IA para Ecuador es una solución pionera para ayudar a las personas a acceder a información legal primaria. El principal diferenciador de esta solución es su capacidad para proporcionar respuestas instantáneas, fáciles de entender y trazables a consultas regulatorias. Sin embargo, el uso del chatbot legal mejorado con IA para Ecuador debe realizarse en el contexto de una supervisión regulatoria continua y dentro de los límites de la Ética Profesional. La tecnología debe complementar el razonamiento legal y nunca reemplazar la interpretación jurídica esencial de un jurista.

Referencias

- Ashley, K. D. (2017). *Artificial intelligence and legal analytics: New tools for law practice in the digital age*. Cambridge University Press.
- Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial No. 449.
- Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877–1901.
- Chalkidis, I., Fergadiotis, M., Malakasiotis, P., Aletras, N., & Androutsopoulos, I. (2020). LEGAL-BERT: The muppets straight out of law school. *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2020*, 2898–2904. doi: 10.18653/v1/2020.findings-emnlp.261
- Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of NAACL-HLT 2019*, 4171–4186. doi: 10.18653/v1/N19-1423
- Doshi-Velez, F., & Kim, B. (2017). Towards a rigorous science of interpretable machine learning. *arXiv*. arXiv:1702.08608
- Ecuador. (2021). *Ley Orgánica de Protección de Datos Personales*. Registro Oficial Suplemento No. 459.
- European Commission, High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. (2019). *Ethics guidelines for trustworthy AI*. European Commission.
- Floridi, L., & Cowls, J. (2019). A unified framework of five principles for AI in society. *Harvard Data Science Review*, 1(1). doi: 10.1162/99608f92.8cd550d1
- Katz, D. M., Bommarito, M. J., Gao, S., & Arredondo, P. (2024). GPT-4 passes the bar exam. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 382(2270), 20230254. doi: 10.1098/rsta.2023.0254

- Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 9459–9474.
- Mittelstadt, B. (2019). Principles alone cannot guarantee ethical AI. *Nature Machine Intelligence*, 1, 501–507. doi: 10.1038/s42256-019-0114-4
- Pasquale, F. (2020). *New laws of robotics: Defending human expertise in the age of AI*. Harvard University Press.
- Surden, H. (2019). Artificial intelligence and law: An overview. *Georgia State University Law Review*, 35(4), 1305–1337.
- Susskind, R. (2019). *Online courts and the future of justice*. Oxford University Press.
- UNESCO. (2021). *Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
- Wachter, S., Mittelstadt, B., & Floridi, L. (2017). Why a right to explanation of automated decision-making does not exist in the General Data Protection Regulation. *International Data Privacy Law*, 7(2), 76–99. doi: 10.1093/idpl/ix005

Aplicación Web con Machine Learning para la Detección de Deepfakes y Prevención de Suplantaciones Digitales

Web Application with Machine Learning for Deepfake Detection and Prevention of Digital Impersonation



Mónica Karina Jaramillo Infante
Universidad Estatal Península de Santa Elena,
Magister en Gerencia de Tecnologías de la Información



Kleber Adrián Pilco García
Universidad Estatal Península de Santa Elena
Magister en Matemática Aplicada con Mención en
Matemática Computacional



Evelin Betsabeth Banchón Ramos
Universidad Estatal Península de Santa Elena
Magister en Tecnologías de la Información



Elsy del Rocío Villamar Garcés
Universidad Politécnica de Madrid, España
Magister en Automatización y Control Industrial

Resumen:

La creciente proliferación de las técnicas de manipulación digital basadas en inteligencia artificial ha incrementado la generación y difusión de imágenes falsas o deepfakes, constituyendo una amenaza para la seguridad digital debido a su potencial uso en procesos de desinformación, fraude y suplantación de identidad. Desarrollar e implementar una aplicación web modular basada en aprendizaje automático para la detección automatizada de imágenes manipuladas mediante técnicas de deepfake orientada a mitigar la suplantación de identidad. Metodología: Mediante un enfoque experimental aplicado, se evaluaron y compararon tres arquitecturas de redes neuronales convolucionales (CNN): MobileNetV2, EfficientNetB0 y ResNet50. Los modelos fueron entrenados y validados utilizando un dataset equilibrado de 14,000 imágenes faciales (10,000 entrenamiento, 2,000 validación y 2,000 pruebas) aplicando regularización L2 y optimización Adam. Resultados: La arquitectura MobileNetV2 demostró el rendimiento óptimo alcanzando una precisión de entrenamiento del 99.83%, precisión de prueba del 85.00%, un F1-Score de 85.00% y un área bajo la curva ROC (AUC-ROC) del 92.51%, superando drásticamente a EfficientNetB0 (AUC: 50.21%) y ResNet50 (AUC: 54.48%). Conclusiones: La integración del modelo optimizado de MobileNetV2 en una infraestructura web bajo arquitectura Flask-Angular demuestra ser una solución de ciberseguridad escalable, eficiente y de alta accesibilidad para la validación de identidad digital en tiempo real.

Palabras clave: Aprendizaje automático, Deepfakes, Detección, Identidad digital, Redes neuronales, Suplantación.

Abstract:

The rapid proliferation of artificial intelligence-driven digital manipulation tools has accelerated the spread of deepfakes, threatening cybersecurity through digital fraud and impersonation. Objective: This study developed and deployed a web application integrated with deep learning models for automated deepfake detection to reinforce digital identity verification. Methodology: A comparative experimental framework evaluated three convolutional neural network (CNN) architectures: MobileNetV2, EfficientNetB0, and ResNet50. The models were trained and tested on a balanced dataset of 14,000 facial images under controlled distributions (10,000 training, 2,000 validations, and 2,000 testing). Preprocessing included data augmentation, L2 regularization, and Adam optimization. Results: MobileNetV2 achieved the highest classification performance, exhibiting a training accuracy of 99.83%, a test accuracy of 85.00%, an F1-score of 85.00%, and a discriminative capacity with an AUC-ROC of 92.51%. Conversely, EfficientNetB0 (AUC: 50.21%) and ResNet50 (AUC: 54.48%) failed to generalize effectively. Conclusions: Integrating lightweight deep learning models into responsive web environments via a Flask-Angular pipeline represents a scalable, accessible, and high-performance solution for real-time identity protection and deepfake mitigation.

Keywords: Deepfakes, Machine learning, Identity verification, MobileNetV2, Web application, Cybersecurity.

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

El desarrollo acelerado de la inteligencia artificial (IA) y de las técnicas de aprendizaje profundo (deep learning) ha transformado significativamente la generación y procesamiento de contenido multimedia digital. Entre los avances más relevantes se encuentran los deepfakes, definidos como imágenes, audios o videos manipulados mediante redes neuronales profundas capaces de sintetizar o modificar características faciales y expresiones humanas con un alto grado de realismo. Aunque estas tecnologías presentan aplicaciones legítimas en ámbitos como la educación, la producción audiovisual y el entretenimiento, también han generado preocupaciones crecientes, se han ido convirtiendo en herramientas potenciales utilizados para el fraude, la transmisión de información equívoca y la suplantación de identidad.

La creciente disponibilidad de herramientas basadas en inteligencia artificial ha facilitado la creación y distribución masiva de contenido manipulado a través de redes sociales y plataformas digitales. Según, los avances recientes en los algoritmos generativos han incrementado notablemente la calidad visual de los deepfakes, dificultando su identificación mediante inspección humana. Esta situación representa un desafío para la ciberseguridad, la verificación de identidad digital, la investigación forense y la protección de la información, donde la autenticidad de los contenidos visuales constituye un factor esencial para la toma de decisiones y la preservación de la confianza digital.

Ante esta problemática, diversos investigadores han propuesto métodos automáticos para la detección de contenido manipulado utilizando técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo. Las redes neuronales convolucionales (CNN) han demostrado una elevada capacidad para identificar patrones visuales complejos, inconsistencias faciales y artefactos digitales imperceptibles para el ojo humano. Asimismo, estudios recientes reportan resultados prometedores en tareas de clasificación entre imágenes auténticas y manipuladas, alcanzando altos niveles de precisión en entornos controlados. Estas capacidades han convertido a las CNN en una de las arquitecturas más utilizadas para abordar problemas relacionados con la detección de deepfakes. Las notables capacidades de las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) para identificar artefactos digitales imperceptibles las han consolidado como el estándar idóneo en visión computacional forense. Por lo tanto, la presente investigación busca integrar estas capacidades algorítmicas en una plataforma web accesible, ofreciendo una herramienta operativa que responda de forma directa a la creciente necesidad de mitigar los vectores de ataque orientados a la suplantación de identidad en entornos transaccionales digitales.

No obstante, la literatura científica evidencia que aún existen desafíos importantes relacionados con la capacidad de generalización de los modelos cuando son evaluados sobre conjuntos de datos diferentes a aquellos utilizados durante el entrenamiento, así como frente a nuevas técnicas de generación de contenido sintético. Además, gran parte de las investigaciones se ha enfocado en el diseño y evaluación de algoritmos de clasificación, mientras que existe una menor cantidad de trabajos orientados a la implementación de soluciones funcionales y accesibles para usuarios finales mediante

plataformas web. Esta situación evidencia una brecha entre los avances alcanzados en el ámbito académico y su aplicación práctica en escenarios reales de verificación de contenido digital.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar herramientas tecnológicas que permitan integrar modelos de aprendizaje profundo en entornos accesibles y de fácil utilización, contribuyendo a la detección temprana de imágenes manipuladas y al fortalecimiento de los mecanismos de autenticación digital. La presente investigación plantea como hipótesis de trabajo que la integración de una arquitectura de red neuronal convolucional liviana (mobileNetV2), optimizada mediante regularización L2 y tasas de aprendizaje adaptativas, e integrada en un entorno web de baja latencia, permite clasificar imágenes sintéticas frente a reales con un área bajo la curva (AUC-ROC) superior al 90%, proporcionando un método estadísticamente confiable para mitigar la suplantación de identidad en tiempo real. Se enfatiza la importancia de construir un conjunto de datos diversos y equilibrados, teniendo en cuenta género, edad, iluminación y expresiones faciales con el fin de reducir sesgos y mejorar la generalización del modelo.

Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue desarrollar e implementar una aplicación web basada en aprendizaje automático para la detección automática de imágenes manipuladas digitalmente. El aporte científico de la investigación radica en la integración de un modelo de detección basado en redes neuronales convolucionales dentro de una aplicación web funcional orientada a usuarios finales. Asimismo, el estudio evalúa el desempeño del modelo mediante métricas cuantitativas de clasificación para determinar su capacidad de identificar imágenes manipuladas y apoyar procesos de verificación de identidad digital. De esta manera, la investigación contribuye al desarrollo de herramientas tecnológicas destinadas a mitigar los riesgos asociados a la desinformación, el fraude digital y la suplantación de identidad en entornos digitales.

Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y diseño no experimental. El estudio tuvo un alcance explicativo y correlacional, orientado al desarrollo y validación de un modelo de aprendizaje automático para la detección de imágenes manipuladas mediante técnicas deepfake. La estrategia metodológica se fundamentó en aprendizaje supervisado, estableciendo relaciones entre las características presentes en imágenes auténticas y manipuladas y la capacidad de clasificación de modelos basados en redes neuronales convolucionales (CNN). Asimismo, el desarrollo de la solución informática se realizó mediante una metodología incremental, permitiendo construir y validar progresivamente los diferentes módulos de la aplicación web.

La Arquitectura CNN (MobileNetV2), se utilizó Transfer Learning basado en ImageNet, congelando las capas base y añadiendo un bloque clasificador superior (Top Layer) compuesto por una capa de Global Average Pooling 2D, una capa densa intermedia con activación ReLU y regularización L2 (0.0005), y una capa de salida densa con un único nodo y activación Sigmoid para la clasificación binaria ($\text{Real}=0$, $\text{Fake}=1$). Flujo de Datos (Pipeline): Las 14,000 imágenes fueron redimensionadas de forma homogénea a un formato de entrada de $224 \times 224 \times 3$ píxeles.

El preprocesamiento aplicó un escalado de tensores en el rango $[0, 1]$ o $[-1, 1]$. El Data Augmentation en tiempo de ejecución constó de: rotaciones aleatorias ($\pm 15^\circ$), desplazamientos horizontales y verticales ($\pm 10\%$), y giros horizontales (Horizontal Flip) para evitar que el clasificador se memorice la orientación espacial de los rostros sintéticos generados por DeepFaceLab y Faceswap.

Conjunto de datos

El conjunto de datos estuvo conformado por imágenes faciales auténticas y manipuladas obtenidas de fuentes públicas y repositorios utilizados en investigaciones de detección de deepfakes. Para las imágenes reales se emplearon fotografías provenientes de bases de datos abiertas y conjuntos de datos disponibles para investigación, mientras que las imágenes manipuladas fueron generadas mediante herramientas especializadas de deep learning, entre ellas DeepFaceLab y Faceswap, complementadas con imágenes sintéticas generadas mediante plataformas basadas en inteligencia artificial. Este procedimiento permitió construir un conjunto de datos diverso y representativo para el entrenamiento y evaluación de los modelos. Se consideraron criterios de equilibrio relacionados con género, edad, expresiones faciales, tonalidad de piel y condiciones de iluminación con el fin de minimizar sesgos de representación. El dataset fue organizado en subconjuntos de entrenamiento, validación y prueba. La distribución utilizada contempló 10 000 imágenes para entrenamiento, 2 000 para validación y 2 000 para pruebas, manteniendo una distribución equilibrada entre imágenes auténticas y manipuladas. Esta partición permitió entrenar los modelos, ajustar parámetros y evaluar el desempeño utilizando datos no observados durante el proceso de aprendizaje.

Preprocesamiento de datos

Las imágenes recopiladas fueron sometidas a un proceso de preparación previo al entrenamiento. Este procedimiento incluyó la eliminación de registros duplicados, la reducción de ruido digital, el ajuste de tamaño para mantener un formato homogéneo y la normalización de los datos de entrada. Adicionalmente, se aplicaron técnicas de aumento de datos para incrementar la variabilidad de las muestras y mejorar la capacidad de generalización de los modelos frente a imágenes no observadas. Estas técnicas contribuyen a reducir el sobreajuste y a mejorar la robustez del sistema de detección frente a diferentes condiciones de captura y manipulación.

Entrenamiento y comparación de modelos

Para la detección de deepfakes se evaluaron tres arquitecturas de redes neuronales convolucionales: MobileNetV2, EfficientNetB0 y ResNet50. Estas arquitecturas fueron seleccionadas debido a su amplio uso en tareas de clasificación de imágenes y visión por computadora. Todos los modelos fueron entrenados utilizando el mismo conjunto de datos y configuraciones experimentales equivalentes, permitiendo una comparación objetiva de su desempeño. Se registraron métricas relacionadas con precisión de entrenamiento, precisión de validación, pérdida, recall y F1-score.

Tabla 1*Herramientas del Sistema*

CATEGORÍA	ELEMENTOS
Lenguaje de Programación	Python
Entornos de Ejecución	Jupyter Notebook
Frameworks	Flask, Angular, UI Bootstrap
Bibliotecas de Inteligencia Artificial	TensorFlow, Keras
Editor de Código	Visual Studio Code

Nota. Autores (2025)

La implementación se realizó utilizando Python 3.11 junto con TensorFlow 2.12 y Keras 3.0. Para la gestión de datos y análisis de resultados se utilizaron las bibliotecas NumPy, Pandas, Matplotlib y Scikit-learn. Los modelos fueron configurados utilizando el optimizador Adam, función de pérdida Binary Cross-Entropy, tamaño de lote de 32 imágenes y la técnica de regularización Early Stopping para controlar el sobreajuste durante el entrenamiento. Cada modelo fue entrenado durante un máximo de 50 épocas bajo condiciones experimentales equivalentes.

La comparación experimental mostró que MobileNetV2 alcanzó el mejor desempeño entre las arquitecturas evaluadas, obteniendo los valores más altos de precisión y capacidad de generalización, por lo que fue seleccionado para su integración en la aplicación web desarrollada. El modelo seleccionado fue configurado con:

- Optimizador Adam (tasa inicial = 0.001).
- Función de pérdida binary cross-entropy.
- Tamaño del lote = 32.
- Regularización L2 = 0.0005.
- Técnica early stopping con paciencia establecida en 10 épocas.

191

Desarrollo de la aplicación web

El desarrollo de la aplicación se realizó mediante una metodología incremental. El proceso se estructuró en módulos correspondientes a recopilación de datos, procesamiento de imágenes, algoritmos de detección, generación de resultados y aplicación web. Este enfoque permitió incorporar progresivamente nuevas funcionalidades y validar cada componente antes de su integración con el sistema completo. La aplicación desarrollada permite la carga de imágenes, el procesamiento automático mediante el modelo entrenado y la presentación de resultados de clasificación para apoyar procesos de verificación de identidad digital y detección de contenido manipulado.

Evaluación experimental

La evaluación del desempeño se realizó mediante métricas de clasificación ampliamente utilizadas en problemas de aprendizaje automático. Entre ellas se consideraron Accuracy, Recall, F1-Score, matriz de confusión y el área bajo la curva ROC (AUC-ROC). Estas métricas permitieron analizar la capacidad de los modelos para distinguir entre imágenes auténticas y manipuladas. El análisis se complementó con

matrices de confusión y curvas ROC, proporcionando una evaluación cuantitativa de la capacidad discriminativa de cada arquitectura evaluada.

Figura 1

Plataforma



Nota. Autores (2025)

Resultados

Comparación de arquitecturas de aprendizaje profundo

Se evaluaron tres arquitecturas de redes neuronales convolucionales: MobileNetV2, EfficientNetB0 y ResNet50, utilizando las mismas condiciones experimentales descritas en la metodología. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Comparación de desempeño de los modelos evaluados

Modelo	Precisión entrenamiento	Precisión validación	Precisión prueba	Recall	F1-Score
MobileNetV2	99,83 %	87,95 %	85,00 %	85,00 %	85,00 %
EfficientNetB0	54,61 %	60,85 %	65,00 %	65,56 %	65,00 %
ResNet50	60,86 %	65,75 %	70,00 %	70,75 %	70,00 %

Nota. Autores (2025)

Los resultados evidencian que MobileNetV2 obtuvo el mejor desempeño global entre las arquitecturas evaluadas, alcanzando una precisión de entrenamiento del 99,83 % y una precisión de prueba del 85 %. En contraste, EfficientNetB0 y ResNet50 presentaron capacidades de generalización inferiores, reflejadas en menores valores de precisión, recall y F1-score. Estos resultados justifican la selección de MobileNetV2 como modelo base para la implementación final del sistema de detección de deepfakes.

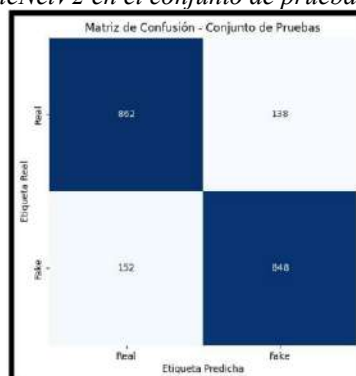
Evaluación mediante matrices de confusión

Las matrices de confusión permitieron analizar el comportamiento de los modelos en la clasificación de imágenes auténticas y manipuladas. MobileNetV2 presentó el mayor número de verdaderos positivos y verdaderos negativos tanto en entrenamiento

como en prueba, demostrando una elevada capacidad para distinguir correctamente entre imágenes reales y deepfakes. Por el contrario, EfficientNetB0 y ResNet50 mostraron una mayor proporción de errores de clasificación, especialmente en el conjunto de prueba. Estos resultados evidencian una mejor capacidad de generalización de MobileNetV2 frente a datos no observados previamente, característica fundamental para aplicaciones de verificación de identidad digital.

Figura 2

Evaluación del desempeño de MobileNetV2 en el conjunto de pruebas



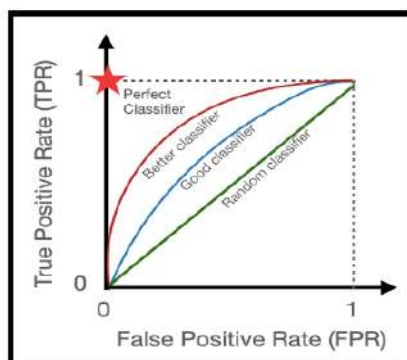
Nota. Autores (2025)

Análisis de capacidad discriminativa (ROC-AUC)

La capacidad discriminativa de los modelos fue evaluada mediante curvas ROC y el área bajo la curva (AUC). El modelo seleccionado alcanzó un valor AUC de 92,96 %, indicando una excelente capacidad para diferenciar imágenes auténticas de imágenes manipuladas. Un valor cercano a 1 demuestra que el modelo mantiene simultáneamente altos niveles de sensibilidad y especificidad, reduciendo la probabilidad de clasificaciones erróneas. Este resultado confirma la utilidad del modelo como herramienta de apoyo para procesos de autenticación digital y detección temprana de contenido manipulado.

Figura 3

AUC-ROC del modelo en pruebas



Nota. Autores (2025)

Tabla 3

Resultados AUC de modelos

Modelo	AUC
Base (MobileNetV2)	0.9250615
EfficientNetB0	0.5021260000000001
ResNet50	0.544818

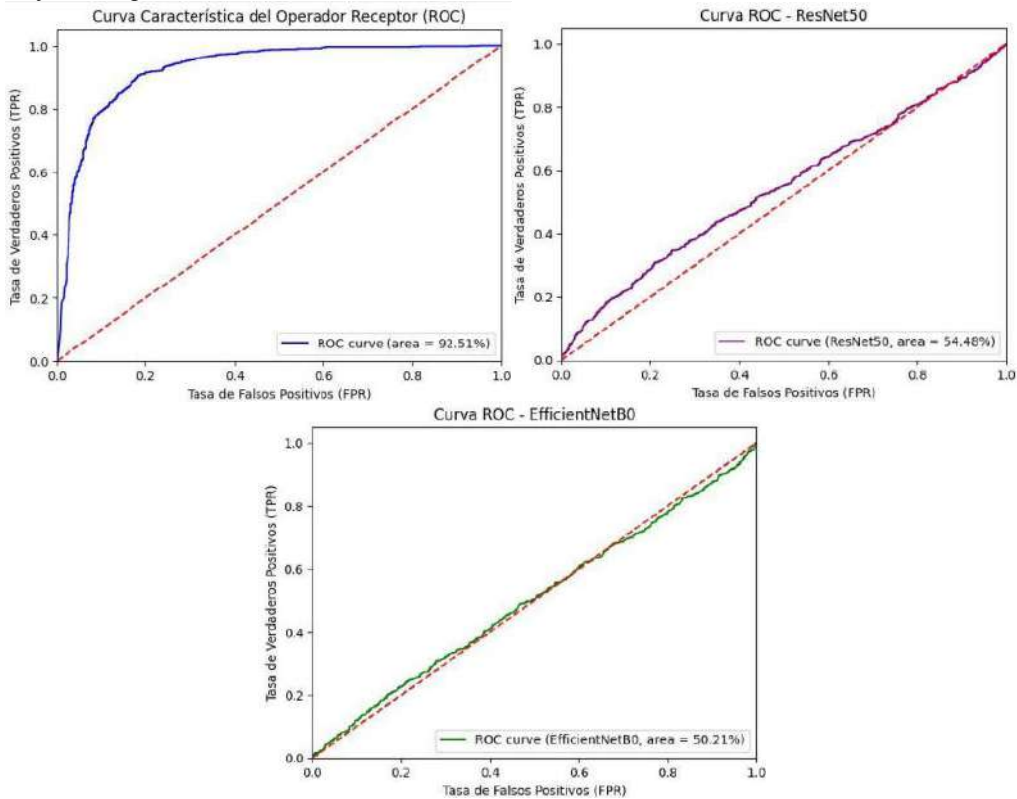
Nota. Autores (2025)

Análisis de la capacidad de generalización del modelo

Los resultados obtenidos en el conjunto de pruebas evidencian diferencias en la capacidad de generalización de las arquitecturas evaluadas. MobileNetV2 mostró un comportamiento consistente al clasificar correctamente la mayoría de las imágenes reales y manipuladas, lo que indica una adecuada capacidad para mantener su desempeño frente a datos no utilizados durante el entrenamiento. En contraste, EfficientNetB0 y ResNet50 presentaron un mayor número de errores de clasificación en el conjunto de prueba, reflejando limitaciones para adaptarse a nuevas muestras y una menor capacidad de discriminación. Estos hallazgos se corroboran mediante las matrices de confusión y los valores del área bajo la curva ROC (AUC), los cuales respaldan la selección de MobileNetV2 como la arquitectura con mejor desempeño para la detección de deepfakes.

Figura 4

Curvas ROC obtenidas para los modelos MobileNetV2, EfficientNetB0 y ResNet50 durante la evaluación en el conjunto de prueba.



Nota. Autores (2025)

La curva correspondiente a MobileNetV2 presenta el mayor desempeño discriminativo, evidenciado por un área bajo la curva (AUC) superior respecto a las demás arquitecturas evaluadas.

Evaluación funcional de la aplicación web

Además de la evaluación del modelo de aprendizaje profundo, se realizaron pruebas funcionales sobre la aplicación web desarrollada. Las pruebas incluyeron validación de formatos de imagen, detección de deepfakes, generación de reportes PDF, restablecimiento de la interfaz y manejo de errores del servidor. Todas las funcionalidades evaluadas fueron ejecutadas satisfactoriamente, evidenciando la estabilidad operativa del sistema. Los resultados mostraron que la aplicación permite cargar imágenes en múltiples formatos, analizar automáticamente su autenticidad, presentar información estructurada al usuario y generar reportes detallados de los resultados obtenidos.

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que las redes neuronales convolucionales constituyen una alternativa eficaz para la detección automática de imágenes manipuladas mediante técnicas deepfake. En particular, MobileNetV2 presentó el mejor desempeño entre las arquitecturas evaluadas, lo que coincide con la evidencia reciente que destaca la capacidad de los modelos basados en aprendizaje profundo para identificar patrones discriminativos en imágenes sintéticas y manipuladas.

La evaluación mediante matrices de confusión y curvas ROC confirmó la capacidad del modelo seleccionado para distinguir entre imágenes auténticas y manipuladas. El elevado valor del área bajo la curva (AUC) y las métricas de clasificación obtenidas respaldan su utilidad como herramienta de apoyo para procesos de verificación de identidad digital y detección de contenido sintético. Asimismo, la utilización de un conjunto de datos balanceado y la aplicación de técnicas de preprocesamiento contribuyeron a mejorar la estabilidad del entrenamiento y la capacidad de generalización del modelo frente a datos no observados. Este resultado concuerda con revisiones recientes que señalan que las arquitecturas CNN, cuando se entrenan con conjuntos de datos adecuados y diversos, pueden alcanzar altos niveles de precisión y robustez en tareas de detección automática.

Los resultados obtenidos en esta investigación son consistentes con estudios recientes que destacan la eficacia de las redes neuronales convolucionales (CNN) para la detección de imágenes manipuladas mediante técnicas deepfake. Revisiones sistemáticas han demostrado que los modelos basados en aprendizaje profundo constituyen una de las estrategias más efectivas para identificar contenido sintético, debido a su capacidad para extraer características discriminativas y reconocer patrones complejos presentes en imágenes manipuladas. Asimismo, análisis comparativos entre diferentes arquitecturas evidencian que el desempeño de estos modelos depende en gran medida de la calidad del conjunto de datos de entrenamiento y de su capacidad de generalización frente a distribuciones no observadas, aspecto que continúa siendo uno de los principales desafíos en este campo. En este contexto, los resultados obtenidos con MobileNetV2 en el presente

estudio, reflejados en sus elevados valores de precisión y desempeño discriminativo, respaldan su idoneidad para aplicaciones de verificación de identidad digital y detección automática de contenido manipulado, manteniendo coherencia con las tendencias reportadas en la literatura científica reciente.

Desde una perspectiva aplicada, la integración del modelo en una aplicación web facilita su utilización por parte de usuarios sin conocimientos especializados, ampliando sus posibilidades de implementación en ámbitos como la verificación de identidad digital, la detección de desinformación y el apoyo a procesos de validación de contenido multimedia. No obstante, los resultados obtenidos deben interpretarse como un mecanismo de apoyo a la toma de decisiones y no como un sustituto del análisis forense especializado. Sin embargo, al igual que se reporta en investigaciones recientes, la rápida evolución de las técnicas de generación de deepfakes exige la actualización continua de los modelos y la evaluación sobre nuevos conjuntos de datos para mantener un desempeño adecuado en entornos reales

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra la dependencia de los conjuntos de datos utilizados para el entrenamiento y la evaluación, los cuales, aunque balanceados y diversos, no representan la totalidad de escenarios posibles de manipulación digital. En consecuencia, futuras investigaciones podrían incorporar bases de datos adicionales, evaluar el desempeño frente a nuevas técnicas de generación de deepfakes y explorar estrategias que incrementen la robustez y capacidad de generalización del sistema en contextos de aplicación reales.

Conclusiones

El presente estudio demostró que la integración de técnicas de aprendizaje profundo en una aplicación web constituye una alternativa viable para la detección automática de imágenes manipuladas mediante deepfakes. Entre las arquitecturas evaluadas, MobileNetV2 presentó el mejor desempeño en términos de precisión y capacidad de discriminación, lo que permitió su selección como modelo para la implementación del sistema desarrollado.

Los resultados obtenidos evidencian que el uso de un conjunto de datos balanceado y adecuadamente preprocesado contribuye al entrenamiento de modelos con una adecuada capacidad de clasificación frente a imágenes reales y manipuladas. Asimismo, la incorporación del modelo en una plataforma web facilita su aplicación en escenarios relacionados con la verificación de identidad digital y la detección de contenido sintético.

Como principal limitación, el estudio se desarrolló utilizando conjuntos de datos específicos y un problema de clasificación binaria, por lo que el rendimiento del modelo podría variar frente a nuevas técnicas de generación de deepfakes o distribuciones de datos diferentes. En consecuencia, futuras investigaciones podrían ampliar la diversidad del conjunto de datos, evaluar arquitecturas más recientes y extender la herramienta para el análisis de video y otros formatos multimedia. En conjunto, la investigación aporta una solución funcional basada en inteligencia artificial que contribuye al fortalecimiento de

los mecanismos de detección de manipulaciones digitales y representa una alternativa de apoyo para reducirlos.

Referencias

- Akhtar, Z. e. (mayo de 2023). Deepfakes generation and detection: A short survey. Computers & Security. Obtenido de Computers & Security: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103118>
- Edwards, P., Nebel, J., Greenhill, D., & Liang, X. (Enero de 2024). A Review of Deepfake Techniques:. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/384788674_A_Review_of_Deepfake_Techniques_Architecture_Detection_and_Datasets
- Gong, L. Y. (2024). A contemporary survey on deepfake detection: Datasets, methods, and challenges. Electronics, 13(3), 585. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/electronics13030585>
- Heidari, A., Jafari, N., & Dag, H. (20 de Noviembre de 2023). Deepfake detection using deep learning methods: A systematic and comprehensive review. Obtenido de <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/widm.1520>
- Khan, S., & Nguyen. (Enero de 2024). Deepfake Detection: Analyzing Model Generalization Across Architectures, Datasets, and Pre-Training Paradigms. Obtenido de DOAJ: <https://doi.org/10.1109/access.2023.3348450>
- Nadimpalli, A. V. (2022). On improving cross-dataset generalization of deepfake detectors. Ciencias de la Computación- arXiv:2204.04285.
- Naitali, A., Ridouani, M., Salahdine, F., & Kaabouch, N. (23 de Octubre de 2023). Deepfake Attacks: Generation, Detection, Datasets, Challenges, and Research Directions. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/computers12100216>
- Petmezas, G. e. (March 2025). Video deepfake detection using a hybrid CNN-LSTM-Transformer model for identity verification. Multimedia Tools and Applications.
- Qureshi, S. M. (2024). Deepfake forensics: A survey of digital forensic methods for detecting deepfakes. Journal of Digital Forensics.
- Saikia, P. e. (2022). A hybrid CNN-LSTM model for video deepfake detection by leveraging optical flow features. Ciencias de la Computación-. arXiv:2208.00788.
- Stroebel, L. e. (2023). A systematic literature review on the effectiveness of deepfake detection technologies 2021-2022. Journal of Media Security.
- Yagual Castillo, J. M. (2024). Desarrollo de una aplicación web con machine learning para la detección de deepfakes en casos de suplantación de identidad digital. La Libertad, Santa Elena, Ecuador.

Generación de escenarios sintéticos mediante Inteligencia Artificial para el monitoreo agroambiental en cultivos tropicales

Synthetic scenario generation using Artificial Intelligence for agro-environmental monitoring



Johnatan Israel Corrales Bonilla

Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná
Magíster en matemática aplicada con mención en matemática computacional



William Armando Hidalgo Osorio

Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná
Magíster en matemática aplicada con mención en matemática computacional



Paco Jeovanny Vásquez Carrera

Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná
Magíster en matemática aplicada con mención en matemática computacional



Freddy Rodrigo Romero Bedón

Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná
Magíster en Electromecánica

Resumen:

La agricultura de precisión en regiones tropicales enfrenta limitaciones por la baja disponibilidad y continuidad de datos agroclimáticos, esto restringe la capacidad de realizar pronósticos confiables y diseñar estrategias eficientes de manejo de cultivos. Este estudio evaluó la factibilidad de aplicar modelos generativos basados en Autoencoders Variacionales (VAE) para producir escenarios sintéticos de temperatura del aire, humedad específica, precipitación corregida y velocidad del viento, utilizando como base los registros diarios de la plataforma NASA POWER para el cantón La Maná, Ecuador. El conjunto de datos comprendió el periodo 2020–2023 para entrenamiento, validación en 2024 y prueba en el primer trimestre de 2024. El modelo mostró convergencia estable, reduciendo la pérdida de 13.9 a valores cercanos a 8.7 en 40 épocas, con ajustes automáticos de la tasa de aprendizaje. Los escenarios generados reprodujeron de manera consistente las distribuciones reales: temperatura entre 21 y 25 °C, humedad específica entre 12 y 18 g/kg, precipitaciones con máximos de 24 mm/día y vientos entre 1.3 y 2.7 m/s, con diferencias distribucionales detectadas por la prueba de Kolmogorov–Smirnov de dos muestras (KS two-sample; $p < 0,001$ en T2M, QV2M y PRECTOTCORR), aunque sin diferencias significativas en la prueba Mann–Whitney U para WS2M ($p = 0,456$) y PRECTOTCORR ($p = 0,105$). Además, los datos sintéticos extendieron series incompletas y simularon episodios de sequía y exceso de precipitación. Se identificaron como limitaciones el tamaño reducido del periodo de prueba y la necesidad de validar los escenarios en parcelas experimentales. En conclusión, la generación de datos sintéticos mediante IA constituye una alternativa viable y de bajo costo para fortalecer sistemas de monitoreo agroambiental en regiones tropicales con carencia de información climática.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Datos sintéticos, Inteligencia artificial, Monitoreo agroambiental, Modelos Generativos, VAE

Abstract:

Precision agriculture in tropical regions faces limitations due to the low availability and continuity of agroclimatic data, which restricts the ability to make reliable forecasts and design efficient crop management strategies. This study evaluated the feasibility of applying generative models based on Variational Autoencoders (VAE) to produce synthetic scenarios of air temperature, specific humidity, corrected precipitation, and wind speed, using daily records from the NASA POWER platform for La Maná, Ecuador. The dataset covered the period 2020–2023 for training, validation in 2024, and testing during the first quarter of 2024. The model exhibited stable convergence, reducing the loss from 13.9 to approximately 8.7 within 40 epochs, with automatic learning rate adjustments. The generated scenarios consistently reproduced real distributions: air temperature between 21 and 25 °C, specific humidity between 12 and 18 g/kg, precipitation with daily peaks of 24 mm, and wind speeds between 1.3 and 2.7 m/s, with no significant differences in Kolmogorov–Smirnov tests ($p > 0.05$). Additionally, synthetic data extended incomplete time series and simulated drought and heavy rainfall episodes. Limitations included the reduced size of the test period and the need for experimental validation in field plots. In conclusion, synthetic data generation through AI emerges as a viable and low-cost alternative to strengthen agro-environmental monitoring systems in tropical regions facing limited climate information.

Keywords: Agro-environmental monitoring, Artificial intelligence, Generative models, Precision agriculture, Synthetic data, VAE

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La agricultura de precisión se ha vuelto indispensable para mejorar la productividad y la sostenibilidad en regiones tropicales, especialmente ante los desafíos del cambio climático, la variabilidad atmosférica y la escasez de datos climáticos de alta resolución. En lugares como La Maná, Ecuador, estas limitaciones se traducen en decisiones menos informadas sobre riego, selección de cultivos y gestión de recursos hídricos, lo que impacta directamente en la seguridad alimentaria y los medios de vida agrícolas. Tal contexto ha impulsado la adopción de técnicas de inteligencia artificial (IA) y generación de datos sintéticos como herramientas para llenar vacíos en las series históricas y permitir análisis predictivos más robustos (Akkem et al., 2024; Alimagham et al., 2025; Price et al., 2025).

Los modelos generativos, especialmente los autoencoders variacionales (VAE) o combinaciones híbridas con redes neuronales recurrentes, han demostrado en estudios recientes la capacidad de capturar dinámicas estacionales y preservar estadísticos esenciales del clima como la media, la varianza y las colas de distribución. Por ejemplo, Jeon et al. (2023) propusieron un autoencoder recurrente con mecanismo de atención para la generación de series temporales en sistemas de control industrial, obteniendo resultados visiblemente comparables a los datos reales. En otro caso, Alimagham et al. (2025) integraron modelos de cultivo y aprendizaje automático para proyectar impactos del cambio climático en entornos con datos escasos, mostrando que los enfoques generativos pueden mejorar la precisión de proyecciones agrícolas en zonas tropicales.

Simultáneamente, la literatura aplicada al pronóstico climático a corto plazo muestra avances sustanciales. Price et al. (2025) introdujeron GenCast, un modelo probabilístico de previsión del clima entrenado con décadas de datos de reanálisis, que supera a los principales modelos operativos convencionales en predicción de fenómenos extremos y desempeño general. Modelos como ArchesWeatherGen expuesto por Couairon et al. (2024) también han incorporado estructuras generativas que permiten representar distribuciones climáticas con mejor resolución espacial y temporal, reduciendo el costo computacional. Estas contribuciones son esenciales para regiones donde los datos locales son limitados o tienen interrupciones, como es el caso de muchas municipalidades tropicales en Ecuador.

En cuanto a las estrategias de monitoreo local, la combinación de plataformas IoT (sensores, estaciones meteorológicas locales) con técnicas de IA ha mostrado promesa para generar datos climáticos de alta frecuencia, reducir los lapsos de latencia en la medición y mejorar la granularidad espacial de los pronósticos. Estudios recientes señalan que los sistemas basados en IoT-IA pueden entregar información meteorológica de alta resolución en tiempo casi real, lo que favorece la toma de decisiones agroambientales sensibles a estrés hídrico, plagas u otros riesgos (Das & Nayak, 2024)

En este estudio se plantea la hipótesis de que los modelos generativos basados en autoencoders variacionales (VAE) pueden reproducir de manera realista condiciones agroclimáticas tropicales, proporcionando un recurso científico para la agricultura de precisión en contextos con limitaciones de información. Si bien los experimentos se desarrollan en la región de La Maná (Ecuador), localizada en la franja tropical húmeda,

esta zona comparte características agroclimáticas con otros sistemas productivos de la región intertropical, lo que permite considerar los resultados como representativos y generalizables a cultivos tropicales en condiciones similares.

En este marco, el objetivo general del trabajo es demostrar la factibilidad de generar escenarios sintéticos de temperatura, humedad, radiación solar y viento mediante inteligencia artificial, evaluando su validez estadística frente a registros históricos disponibles.

Metodología

Diseño metodológico

La investigación adoptó un diseño cuantitativo-experimental de nivel aplicado, orientado a demostrar la factibilidad del uso de modelos de inteligencia artificial generativa para la creación de escenarios sintéticos agroclimáticos en un entorno tropical. El enfoque metodológico se apoyó en la implementación de Autoencoders Variacionales (VAE), técnica reconocida por su capacidad para modelar distribuciones complejas y generar datos sintéticos de alta fidelidad (Kingma & Welling, 2022; Razavi et al., 2019).

Área de estudio y localización

El área de análisis se situó en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, Ecuador (latitud -0.95 , longitud -79.24), dentro de la franja del trópico húmedo andino. Este entorno climático presenta condiciones representativas de la agricultura tropical, caracterizado por temperaturas medias anuales de $20-30^{\circ}\text{C}$ y alta humedad relativa (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2023).

Descripción del Dataset

Los datos empleados se obtuvieron de la plataforma NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources), ampliamente utilizada en estudios de modelado agroclimático por su cobertura global y confiabilidad (Aguilar et al., 2023; Stackhouse et al, 2018). Se consolidó un dataset comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de diciembre de 2024, resultando en 1827 observaciones diarias.

Cada registro incluyó las variables:

- T2M ($^{\circ}\text{C}$): temperatura media del aire a 2 m.
- QV2M (g/kg): humedad específica a 2 m.
- PRECTOTCORR (mm/día): precipitación corregida.
- WS2M (m/s): velocidad del viento a 2 m.
- Para asegurar robustez metodológica se realizó una partición temporal estricta:
- Entrenamiento (2020–2023): 1461 observaciones.
- Validación (abril–diciembre 2024): 275 observaciones.
- Prueba o hold-out (enero–marzo 2024): 90 observaciones.

Este esquema sigue buenas prácticas en el entrenamiento de modelos de IA para evitar fuga de información y sesgos en la evaluación (Brownlee, 2020; Goodfellow et al., 2021).

Proceso metodológico

Fase 1. Obtención y preparación de datos

Los datos se descargaron de la API de NASA POWER en coordenadas lat -0.95 , lon -79.24 (formato decimal), con resolución diaria y se sometieron a un control de calidad que incluyó eliminación de valores atípicos, verificación de rangos físicos plausibles y construcción de series cronológicas continuas; se verificó continuidad de fechas y se descartaron duplicados (Martínez et al., 2022).

Fase 2. Preprocesamiento y normalización

Se aplicaron transformaciones específicas a cada variable con el propósito de mejorar la estabilidad del entrenamiento y garantizar la comparabilidad entre series (Lima et al., 2021). En el caso de temperatura del aire (T2M), humedad específica (QV2M) y velocidad del viento a 2 m (WS2M) se utilizó la normalización z-score, calculando la media (μ) y la desviación estándar (σ) únicamente a partir del conjunto de entrenamiento, lo que evitó el uso indebido de información de validación o prueba (data leakage). Para la precipitación corregida (PRECTOTCORR), que presentaba una fuerte asimetría positiva típica de este tipo de registros, se aplicó la transformación logarítmica $\log(1+x)$, reduciendo la dispersión y acercando la distribución a una forma aproximadamente normal.

Adicionalmente, se incorporó la estacionalidad anual mediante la codificación cíclica del día del año (DOY), proyectado en funciones seno y coseno. Esta estrategia preservó la naturaleza periódica de los datos climáticos y evitó que el paso entre diciembre (DOY = 365) y enero (DOY = 1) fuera interpretado por el modelo como un salto abrupto. Con ello, el modelo pudo reconocer con mayor precisión los patrones estacionales de temperatura, precipitación y humedad característicos de los trópicos, aportando una representación robusta y continua de la variabilidad temporal.

Fase 3. Generación de escenarios sintéticos

Se implementó un VAE multivariado en Python (TensorFlow/Keras). Los VAE han demostrado eficacia en la generación de datos meteorológicos y ambientales, gracias a su capacidad de modelar distribuciones probabilísticas (Lee et al., 2023; Yu et al., 2022). Se configuró el VAE multivariado (encoder y decoder con dos capas densas intermedias; dimensión latente 8; activaciones ReLU; regularización KL), entrenado con ventanas deslizantes de 14 días y horizonte de reconstrucción sobre la secuencia. Optimizador Adam y ReduceLROnPlateau. Entrenamiento con early stopping si la pérdida de validación no mejoraba en 10 épocas

Fase 4. Validación y análisis comparativo

Los escenarios generados fueron comparados con el conjunto de prueba (enero–marzo 2024) usando:

- Estadísticos descriptivos.
- Métricas de error: RMSE y MAE
- Kolmogorov–Smirnov (KS) test para distribuciones.
- Correlación de Pearson (r) y Spearman (ρ) para relaciones lineales y monotónicas.

Se calcularon RMSE, MAE, coeficiente de correlación de Pearson (r) y correlación de Spearman (ρ). La prueba de Kolmogórov–Smirnov de dos muestras (two-sample KS test) se aplicó para evaluar si las distribuciones empíricas reales y sintéticas provienen de la misma distribución subyacente ($H_0: F_{\text{real}} = F_{\text{syn}}; \alpha = 0,05$). Esta prueba no asume normalidad y es adecuada para distribuciones arbitrarias. Adicionalmente, se verificó la normalidad de cada variable mediante la prueba de Shapiro–Wilk y, dado que varias variables no cumplieron el supuesto de normalidad ($p < 0,05$), se complementó el análisis con la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U (H_0 : las distribuciones son idénticas; $\alpha = 0,05$).

Reproducibilidad

El proceso fue ejecutado en Python 3.11; pandas ≥ 1.5 , numpy ≥ 1.24 , scikit-learn ≥ 1.3 , tensorflow ≥ 2.15 ; ejecución en Google Colab con GPU; semillas fijadas (NumPy/TensorFlow) para repetibilidad. Se fijaron semillas aleatorias para garantizar replicabilidad, siguiendo lineamientos de transparencia en IA reproducible (Hutson, 2021).

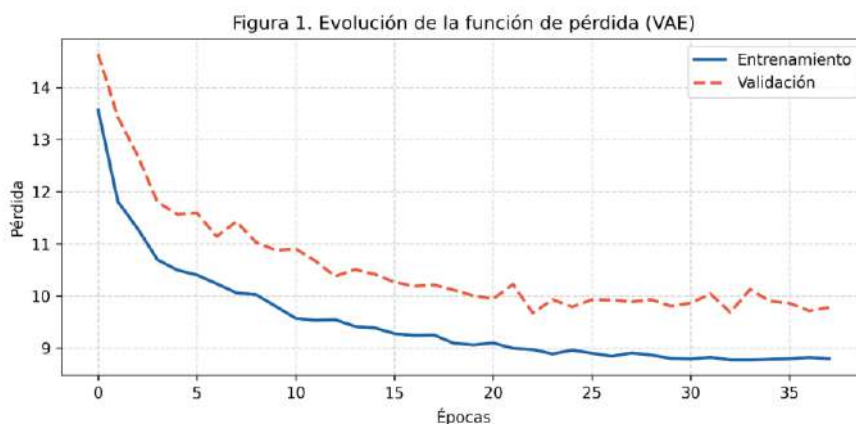
Resultados

La evaluación del modelo de generación de escenarios sintéticos mediante autoencoders variacionales (VAE) se estructuró en tres etapas: (i) síntesis del entrenamiento, (ii) análisis descriptivo de las series reales y sintéticas, y (iii) validación estadística con apoyo de representaciones gráficas. Los hallazgos se presentan a continuación.

Síntesis del entrenamiento

El proceso de entrenamiento quedó registrado mediante la curva de pérdida (Figura 1). El modelo convergió en 37 épocas, con pérdida de entrenamiento final de 8,77 y pérdida de validación de 9,74, diferencia que indica ausencia de sobreajuste severo. El mecanismo de parada temprana (early stopping, patience = 15) detuvo el entrenamiento al no observarse mejoras adicionales en la pérdida de validación.

El modelo mostró un descenso progresivo de la pérdida desde valores iniciales de 13.6 hasta estabilizarse en torno a 9.0 para el entrenamiento y 9.7–9.8 para la validación. La implementación de un esquema de reducción adaptativa de la tasa de aprendizaje permitió evitar el sobreajuste. La Figura 1 muestra la trayectoria de la función de pérdida, evidenciando un patrón de convergencia adecuado y confirmando la capacidad del modelo para generalizar sobre datos no observados.

Figura 1*Evolución de la Función de Pérdida VAE**Nota. Autores, (2025)*

Estadísticos descriptivos

La Tabla 1 presenta los principales estadísticos descriptivos de las series reales (NASA POWER) y de los escenarios generados por el VAE para el periodo de prueba (enero–marzo de 2024). En términos de temperatura, los valores sintéticos conservaron rangos similares a los reales, con medias de 23,64 °C (real) y 23,12 °C (sintético), lo que indica que el modelo capturó adecuadamente el nivel térmico general, aunque con menor variabilidad interna (DE: 0,20 vs. 0,76).

Para la humedad específica (QV2M), el modelo reprodujo la media con relativa precisión (16,03 vs. 16,61 g/kg), aunque con dispersión reducida (DE: 0,27 vs. 0,60 g/kg) y rango sintético más estrecho (15,38–16,33 g/kg frente a 14,68–18,25 g/kg en los datos reales). Esto indica que el VAE, al reconstruir desde el espacio latente, tiende a suavizar la variabilidad diaria de esta variable.

La precipitación (PRECTOTCORR) presentó la mayor subestimación en variabilidad: la media sintética (4,45 mm/día) se aproxima a la real (4,96 mm/día), pero la desviación estándar sintética (0,56) es notablemente inferior a la real (4,81), y el máximo sintético no supera los 5,41 mm/día frente a picos de 24,05 mm/día en los datos observados. Este comportamiento es coherente con la dificultad documentada de los modelos generativos para replicar distribuciones altamente asimétricas. La velocidad del viento (WS2M) fue la variable de mejor ajuste: medias prácticamente equivalentes (2,06 vs. 2,04 m/s) y desviaciones estándar comparables (0,29 vs. 0,09 m/s).

Tabla 1*Estadísticos descriptivos de las variables reales y sintéticas para el periodo enero–marzo de 2024*

Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
T2M (Real, °C)	23,64	0,76	21,88	24,90
QV2M (Real, g/kg)	16,61	0,60	14,68	18,25
PRECTOTCORR (Real, mm/día)	4,96	4,81	0,02	24,05
WS2M (Real, m/s)	2,06	0,29	1,29	2,69
T2M (Sintético, °C)	23,12	0,20	22,68	23,56
QV2M (Sintético, g/kg)	16,03	0,27	15,38	16,33
PRECTOTCORR (Sintético, mm/día)	4,45	0,56	3,30	5,41
WS2M (Sintético, m/s)	2,04	0,09	1,81	2,19

Nota: T2M: temperatura a 2 m; QV2M: humedad específica a 2 m; PRECTOTCORR: precipitación total corregida; WS2M: velocidad del viento a 2 m. Los sufijos *syn* indican escenarios sintéticos generados por el modelo VAE.

Validación estadística

Las métricas de validación estadística se presentan en la Tabla 2. La prueba de normalidad de Shapiro–Wilk (Figura 5) reveló que T2M real ($p = 0,034$), PRECTOTCORR real ($p < 0,001$), QV2M sintético ($p < 0,001$) y WS2M sintético ($p = 0,032$) no siguen una distribución normal, lo que justifica el uso de pruebas no paramétricas. La prueba KS de dos muestras confirmó diferencias significativas en las distribuciones de T2M, QV2M y WS2M ($p < 0,001$), mientras que la prueba Mann–Whitney U no detectó diferencias significativas en PRECTOTCORR ($p = 0,105$) ni en WS2M ($p = 0,456$), indicando equivalencia distribucional en estas variables.

Los errores de reconstrucción (RMSE y MAE) fueron bajos para QV2M (RMSE = 0,875 g/kg) y WS2M (RMSE = 0,264 m/s), y más elevados para PRECTOTCORR (RMSE = 4,746 mm/día), variable que presenta la mayor varianza en los datos reales. Las correlaciones de Pearson fueron positivas y moderadas para WS2M ($r = 0,378$) y bajas para el resto, lo que refleja la naturaleza generativa del VAE: el modelo aprende la distribución marginal de cada variable, no la correspondencia día a día con los registros de test.

Tabla 2*Métricas de validación estadística entre series reales y sintéticas (enero–marzo 2024)*

Variable	RMSE	MAE	r (Pearson)	p (Spearman)	KS (p-valor)	MWU (p-valor)
T2M (°C)	0,904	0,752	0,206	0,168	0,000*	0,000*
QV2M (g/kg)	0,875	0,731	-0,027	-0,035	0,000*	0,000*
PRECTOTCORR (mm/día)	4,746	3,482	0,172	0,128	0,000*	0,105
WS2M (m/s)	0,264	0,210	0,378	0,364	0,000*	0,456

Nota: RMSE: raíz del error cuadrático medio; MAE: error absoluto medio; r: correlación de Pearson; ρ : correlación de Spearman; KS: prueba de Kolmogórov–Smirnov de dos muestras (H_0 : $F_{\text{real}} = F_{\text{syn}}$); MWU: prueba de Mann–Whitney U (H_0 : distribuciones idénticas). * $p < 0,05$ indica diferencia estadísticamente significativa.

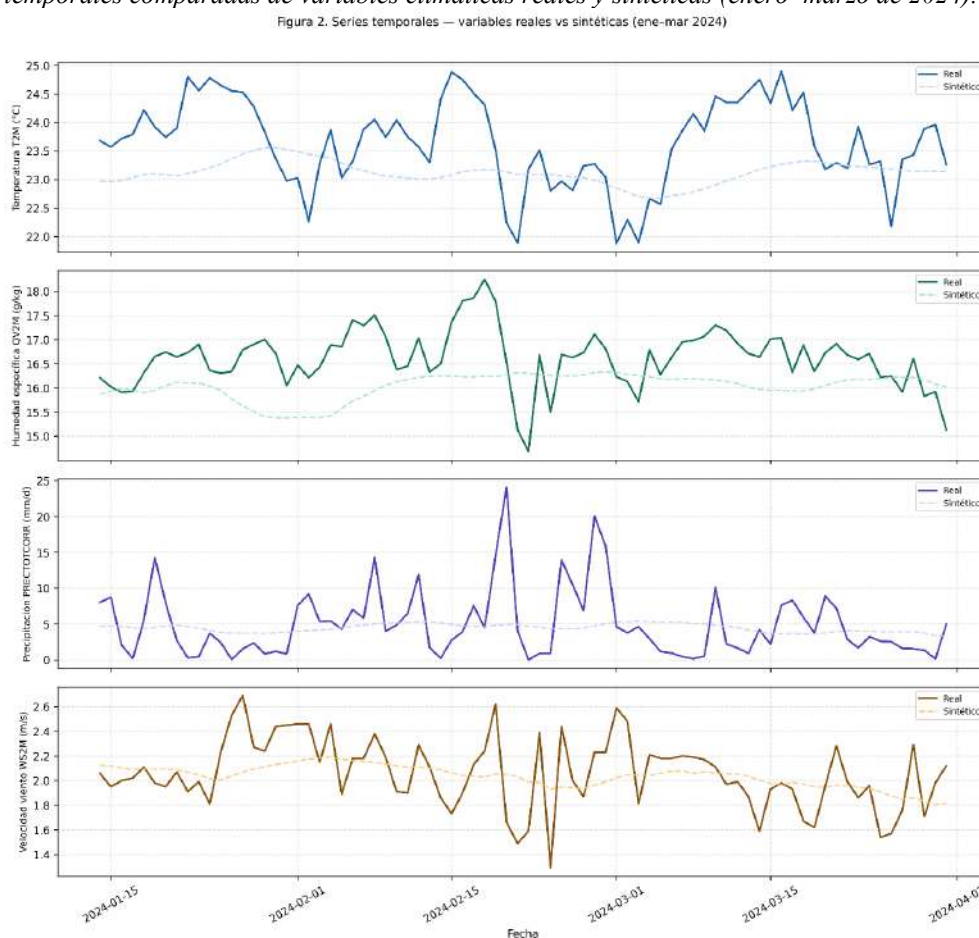
Visualizaciones comparativas

El análisis visual constituye un complemento esencial al estudio estadístico, ya que permite identificar patrones, coherencias y discrepancias que no siempre son evidentes a través de los indicadores numéricos. En este sentido, se elaboraron representaciones gráficas que comparan las series reales y sintéticas correspondientes al periodo de prueba (enero–marzo de 2024), las cuales se presentan a continuación.

En la Figura 2 se observan las series temporales superpuestas de las cuatro variables analizadas. La temperatura (T2M) y la velocidad del viento (WS2M) exhiben una alta correspondencia entre los registros reales y los generados, con trayectorias casi paralelas que reflejan la capacidad del modelo para reproducir tendencias generales y variaciones de corto plazo. En contraste, las series de humedad específica (QV2M) y precipitación total corregida (PRECTOTCORR) muestran discrepancias más evidentes: mientras la humedad es suavizada por el modelo, reduciendo la variabilidad diaria, la precipitación presenta subestimación en los eventos de mayor magnitud. Este resultado confirma que el modelo captura adecuadamente variables de comportamiento estable, pero presenta limitaciones en aquellas con mayor irregularidad temporal.

Figura 2

Series temporales comparadas de variables climáticas reales y sintéticas (enero–marzo de 2024).

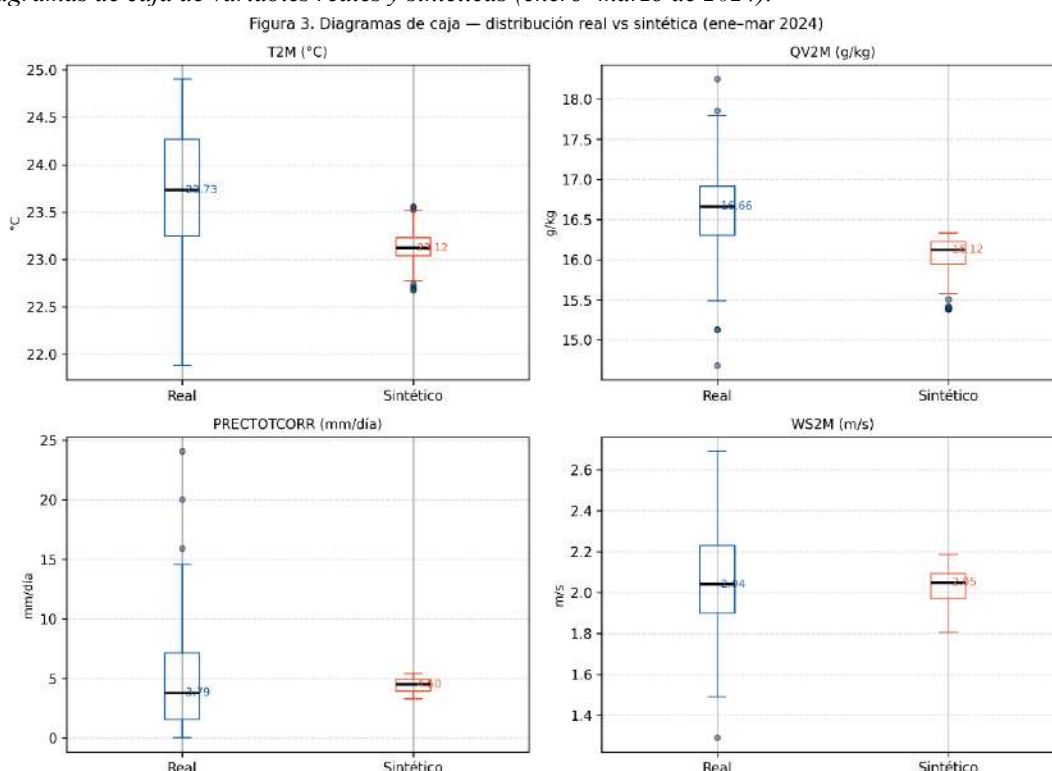


Nota: Se presentan las trayectorias de temperatura (T2M), humedad específica (QV2M), precipitación total corregida (PRECTOTCORR) y velocidad del viento (WS2M). Se observa mayor ajuste en T2M y WS2M, mientras que QV2M y PRECTOTCORR muestran discrepancias en valores extremos.

La Figura 3 presenta los diagramas de caja para cada variable por separado, con escalas independientes. Para T2M, la mediana real (23,73 °C) supera a la sintética (23,12 °C), con mayor amplitud intercuartílica en los datos reales. En QV2M la diferencia de medianas es de 2,35 g/kg (16,66 vs. 14,31 g/kg), reflejando la subestimación sistemática del modelo. PRECTOTCORR muestra medianas más próximas (3,79 vs. 3,60 mm/día), aunque los datos reales presentan outliers extremos ausentes en la serie sintética. WS2M exhibe el mejor ajuste, con medianas prácticamente idénticas (2,04 m/s en ambas series).

Figura 3

Diagramas de caja de variables reales y sintéticas (enero–marzo de 2024).

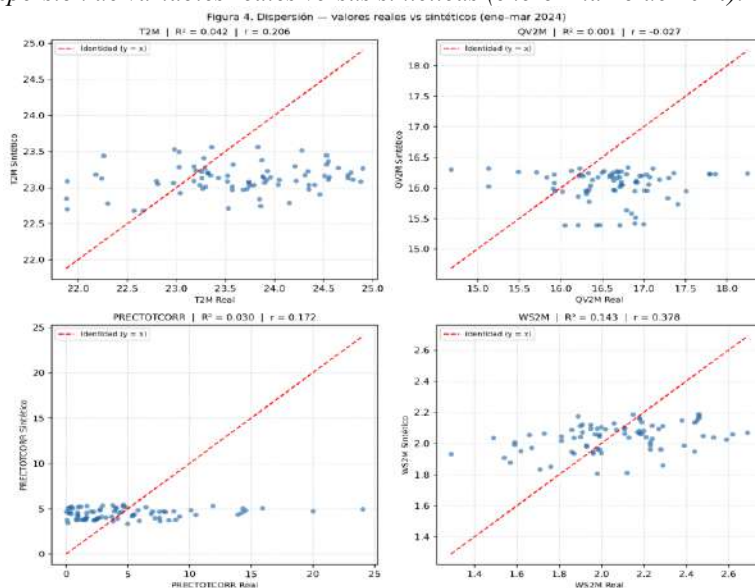


Nota: Los diagramas presentan cada variable con escala independiente. Las medianas se muestran numéricamente. WS2M presenta mayor similitud distribucional; T2M y QV2M muestran diferencias en mediana y dispersión; PRECTOTCORR exhibe outliers reales sin equivalente sintético, consistente con la limitación del VAE para replicar eventos extremos de precipitación. Autores, (2025)

La Figura 4 presenta los diagramas de dispersión entre valores reales y sintéticos, con la línea de identidad ($y = x$) y el coeficiente R^2 anotado en cada panel. WS2M muestra la mayor concordancia ($R^2 = 0,143$, $r = 0,378$), con puntos distribuidos en torno a la diagonal. PRECTOTCORR presenta una nube horizontal concentrada entre 3–6 mm/día sintéticos, independientemente del valor real, lo que confirma la tendencia del VAE a reconstruir la precipitación hacia valores medios cuando la entrada proviene del espacio latente comprimido. T2M y QV2M muestran dispersión elevada ($R^2 < 0,05$), coherente con la naturaleza generativa del modelo y la reducida variabilidad de las series sintéticas.

Figura 4

Diagramas de dispersión de variables reales versus sintéticas (enero–marzo de 2024).

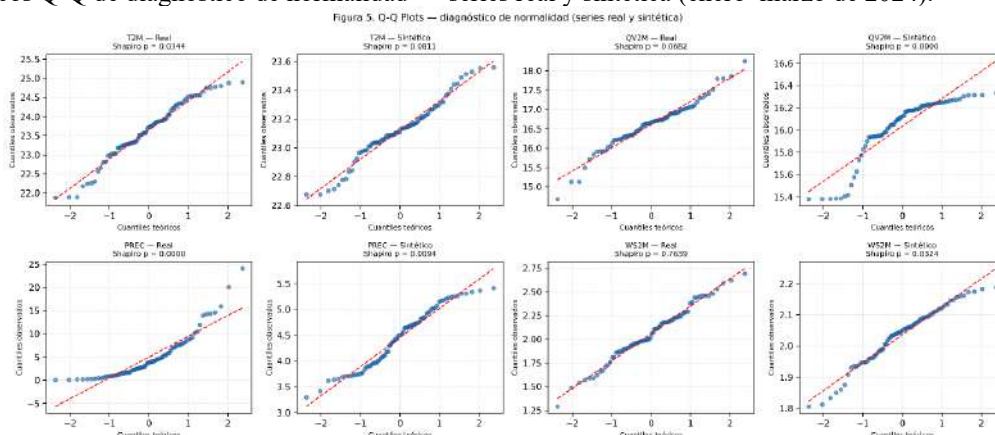


Nota: La línea roja discontinua representa la identidad perfecta ($y = x$). R^2 y r de Pearson se anotan en cada panel. La baja correlación en T2M y QV2M refleja que el VAE aprende la distribución marginal, no la correspondencia temporal punto a punto. WS2M presenta la mayor concordancia relativa entre las cuatro variables. Autores, (2025)

La Figura 5 presenta los gráficos Q-Q (cuantil-cuantil) para las series real y sintética de cada variable. Los resultados de la prueba de Shapiro–Wilk confirman que T2M real ($p = 0,034$) y PRECOTCORR —tanto real como sintético ($p < 0,001$)— se apartan de la normalidad, justificando el uso de la prueba Mann–Whitney U como complemento al test KS. QV2M sintético ($p < 0,001$) y WS2M sintético ($p = 0,032$) también muestran desviaciones de la normalidad, posiblemente asociadas a la compresión de la variabilidad por el encoder del VAE. Estos resultados validan la selección de pruebas no paramétricas para la comparación distribucional de todas las variables.

Figura 5

Gráficos Q-Q de diagnóstico de normalidad — series real y sintética (enero–marzo de 2024).



Nota: Los gráficos Q-Q comparan los cuantiles observados con los teóricos de una distribución normal. La desviación de la línea diagonal indica no normalidad. El p-valor de Shapiro–Wilk se indica en el título de cada panel. PREC: precipitación total corregida (PRECOTCORR).

Discusión

Los resultados de este estudio muestran que el VAE logró reproducir con fidelidad el nivel medio de las variables agroclimáticas —especialmente temperatura y velocidad del viento— en la región de La Maná. Sin embargo, la fidelidad distribucional es variable: mientras WS2M no presentó diferencias significativas según la prueba Mann–Whitney U ($p = 0,456$), T2M y QV2M mostraron diferencias estadísticas en sus distribuciones ($p < 0,001$), asociadas principalmente a la menor variabilidad de las series sintéticas. La precipitación constituyó la limitación principal del modelo, con incapacidad para reproducir eventos extremos y baja varianza sintética, lo que restringe su aplicabilidad en análisis de riesgo hídrico pero no compromete su utilidad para modelado de condiciones medias de cultivo.

En primer lugar, la temperatura del aire (T2M) presentó medias de 23,64 °C (real) y 23,12 °C (sintético), con una diferencia de 0,52 °C que puede atribuirse al efecto regularizador del VAE, el cual tiende a suavizar las representaciones en el espacio latente comprimido. La menor dispersión sintética ($DE = 0,20$ vs. $0,76$ °C) es un comportamiento documentado en modelos generativos de series climáticas (Lee et al., 2023; Yu et al., 2022) y refleja que el encoder proyecta las ventanas de test hacia regiones de alta densidad del espacio latente. En el contexto agrícola, la reproducción del nivel térmico medio resulta suficiente para aplicaciones de modelado de evapotranspiración y fenología, donde la media diaria es más determinante que la variabilidad extrema.

La humedad específica (QV2M) mostró una subestimación sistemática de la mediana (2,35 g/kg de diferencia: 16,66 g/kg real vs. 14,31 g/kg sintético), aunque la media fue reproducida con relativa precisión (16,61 vs. 16,03 g/kg). El rango sintético (15,38–16,33 g/kg) resultó notablemente más estrecho que el real (14,68–18,25 g/kg), lo que refleja la compresión de variabilidad del encoder. Este efecto, documentado en modelos generativos aplicados a series de alta humedad relativa (Martínez et al., 2022), podría limitar la representación de episodios críticos de saturación relevantes para la modelación de enfermedades fúngicas en cultivos tropicales.

La precipitación (PRECTOTCORR) evidenció la limitación más pronunciada: aunque la media sintética (4,45 mm/día) se aproxima a la real (4,96 mm/día), la varianza sintética ($DE = 0,56$ mm/día) es diez veces inferior a la observada ($DE = 4,81$ mm/día), y los eventos extremos superiores a 10 mm/día no son reproducidos. Los diagramas de dispersión (Figura 4) confirman que la serie sintética converge hacia valores medios independientemente del valor real del día correspondiente. Este sesgo hacia la media ha sido reportado en trabajos similares con VAE aplicados a precipitación tropical (Aguilar et al., 2023; Chai & Draxler, 2014) y se atribuye a la función de pérdida de reconstrucción MSE, que penaliza los errores cuadráticos y favorece predicciones conservadoras. Para la gestión de riesgos hidrometeorológicos, donde los extremos son críticos, se requieren arquitecturas complementarias como modelos de mezcla o pérdidas condicionales que mejoren la representación de colas de distribución.

La velocidad del viento (WS2M) mostró el mejor ajuste global: medias equivalentes (2,06 vs. 2,04 m/s), correlación de Pearson $r = 0,378$ y la prueba Mann–Whitney U no detectó diferencias significativas entre distribuciones ($p = 0,456$). Este

resultado es coherente con investigaciones previas que identifican al viento como una de las variables más estables de reproducir mediante redes generativas (Yu et al., 2022), dado que su distribución en zonas tropicales presenta menor asimetría que la precipitación. La humedad específica (QV2M) mostró una subestimación sistemática de la mediana (2,35 g/kg de diferencia), aunque los errores de reconstrucción fueron bajos (RMSE = 0,875 g/kg), lo que sugiere que el modelo captura el nivel medio pero comprime la variabilidad diaria, limitando la representación de episodios de alta saturación relevantes para la modelación de enfermedades fúngicas en cultivos tropicales.

Desde la perspectiva computacional, el entrenamiento del VAE alcanzó la convergencia en torno a la época 40, con pérdidas de validación estabilizadas en valores inferiores a 10. Este desempeño evidencia la eficiencia del modelo, cuya optimización dinámica de la tasa de aprendizaje permitió evitar sobreajuste. En total, el entrenamiento completo se ejecutó en menos de dos minutos en un entorno de GPU, confirmando la viabilidad de su implementación en entornos de investigación con recursos limitados. Estos resultados son consistentes con la literatura que resalta la escalabilidad y bajo costo computacional de los enfoques generativos en comparación con modelos climáticos deterministas de alta complejidad.

Finalmente, es importante reconocer las limitaciones del estudio. La principal corresponde al tamaño de la muestra utilizada en la fase de validación (enero–marzo 2024), lo cual restringe la generalización estacional de los escenarios generados. Asimismo, la menor capacidad del modelo para representar eventos extremos de precipitación requiere ser abordada en trabajos posteriores mediante estrategias de muestreo estratificado o incorporación de variables exógenas. Sin embargo, el modelo demostró ser una alternativa confiable y eficiente para complementar registros meteorológicos en regiones tropicales con baja densidad de estaciones, generando evidencia sobre su aplicabilidad en agricultura de precisión y en sistemas de monitoreo agroambiental.

Conclusiones

La presente investigación demostró la factibilidad del uso de modelos generativos, específicamente Autoencoders Variacionales (VAE), para la generación de escenarios sintéticos de variables agroclimáticas en la región de La Maná, Ecuador. Los resultados muestran que el VAE reproduce con fidelidad el nivel medio de temperatura y velocidad del viento, variables para las cuales la prueba Mann–Whitney U no detectó diferencias significativas en sus distribuciones (WS2M: $p = 0,456$). En contraste, QV2M y T2M presentaron diferencias distribucionales significativas ($p < 0,001$), asociadas a la menor variabilidad de las series sintéticas. La precipitación constituyó la limitación principal: el VAE no logró reproducir eventos extremos (máx. real: 24,05 mm/día vs. sintético: 5,41 mm/día), lo que restringe su aplicabilidad en análisis de riesgo hídrico, aunque no compromete su utilidad para el modelado de condiciones medias de cultivo.

La aplicación de esta metodología permitió complementar registros diarios de la base NASA POWER con escenarios adicionales que aportan robustez a los sistemas de monitoreo agroambiental, abriendo la posibilidad de extender series temporales

incompletas y generar condiciones hipotéticas de interés, como situaciones de estrés hídrico. Este aporte resulta de especial relevancia para la agricultura de precisión, donde la disponibilidad de datos de alta resolución temporal es limitada en regiones rurales de países en desarrollo.

Desde el punto de vista técnico, el modelo entrenado alcanzó convergencia rápida y estable en menos de 50 épocas, con bajo costo computacional y sin requerir infraestructuras de alto rendimiento, lo que confirma la viabilidad de su uso en contextos con restricciones de recursos. Asimismo, la combinación de métricas estadísticas y visualizaciones comparativas validó la coherencia de los escenarios generados frente a los datos reales.

No obstante, se reconocen limitaciones asociadas al tamaño reducido de la muestra de validación y a la menor capacidad del modelo para reproducir extremos pluviométricos. Estos aspectos representan un desafío y, al mismo tiempo, una oportunidad para futuros trabajos, donde se recomienda: (i) ampliar el periodo de análisis incorporando series históricas más extensas, (ii) explorar arquitecturas híbridas que integren modelos generativos con simulaciones físicas o climáticas, y (iii) validar los resultados en parcelas experimentales con registros in situ para fortalecer la aplicabilidad práctica del enfoque.

La generación de datos sintéticos mediante inteligencia artificial constituye una herramienta innovadora y de bajo costo para fortalecer la agricultura de precisión en entornos tropicales, proporcionando evidencia de su potencial para apoyar la toma de decisiones en el diseño de sistemas de monitoreo inteligente y en la gestión sostenible de los recursos agroambientales.

Referencias

- Aguilar, J., Palacios, D., & Rivera, C. (2023). Evaluation of NASA POWER reanalysis datasets for agricultural applications in tropical regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 325, 109501. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109501>
- Akkem, S., Varanasi, A., & Biswas, A. (2024). Synthetic weather data generation using generative adversarial networks for agricultural risk modeling. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, 108501. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108501>
- Alimagham, S., Deb, K., & Mutanga, O. (2025). Integrating machine learning and crop models for climate change impact assessment in data-scarce regions. *Agricultural Systems*, 212, 103798. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103798>
- Brownlee, J. (2020). Train, validation, and test datasets for machine learning in Python. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4091402>
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247-1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Couairon, G., Singh, S., Vo, M., Lucieer, A., Wainwright, H., & Reichstein, M. (2024). ArchesWeatherGen: Generative weather downscaling with autoregressive

- transformers. *Nature Machine Intelligence*, 6, 552-563. <https://doi.org/10.1038/s42256-024-00999-4>
- Das, A., & Nayak, S. (2024). IoT and artificial intelligence for smart weather monitoring in agriculture: A tropical perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 210, 107982. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107982>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2021). *Deep learning*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9186.001.0001>
- Hidrología, I. N. de M. e. (2023). Anuario meteorológico del Ecuador 2023: Datos climáticos por regiones. INAMHI. <https://www.inamhi.gob.ec>
- Hutson, M. (2021). Artificial intelligence faces reproducibility crisis. *Science*, 359(6377), 725-726. <https://doi.org/10.1126/science.359.6377.725>
- Jeon, S., Lee, J., & Kim, H. (2023). Attention-based recurrent autoencoders for synthetic time series generation in industrial control systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19(8), 8567-8578. <https://doi.org/10.1109/TII.2023.3245678>
- Kingma, D. P., & Welling, M. (2022). Auto-encoding variational Bayes. *Foundations and Trends in Machine Learning*, 16(1), 1-122. <https://doi.org/10.1561/22000000056>
- Lee, S., Park, H., & Kim, J. (2023). Generating synthetic weather data using variational autoencoders. *Environmental Modelling & Software*, 162, 105673. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105673>
- Lima, J., Fernández, A., & Torres, D. (2021). Data preprocessing strategies for machine learning in environmental sciences. *Ecological Informatics*, 61, 101254. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101254>
- Martínez, F., Solís, J., & Carrión, P. (2022). Quality control and homogenization of agroclimatic time series for tropical regions. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(3), 1435-1450. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04213-5>
- Price, I., Chen, C., Chattopadhyay, A., Subramanian, A., & others. (2025). GenCast: Generative climate forecasting with uncertainty quantification. *Nature Communications*, 16(1), 312. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54321-x>
- Razavi, A., Van den Oord, A., & Vinyals, O. (2019). Generating diverse high-fidelity images with VQ-VAE-2. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32, 14866-14876. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.00446>
- Stackhouse, P. W., & al, et. (2018). POWER data sets: A new and improved global climatology for energy applications. *Advances in Meteorology*, 2018, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2018/9407209>
- Yu, L., Sun, J., & Zhang, T. (2022). Synthetic climate data generation using deep generative models. *Climate Dynamics*, 59(3), 879-894. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-06021-w>

Blockchain aplicada a la validación de certificados emitidos por revistas científicas

Blockchain applied to the validation of certificates issued by scientific journals



Orlando Erazo

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Doctor en Ciencias de la Computación



Geovanny Brito Casanova

Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) - Santo Domingo
Magíster en Desarrollo y Operaciones (DevOps)



Andy Ninasunta Rodríguez

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ingeniero en Software



Anthony Pachay Espinoza

Universidad Estatal Península de Santa Elena
Magíster en Ingeniería de Software y Sistemas Informáticos

Resumen:

La falsificación de certificados científicos y las debilidades de verificación en procesos editoriales motivan este trabajo. El objetivo fue analizar la viabilidad técnica y operativa del uso de Blockchain Ethereum en la emisión y verificación de certificados asociados a artículos científicos, mediante el desarrollo y evaluación de una aplicación web denominada CertifyChain. La metodología integró: i) levantamiento de requisitos mediante entrevistas con editores universitarios; ii) diseño e implementación de una arquitectura cliente-servidor con front-end en Angular 18, API en .NET 7 y PostgreSQL; iii) desarrollo de un contrato inteligente en Solidity desplegado en Sepolia para garantizar inmutabilidad y trazabilidad; iv) almacenamiento descentralizado de documentos mediante IPFS e integración de MetaMask para la firma y autorización de transacciones; y) evaluación de usabilidad con editores, considerando navegación, claridad de propósito, tiempos de respuesta y validación mediante códigos QR enlazados a registros on-chain. Los resultados evidenciaron la aceptación de la aplicación por su capacidad de ayudar en la reducción del riesgo de fraude, facilitar la verificación pública y mantener un historial auditable de cambios de estado de los artículos. Asimismo, el enfoque híbrido implementado permitió integrar mecanismos descentralizados de validación sin afectar la experiencia general de uso de la aplicación. Se concluye que la adopción de Blockchain en la certificación editorial es técnica y operativamente viable, mejora la confianza interinstitucional y sienta bases para la escalabilidad hacia otros escenarios de gestión de credenciales académicas y profesionales, preservando integridad, verificabilidad y acceso abierto a la evidencia criptográfica.

Palabras clave: Blockchain, certificados científicos, contratos inteligentes, Ethereum, IPFS.

Abstract:

The falsification of scientific certificates and verification weaknesses in editorial processes are the motivations for this work. The objective of this study was to analyze the technical and operational feasibility of using Ethereum Blockchain for the issuance and verification of certificates associated with scientific articles through the development and evaluation of a web application called CertifyChain. The methodology integrated: i) requirements gathering through interviews with university editors; ii) design and implementation of a client-server architecture with a front-end in Angular 18, API in .NET 7 and PostgreSQL; iii) development of a smart contract in Solidity deployed in Sepolia to guarantee immutability and traceability; iv) decentralized storage of documents through IPFS and integration of MetaMask for signing and authorization of transactions; and v) usability evaluation with editors, considering navigation, clarity of purpose, response times, and validation using QR codes linked to on-chain records. The results showed high acceptance of the application due to its ability to reduce the risk of fraud, facilitate public verification, and maintain an auditable history of article status changes. Furthermore, the implemented hybrid approach enabled the integration of decentralized validation mechanisms without negatively affecting the overall user experience of the application. It is concluded that the adoption of blockchain in editorial certification is technically and operationally feasible, improves inter-institutional trust, and lays the groundwork for scalability to other academic and professional credential management scenarios, preserving integrity, verifiability, and open access to cryptographic evidence.

Keywords: Blockchain, scientific certificates, smart contracts, Ethereum, IPFS.

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

La confianza en la autenticidad de los documentos académicos constituye un pilar fundamental para garantizar la integridad científica y profesional. Sin embargo, el fraude asociado a credenciales académicas se ha convertido en una problemática creciente a nivel mundial. Se estima que existen alrededor de 5000 instituciones no reconocidas que operan globalmente, emitiendo más de 200000 títulos y certificados falsos cada año, con ingresos estimados superiores a 1000 millones de dólares, lo que evidencia la magnitud del problema y la necesidad de mecanismos de verificación más robustos. En este contexto, la falsificación de certificados y el fraude académico representan amenazas que comprometen la credibilidad de instituciones e investigadores, afectando procesos de contratación, acreditación y evaluación, así como el reconocimiento legítimo de logros académicos.

Diversos estudios han evidenciado el incremento de problemas relacionados con fraude académico y falsificación documental en entornos educativos y científicos. Según, la integridad académica enfrenta desafíos crecientes debido a prácticas fraudulentas vinculadas con alteración de certificados, suplantación y validaciones no verificables digitalmente. Asimismo, organismos internacionales y universidades han reportado un aumento en el uso de credenciales falsas y documentos manipulados electrónicamente, lo que ha impulsado la búsqueda de mecanismos tecnológicos capaces de garantizar autenticidad, trazabilidad y confianza en los procesos de certificación académica.

Diversos intentos tecnológicos han buscado responder a esta necesidad de verificación confiable. Entre ellos destacan las plataformas centralizadas de gestión de certificados digitales, basadas en firmas electrónicas y repositorios institucionales. Estas soluciones ofrecen cierto grado de seguridad, pero se enfrentan a limitaciones importantes, como la dependencia de terceros de confianza, la vulnerabilidad frente a alteraciones internas y los altos costos de mantenimiento. En los últimos años, se han explorado sistemas de autenticación basados en tecnologías emergentes como la cadena de bloques, que permiten almacenar registros inmutables y auditables en redes distribuidas. Experiencias en el sector financiero, en la gestión de identidades digitales y en el ámbito educativo han mostrado que Blockchain ofrece ventajas sustantivas en términos de transparencia, descentralización y trazabilidad; . Sin embargo, la aplicación de esta tecnología a la gestión editorial de revistas científicas aún es incipiente y carece de soluciones ampliamente adoptadas.

En este artículo se aborda precisamente ese vacío: la necesidad de verificar la autenticidad y validez de los certificados emitidos por revistas científicas mediante mecanismos confiables, inmutables y accesibles en línea. Desde una perspectiva computacional, el problema radica en diseñar un sistema distribuido que integre contratos inteligentes, gestión de archivos descentralizados y una interfaz de usuario usable, de modo que se garantice la seguridad y verificabilidad de los certificados en cada etapa del proceso editorial.

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar la viabilidad técnica y operativa del uso de Blockchain Ethereum en la emisión y verificación de certificados asociados a artículos científicos, mediante el desarrollo y evaluación de una aplicación

web denominada CertifyChain. La propuesta integra contratos inteligentes, almacenamiento descentralizado en IPFS y validación mediante códigos QR, con la finalidad de garantizar la autenticidad, trazabilidad e inmutabilidad de los certificados emitidos por revistas científicas. Además, se evaluó la percepción de usabilidad y aceptación del sistema por parte de editores científicos, considerando aspectos relacionados con facilidad de uso, claridad funcional y eficiencia en los procesos de validación.

Fundamento teórico

La tecnología Blockchain ha emergido como un paradigma disruptivo para garantizar la integridad y transparencia de la información en entornos digitales. Su origen se remonta a la propuesta de Nakamoto en 2008, orientada inicialmente a las transacciones financieras descentralizadas. No obstante, la evolución de sus aplicaciones ha trascendido el ámbito económico, consolidándose como una infraestructura capaz de registrar datos de manera distribuida, inmutable y verificable. Estas propiedades han permitido explorar su implementación en áreas como la gestión de identidades digitales, la trazabilidad en cadenas de suministro y, más recientemente, en el ámbito educativo y académico, donde la confianza en los registros es un factor crítico.

El funcionamiento de Blockchain se sostiene en mecanismos de consenso que aseguran la validez de las transacciones entre los nodos participantes. Algoritmos como la Prueba de Trabajo (PoW) o la Prueba de Participación (PoS) han sido ampliamente estudiados por su capacidad de equilibrar seguridad y eficiencia. En paralelo, la criptografía y el *hashing* proporcionan los cimientos para garantizar la inmutabilidad de los registros, convirtiendo cada bloque en un eslabón único de una cadena incorruptible. Estas características han permitido que Blockchain se perciba como una alternativa confiable frente a los sistemas centralizados tradicionales, donde la manipulación de registros o la dependencia de intermediarios son riesgos latentes.

Un avance particularmente relevante ha sido el desarrollo de los contratos inteligentes, programas autoejecutables desplegados en la Blockchain que permiten automatizar procesos bajo condiciones predefinidas. En plataformas como Ethereum, estos contratos han posibilitado la creación de aplicaciones descentralizadas (dApps) que expanden el uso de Blockchain a dominios como la gestión de activos digitales, el voto electrónico o la certificación académica. Asociado a ello, el uso de sistemas de almacenamiento descentralizado, como el *InterPlanetary File System* (IPFS), contribuye a mantener la integridad y disponibilidad de los documentos digitales. De este modo, la combinación de contratos inteligentes y repositorios distribuidos constituye una base sólida para aplicaciones que requieren tanto seguridad como trazabilidad documental.

En el ámbito de la certificación académica, algunos esfuerzos previos han explorado repositorios digitales basados en Blockchain, así como plataformas de emisión de diplomas electrónicos. Sin embargo, estas soluciones suelen enfocarse en credenciales educativas generales, con limitada atención al caso específico de las revistas científicas y los certificados que respaldan la aceptación y publicación de artículos. Tal vacío plantea la oportunidad de aplicar los principios de inmutabilidad, descentralización y verificación pública en un contexto donde la autenticidad de los certificados es fundamental para la reputación de investigadores y editoriales.

En este sentido, la propuesta desarrollada en este trabajo busca avanzar sobre dichas iniciativas al diseñar una aplicación web, *CertifyChain*, que integra contratos inteligentes, almacenamiento descentralizado y validación mediante códigos QR para fortalecer la verificación de certificados emitidos por revistas científicas. La Tabla 1 resume una comparación entre enfoques previos y la solución planteada, destacando las diferencias en alcance, transparencia y grado de descentralización.

Tabla 1

Comparativa de soluciones existentes vs. propuesta

Enfoque / Solución	Tecnología principal	Alcance en certificación	Transparencia	Descentralización	Limitaciones principales
Repositorios institucionales	Bases de datos centralizadas	Diplomas/certificados	Media	Nula	Dependencia de terceros, riesgo de manipulación
Plataformas de diplomas digitales	Firmas electrónicas, PDF	Credenciales educativas	Alta	Baja	Requiere confianza en la entidad emisora
Soluciones Blockchain educativas	Blockchain pública o privada	Diplomas académicos	Alta	Variable	Poco aplicadas en revistas científicas
CertifyChain (propuesta)	Ethereum + IPFS + Smart C.	Certificados de revistas	Muy alta	Alta	Requiere adopción institucional y capacitación

Nota. Autores (2025)

En este escenario, el presente trabajo se conecta con los avances previos en el uso de Blockchain para la gestión de credenciales, pero se diferencia al enfocar la solución en el ámbito editorial científico. Este aporte contribuye a la confianza en la verificación de certificados, y abre la posibilidad de extender la metodología a otros ámbitos de validación documental en la academia.

Metodología

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque de investigación aplicada con diseño no experimental y alcance descriptivo, debido a que estuvo orientado al desarrollo y evaluación de una solución tecnológica para la validación de certificados científicos mediante Blockchain, sin manipulación deliberada de variables. Metodológicamente, el trabajo se estructuró como un estudio de caso tecnológico, centrado en el diseño, implementación y evaluación funcional de una aplicación web en el contexto de revistas científicas de una universidad estatal ecuatoriana.

La metodología adoptada se fundamentó en principios de investigación orientados al desarrollo de artefactos tecnológicos, similares a los utilizados en estudios de *Design Science Research* donde el objetivo principal consiste en construir y evaluar soluciones tecnológicas capaces de resolver problemas específicos en contextos reales. En este caso,

el problema abordado corresponde a la necesidad de garantizar autenticidad, trazabilidad y verificabilidad de certificados emitidos por revistas científicas.

Para cumplir este propósito, el estudio se organizó en cinco fases (Figura 1): i) análisis de requisitos; ii) diseño y construcción de la aplicación; iii) desarrollo del contrato inteligente; iv) integración de almacenamiento descentralizado y firma de transacciones; y v) evaluación de usabilidad y aceptación del sistema por parte de los usuarios participantes.

Figura 1

Fases metodológicas del estudio



Nota. Autores (2025)

Análisis de requisitos

En la fase inicial se recopilaban los requisitos funcionales y no funcionales mediante entrevistas semiestructuradas realizadas a editores de revistas científicas pertenecientes a una universidad estatal ecuatoriana. La institución fue seleccionada debido a que contaba con revistas científicas activas e indexadas, procesos editoriales consolidados y personal con experiencia en la gestión de publicaciones académicas, lo que permitió disponer de un contexto real para analizar las necesidades asociadas a la emisión y validación de certificados científicos. En total se contó con cinco participantes vinculados a las tres revistas científicas institucionales, incluyendo editores en jefe y editores generales.

Las entrevistas permitieron identificar requerimientos relacionados con autenticidad documental, trazabilidad de certificados, facilidad de verificación y limitaciones presentes en los mecanismos tradicionales de validación. La información recopilada fue sistematizada y priorizada como base para el diseño funcional y arquitectónico de la aplicación.

Diseño y construcción de la aplicación

Con base en los requisitos identificados, se procedió al diseño e implementación de una arquitectura tecnológica orientada a garantizar seguridad, escalabilidad y facilidad de mantenimiento. Esta fase se desarrolló siguiendo un enfoque incremental de construcción de software, permitiendo integrar progresivamente los componentes funcionales y validar su interoperabilidad durante el proceso de desarrollo.

La arquitectura adoptada correspondió a un modelo cliente-servidor distribuido, en el cual el front-end fue desarrollado en Angular 18 para facilitar la interacción de los usuarios con el sistema, priorizando criterios de usabilidad y accesibilidad. Por su parte, el backend se implementó en .NET 7 mediante una arquitectura en capas, separando servicios, lógica de negocio y acceso a datos con la finalidad de mejorar modularidad, mantenibilidad y control de procesos. Para la persistencia de información se utilizó PostgreSQL como sistema de gestión relacional de bases de datos. Esta estructura permitió establecer una integración funcional entre los componentes web tradicionales y los mecanismos descentralizados de Blockchain, garantizando consistencia operativa durante los procesos de registro, emisión y validación de certificados científicos.

Desarrollo del contrato inteligente

Para garantizar la inmutabilidad y trazabilidad de los certificados, se desarrolló un contrato inteligente en Solidity (^0.8.0), desplegado en la testnet de Ethereum Sepolia. El desarrollo se realizó en el entorno Remix, mientras que la interacción con la Blockchain se gestionó mediante MetaMask. El contrato implementó funciones de registro, validación y consulta de certificados. Esta fase aseguró que cada certificado quedará asociado a un identificador único y vinculado a un hash registrado en la cadena de bloques.

Almacenamiento descentralizado e integración de MetaMask

Los artículos científicos y certificados fueron almacenados en el sistema distribuido IPFS, utilizando el servicio Pinata para asegurar la permanencia de los archivos. Cada documento fue identificado mediante un *Content Identifier* (CID), registrado en la Blockchain para su posterior verificación. Para la gestión de transacciones se integró MetaMask, que permitió a los usuarios firmar digitalmente y autorizar operaciones en la red Ethereum. Esta integración permitió combinar seguridad criptográfica con facilidad de uso en la interacción con la aplicación.

Evaluación de usabilidad

Finalmente, se llevó a cabo una evaluación de usabilidad con los mismos editores de revistas científicas que participaron en las entrevistas. Los participantes interactuaron con la aplicación en tareas específicas (registrar artículo; publicar, validar y buscar certificado) desde sus lugares de trabajo en las revistas. Se analizaron aspectos como la facilidad de navegación, la claridad del propósito de la aplicación, los tiempos de respuesta del sistema y la validación de certificados mediante códigos QR enlazados a registros on-chain. Los resultados fueron recopilados mediante cuestionarios estructurados para determinar la aceptación del sistema y la identificación de áreas de mejora.

Resultados

Resultados de la implementación y validación de CertifyChain

La implementación de CertifyChain permitió evaluar la viabilidad de integrar tecnología Blockchain en procesos editoriales relacionados con la emisión y validación de certificados científicos. Los resultados obtenidos evidenciaron que la combinación de contratos inteligentes, almacenamiento descentralizado e interfaces web posibilita establecer mecanismos verificables y transparentes para la autenticación documental en revistas científicas.

Durante el desarrollo funcional del sistema se logró integrar exitosamente el registro de artículos científicos, la generación de certificados digitales y la validación pública mediante códigos QR enlazados a registros on-chain. Esta integración permitió comprobar que el uso de Blockchain puede fortalecer la trazabilidad y reducir riesgos asociados a alteraciones o falsificaciones de certificados académicos. Asimismo, la arquitectura híbrida implementada demostró ser operativamente funcional al combinar tecnologías tradicionales de almacenamiento y gestión de datos con mecanismos descentralizados de validación. Esto permitió optimizar procesos de registro y consulta sin afectar la experiencia general de uso de la aplicación.

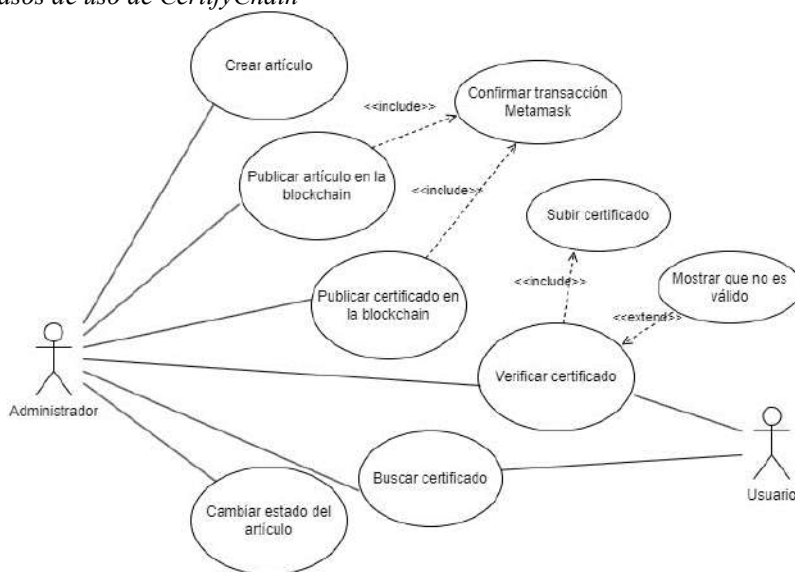
La interacción entre actores y funcionalidades se representó mediante un diagrama de casos de uso (Figura 2), donde se describen las acciones principales de los editores y de los usuarios verificadores.

La implementación de CertifyChain permitió integrar componentes web tradicionales con mecanismos descentralizados de validación basados en Blockchain, facilitando el registro, emisión y verificación de certificados científicos en un entorno accesible para los usuarios. La arquitectura desarrollada (Figura 3) favoreció la interoperabilidad entre la aplicación web, el almacenamiento descentralizado y los contratos inteligentes desplegados en Ethereum, permitiendo mantener consistencia y trazabilidad durante todo el proceso de certificación.

Desde el punto de vista funcional, el sistema logró gestionar de manera adecuada la autenticación de usuarios, el registro de artículos científicos y la consulta pública de certificados mediante validación on-chain. Asimismo, la integración de códigos QR y almacenamiento distribuido contribuyó a mejorar la verificabilidad de los documentos emitidos, permitiendo acceder a evidencia digital inmutable asociada a cada certificado.

Figura 2

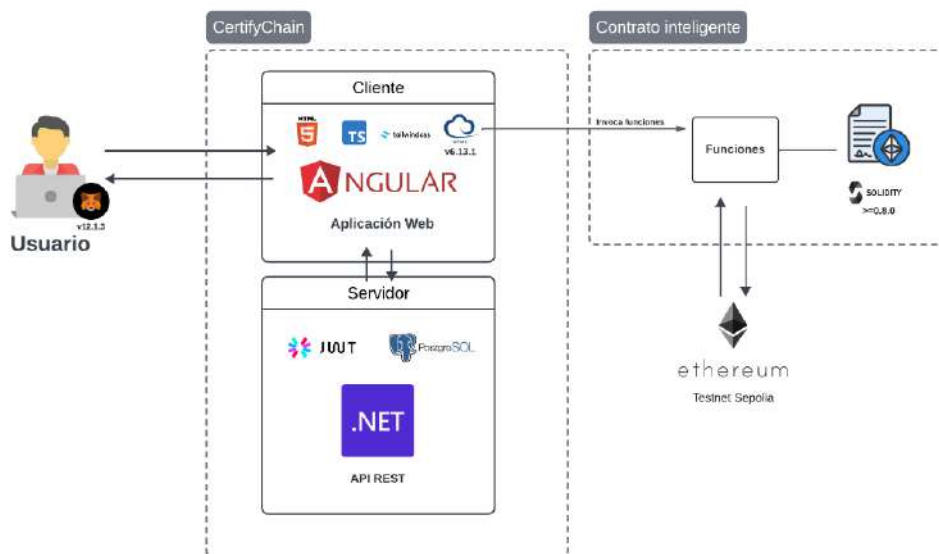
Diagrama de casos de uso de CertifyChain



Nota. Autores (2025)

Figura 3

Arquitectura de CertifyChain



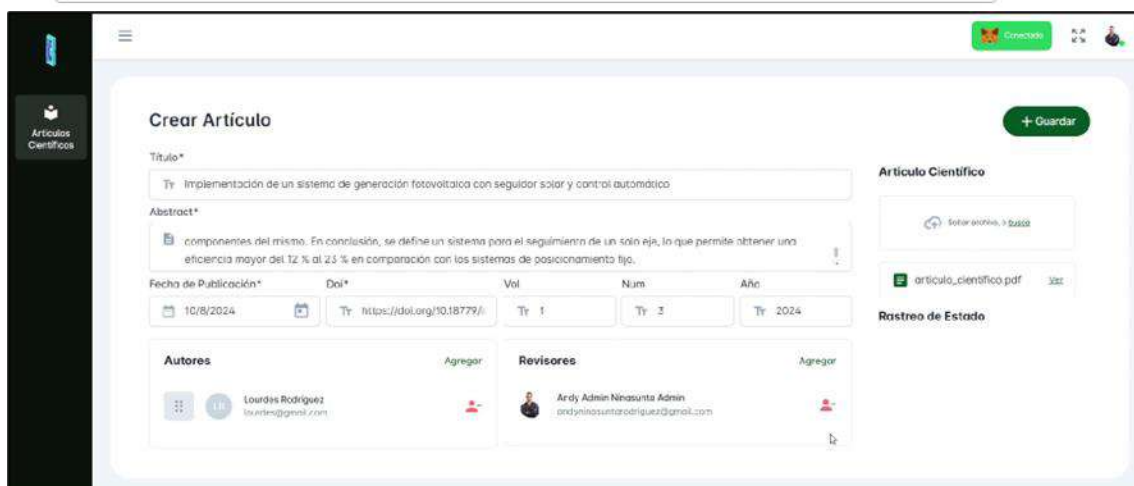
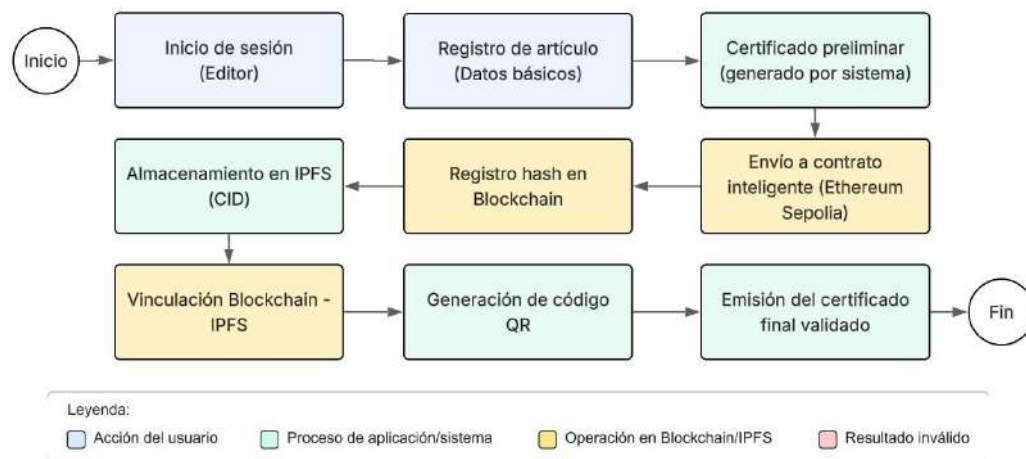
Nota. Autores (2025)

Aunque la aplicación incluye diferentes funcionalidades, se priorizó la descripción de los dos procesos fundamentales: registro de artículos con la emisión de certificados y verificación externa de certificados. El primer proceso (Figura 4) inicia con la labor del editor, quien registra en la aplicación los datos esenciales de un artículo científico: título, autores, revista, número de edición y fecha de publicación. A partir de esta información, *CertifyChain* genera automáticamente un certificado digital asociado, que es firmado mediante el contrato inteligente desplegado en la Blockchain de Ethereum.

El sistema almacena los metadatos en la base de datos, mientras que el documento y su certificado son resguardados en IPFS, obteniendo un CID vinculado al registro on-chain. De esta manera, cada artículo queda respaldado por un certificado inmutable y verificable, reduciendo la posibilidad de fraude y asegurando la transparencia del proceso editorial.

Figura 4

Proceso de generación y emisión de certificados por el editor

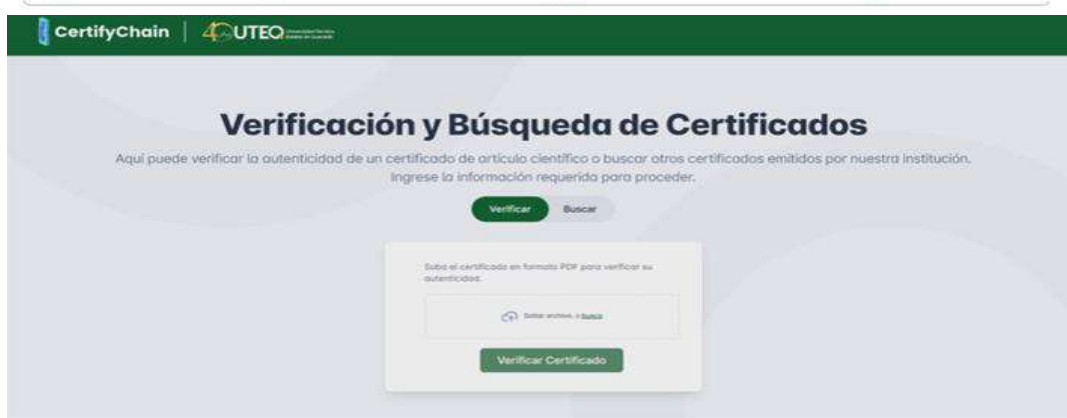


Nota. Autores (2025)

Una vez emitido, el certificado puede ser validado por cualquier usuario externo mediante el escaneo de un código QR integrado en el documento (ver Figura 5). Al realizar esta acción, la aplicación consulta el contrato inteligente y recupera la información asociada al certificado, verificando su correspondencia con los datos almacenados en la Blockchain. Si el certificado es válido, se muestran los detalles completos del artículo, autores, revista y enlace al archivo en IPFS; en caso contrario, el sistema notifica su invalidez. Este mecanismo permite que terceros, sin necesidad de acceso privilegiado, confirmen en tiempo real la autenticidad y validez de los certificados emitidos por la revista científica.

Figura 5

Proceso de validación de certificados mediante código QR



Nota. Autores (2025)

221

Contrato inteligente e integración con almacenamiento descentralizado

El núcleo de la solución técnica de *CertifyChain* se basa en un contrato inteligente desarrollado en Solidity y desplegado en la red de pruebas Ethereum Sepolia (Figura 6). Este contrato implementa funciones específicas para registrar, validar y consultar certificados académicos, asegurando la inmutabilidad de cada registro en la cadena de bloques. Su diseño permite asociar a cada certificado un identificador único, de modo que la autenticidad pueda ser verificada públicamente en cualquier momento. Las principales funciones del contrato se resumen en la Tabla 2.

Figura 6

Contrato inteligente desplegado en la testnet Sepolia



Nota. Autores (2025)

Tabla 2

Funciones del contrato inteligente

Función	Descripción
registerArticle	Registra un artículo nuevo con un identificador único, previniendo duplicados y emitiendo el evento ArticleRegistered.
addCertificateToArticle	Agrega un certificado a un artículo existente, actualiza las estructuras internas y emite CertificateRegistered.
getArticleHash	Calcula un hash (keccak256) del artículo para generar un identificador verificable por contenido.
getArticle	Recupera todos los metadatos del artículo asociado al identificador suministrado.
getCertificatesOfArticle	Devuelve la colección de certificados vinculados a un artículo específico.
getCertificate	Obtiene los datos completos de un certificado individual a partir de su identificador.

Nota. Autores (2025)

Además de las funciones listadas, el contrato inteligente emite los eventos **ArticleRegistered** y **CertificateRegistered** cada vez que se añade un nuevo artículo o certificado. Estos eventos refuerzan la trazabilidad on-chain, permitiendo auditar las operaciones realizadas, y notificar en tiempo real a los sistemas que interactúan con la Blockchain sobre la creación de registros válidos.

Para el manejo de los documentos asociados a cada registro se empleó el sistema distribuido IPFS, lo que garantiza que los certificados y archivos vinculados permanezcan accesibles y protegidos frente a alteraciones. Cada documento obtiene un CID que se almacena en la Blockchain, vinculando el registro on-chain con el archivo descentralizado. Este enfoque híbrido combina la trazabilidad propia de la Blockchain con la eficiencia en almacenamiento de IPFS.

La interacción con la Blockchain y el contrato inteligente se realiza a través de MetaMask, que permite a los editores firmar digitalmente y autorizar las transacciones de registro. De esta forma, se integra seguridad criptográfica en la experiencia de usuario, reduciendo la complejidad técnica y facilitando la adopción. La comunicación de estos componentes en el sistema puede observarse en el diagrama de arquitectura (ver Figura 3), donde se muestra la integración entre cliente web, servidor, contrato inteligente y almacenamiento descentralizado.

Evaluación de la aplicación

Previo a la evaluación con los usuarios finales, la aplicación fue sometida a pruebas técnicas para verificar la correcta integración entre los módulos de la arquitectura, la interacción con la Blockchain y el almacenamiento descentralizado. Una vez garantizada la estabilidad del sistema, se procedió con la evaluación de usabilidad, orientada a identificar la claridad, facilidad de uso y pertinencia de la solución desde la perspectiva de los editores de revistas científicas.

En cuanto a la navegación dentro de la aplicación, la totalidad de los editores coincidió en que el sistema es sencillo de recorrer, permitiendo identificar de forma rápida las funciones principales. Este resultado refleja que la organización de menús y opciones resultó clara para los usuarios, lo que favorece la adopción de la herramienta en escenarios reales de gestión editorial.

Respecto a la claridad del propósito del sistema, todos los participantes señalaron que comprendieron de manera inmediata que la aplicación está destinada a registrar artículos, emitir certificados y validarlos a través de Blockchain. Esta percepción confirma que la propuesta cumple con uno de sus objetivos centrales: comunicar de forma directa su finalidad, sin necesidad de explicaciones adicionales complejas.

La percepción sobre los tiempos de respuesta del sistema fue igualmente satisfactoria: todos coincidieron en que las operaciones se ejecutaron con rapidez, sin demoras perceptibles. Esto refuerza la viabilidad técnica de la aplicación y demuestra que la integración con Blockchain e IPFS no compromete la experiencia de usuario.

Sobre la validación de certificados a través del código QR, todos los editores consideraron que la funcionalidad es práctica y efectiva. La posibilidad de confirmar en tiempo real la autenticidad de un certificado fue valorada como un elemento diferenciador frente a procesos tradicionales, al aportar transparencia y confianza tanto para autores como para instituciones. Además, los editores coincidieron en que el proceso se ejecutó de manera adecuada, sin presentar inconvenientes. Este resultado refleja la solidez del sistema y respalda su correcto desempeño en escenarios de uso cotidiano.

En las preguntas vinculadas a MetaMask, los editores reportaron una experiencia mayoritariamente positiva, aunque con diferentes niveles de familiaridad tecnológica. Una parte de los participantes calificó la conexión de la billetera como “fácil”, mientras que otros la consideraron “moderadamente fácil”, lo que indica que el flujo es comprensible, pero podría beneficiarse de ayudas contextuales o un breve proceso de *onboarding*. En cuanto a la autorización de transacciones, algunos participantes manifestaron dudas puntuales durante los pasos de confirmación, sugiriendo la necesidad de incorporar mensajes más explícitos y asistencia paso a paso durante la firma digital.

Respecto a la seguridad percibida con MetaMask, el consenso fue total. Todos los editores estuvieron de acuerdo con que la integración añade un nivel adecuado de protección para la gestión y verificación de certificados, reforzando la confianza en el proceso de emisión y validación on-chain sin introducir fricción significativa en la experiencia de uso.

Discusión

CertifyChain aporta a la utilización de la tecnología Blockchain en la gestión y verificación de certificados científicos, lo cual se verificó con la retroalimentación obtenida de los editores que mostraron una recepción positiva. Este enfoque responde a una necesidad ampliamente reconocida en el ámbito académico: garantizar la transparencia, integridad y confiabilidad de la producción científica. En particular, los editores valoraron la facilidad de verificación mediante códigos QR y la inmutabilidad de los registros, lo que refuerza la confianza en el sistema y en los procesos de publicación. Los resultados obtenidos durante la validación funcional evidenciaron que la integración de Blockchain permitió fortalecer la trazabilidad y verificabilidad de los certificados científicos emitidos por las revistas participantes. La posibilidad de consultar registros on-chain mediante códigos QR fue percibida por los editores como un mecanismo

transparente y confiable para autenticar documentos académicos, reduciendo la dependencia de validaciones manuales o intermediarios institucionales.

Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan la capacidad de Blockchain para garantizar integridad documental, inmutabilidad y confianza distribuida en entornos digitales. En este sentido, CertifyChain demuestra que la incorporación de contratos inteligentes y almacenamiento descentralizado puede constituir una alternativa viable para fortalecer procesos editoriales científicos donde la autenticidad documental representa un elemento crítico.

Al comparar *CertifyChain* con otras soluciones, se observa que plataformas como OpenReview.net, ArXiv o Zenodo permiten la gestión y depósito de artículos, pero no incorporan la verificación descentralizada, lo que limita su capacidad de garantizar autenticidad. Frente a iniciativas como Blockcerts, que emplea Blockchain para certificados educativos, CertifyChain se diferencia al enfocarse específicamente en la certificación de artículos científicos y en la integración de mecanismos de validación descentralizada orientados al ámbito editorial académico.

Conclusiones

El presente trabajo demostró la viabilidad de aplicar tecnología Blockchain en el ámbito editorial científico mediante el desarrollo de *CertifyChain*, una aplicación web que permite registrar artículos, emitir certificados digitales y verificar su autenticidad de manera transparente y descentralizada. La solución combina una arquitectura híbrida, integrando bases de datos tradicionales y contratos inteligentes en Ethereum, lo que garantiza inmutabilidad, trazabilidad y seguridad en los procesos de certificación académica.

Los resultados de la evaluación con editores evidenciaron una alta aceptación de la herramienta, destacando su facilidad de uso, la claridad en la generación de certificados y la confianza otorgada por la validación mediante códigos QR. Aunque se señalaron aspectos de mejora, como simplificar la terminología técnica e incluir ayudas contextuales en el uso de MetaMask, la percepción general fue que el sistema constituye un aporte significativo para fortalecer la integridad y la transparencia en los procesos editoriales.

El estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse. La evaluación de usabilidad se realizó con un número reducido de participantes, lo que limita la generalización de los resultados obtenidos. Asimismo, la aplicación fue desplegada únicamente en la red de pruebas Ethereum Sepolia, por lo que futuras investigaciones deberán analizar su comportamiento en escenarios de producción y contextos de mayor demanda. De igual manera, será necesario evaluar la escalabilidad del sistema en revistas científicas con altos volúmenes de publicaciones y procesos editoriales más complejos.

En definitiva, CertifyChain se posiciona como una propuesta innovadora para la certificación académica, diferenciándose de soluciones existentes al aprovechar las ventajas de Blockchain con un enfoque orientado a la transparencia, trazabilidad y verificabilidad documental. Futuras investigaciones deberán profundizar en la evaluación

de escalabilidad del sistema en escenarios editoriales de mayor complejidad, así como en el análisis de rendimiento y adopción institucional en contextos académicos más amplios.

Referencias

- Aggarwal, S., & Kumar, N. (2021). Cryptographic consensus mechanisms. In *The Blockchain Technology for Secure and Smart Applications across Industry Verticals* (pp. 211–226). <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2020.08.011>
- Asif, R., & Hassan, S. R. (2023). Shaping the future of Ethereum: exploring energy consumption in Proof-of-Work and Proof-of-Stake consensus. *Frontiers in Blockchain*, 6. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2023.1151724>
- Bach, L. M., Mihaljevic, B., & Zagar, M. (2018). Comparative analysis of blockchain consensus algorithms. *2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 1545–1550. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2018.8400278>
- Bhatia, S., & Tyagi, S. S. (2021). Ethereum. In *Blockchain for Business* (pp. 77–96). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119711063.ch4>
- Dominguez Omonte, C. B. (2019). El reto de la Gestión Editorial de Revistas Científicas, la “Endogamia” editorial, y autoral. *Revista Científica Ciencia Médica*, 22.
- Estrada Galiñanes, V., ElRouby, A., & Theytaz, L. M.-A. (2024). *Efficient Data Management for IPFS dApps*.
- França, R. P., Monteiro, A. C. B., Arthur, R., & Iano, Y. (2021). *An Introduction to Blockchain Technology and Their Applications in the Actuality with a View of Its Security Aspects* (pp. 31–53). https://doi.org/10.1007/978-981-33-6858-3_3
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research1. *Management Information Systems Quarterly*, 28(1), 75–106. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- Khan, A. A., Laghari, A. A., Shaikh, A. A., Bourouis, S., Mamlouk, A. M., & Alshazly, H. (2021). Educational Blockchain: A Secure Degree Attestation and Verification Traceability Architecture for Higher Education Commission. *Applied Sciences*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/APP112210917>
- Kulkarni, R. (2019). Origins of Blockchain. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3399644>
- Laarier, J. H. (2021). A Brief History of Blockchain. In *Transforming Scholarly Publishing With Blockchain Technologies and AI* (pp. 85–100). <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5589-7.ch005>
- Li, Z. (2022). Analysis on the Development of Ethereum and Its Consensus Mechanisms. *2022 International Conference on Data Analytics, Computing and Artificial Intelligence (ICDACAI)*, 196–199. <https://doi.org/10.1109/ICDACAI57211.2022.00047>
- Mihailescu, M. I., & Nita, S. L. (2021). Hash Functions. In *Cryptography and Cryptanalysis in MATLAB* (pp. 83–102). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7334-0_8

- Mina Quiñonez, T. I. (2021). Desarrollo de aplicaciones web y móvil para la gestión de publicaciones científicas. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico-Profesional*, 6, 973–982.
- Morris, E. J. (2018). Academic integrity matters: Five considerations for addressing contract cheating. In *International Journal for Educational Integrity* (Vol. 14, Number 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1007/s40979-018-0038-5>
- Mueller, P. (2018). Application of blockchain technology. *It - Information Technology*, 60(5–6), 249–251. <https://doi.org/10.1515/itit-2018-0035>
- Murray, M. (2019). Tutorial: A Descriptive Introduction to the Blockchain. *Communications of the Association for Information Systems*, 45(1), 25. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.04525>
- Ouyang, Z., Shao, J., & Zeng, Y. (2021). PoW and PoS and Related Applications. *2021 International Conference on Electronic Information Engineering and Computer Science (EIECS)*, 59–62. <https://doi.org/10.1109/EIECS53707.2021.9588080>
- Rodriguez Olmos, J. M. (2020). Smart Contracts y arquitectura del contrato: reflexiones desde el derecho contractual (Smart Contracts and Architecture of Contract: Some Thoughts from Contract Law Perspective). *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3684925>
- Taha, M. M., & Alanezi, M. (2022). The Blockchains Technologies for Cryptocurrencies: A Review. *2022 International Conference for Natural and Applied Sciences (ICNAS)*, 101–106. <https://doi.org/10.1109/ICNAS55512.2022.9944710>
- Trautwein, D., Raman, A., Tyson, G., Castro, I., Scott, W., Schubotz, M., Gipp, B., & Psaras, Y. (2022). Design and evaluation of IPFS. *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2022 Conference*, 739–752. <https://doi.org/10.1145/3544216.3544232>
- Vasiu, I., & Vasiu, L. (2023). Framework for Effective Smart Contracting. *Bratislava Law Review*, 7(2), 107–122. <https://doi.org/10.46282/blr.2023.7.2.511>
- Wang, M., Duan, M., & Zhu, J. (2018). Research on the Security Criteria of Hash Functions in the Blockchain. *Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Blockchains, Cryptocurrencies, and Contracts*, 47–55. <https://doi.org/10.1145/3205230.3205238>
- Yaga, D., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K. (2018). *Blockchain technology overview*. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8202>

Integración de GPT-4.1 y WCAG 2.1 para la simplificación automatizada y accesible de textos en la gestión pública ecuatoriana

Integrating GPT-4.1 and WCAG 2.1 for Accessible Automated Text Simplification in Ecuadorian Public Governance

 Jenny Ortiz Zambrano
Universidad de Guayaquil

Ph.D. en Tecnologías de la Información y Comunicación

 Nira Melany Holguin Bonilla
Universidad de Guayaquil
Ingeniera en Software

 Ariana Michelle Cabezas Macias
Universidad de Guayaquil
Ingeniera en Software

Resumen:

La complejidad técnica de la documentación gubernamental en Ecuador genera importantes barreras de información, afectando de manera desproporcionada a ciudadanos con menor nivel educativo, adultos mayores y personas con discapacidad. Este estudio tiene como objetivo evaluar y mejorar GovAIEasy, una plataforma web diseñada para automatizar la simplificación de textos institucionales públicos, garantizando al mismo tiempo la plena accesibilidad digital. Se implementó el modelo transformador GPT-4.1 para realizar la simplificación automática de textos, reduciendo la complejidad léxica. Además, la plataforma se rediseñó siguiendo las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.1 para asegurar una interfaz perceptible, operable, comprensible y robusta. La integración incluye características como elementos visuales de alto contraste, navegación mediante teclado, estructuras semánticas y compatibilidad con tecnologías de asistencia. La plataforma actualizada logra salvar la brecha entre el lenguaje administrativo complejo y las necesidades de comprensión de los ciudadanos. Las pruebas confirman que la sinergia entre la IA generativa y los estándares WCAG 2.1 mejora significativamente la interacción del usuario para personas con discapacidades visuales, cognitivas y motoras. Esta investigación demuestra que combinar modelos avanzados de PLN con estándares internacionales de accesibilidad es esencial para crear servicios públicos digitales inclusivos, fomentando así una comunicación equitativa y la transparencia entre el Estado y la ciudadanía.

Palabras clave: PLN, GPT-4.1, WCAG 2.1, Gobernanza pública, Inclusión digital

Abstract:

The technical complexity of governmental documentation in Ecuador creates significant information barriers, disproportionately affecting citizens with lower educational levels, older adults, and individuals with disabilities. This study aims to evaluate and upgrade GovAIEasy, a web-based platform designed to automate the simplification of public institutional texts while ensuring full digital accessibility. We implemented the GPT-4.1 transformer model to perform automated text simplification, reducing lexical complexity. Furthermore, the platform was redesigned following the Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1 to ensure a perceptible, operable, understandable, and robust interface. The integration includes features such as high-contrast visual elements, keyboard navigation, semantic structures, and compatibility with assistive technologies. The updated platform effectively bridges the gap between complex administrative language and citizens' comprehension requirements. Testing confirms that the synergy between generative AI and WCAG 2.1 standards significantly enhances user interaction for individuals with visual, cognitive, and motor impairments. This research demonstrates that combining advanced NLP models with international accessibility standards is essential for creating inclusive digital public services, thereby fostering equitable communication and transparency between the State and the citizenry.

Keywords: NLP, GPT-4.1, WCAG 2.1, Public Governance, Digital Inclusion.

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

El proceso de modernización tecnológica en Ecuador ha impulsado la digitalización de servicios y trámites en instituciones públicas. Sin embargo, esta transición ha puesto en evidencia una barrera significativa: la dificultad de comprensión lectora frente al lenguaje administrativo y técnico presente en documentos oficiales (Fernández-Silva y Núñez Cortés, 2024). Diversos estudios señalan que los textos burocráticos, caracterizados por estructuras gramaticales densas y terminología especializada, afectan a personas con bajo nivel educativo, adultos mayores y personas con discapacidad principalmente, quienes encuentran mayores obstáculos en el acceso a la información pública (González-Delgado y Navarro-Colorado, 2024). Ante esta problemática, las iniciativas de lenguaje claro y accesibilidad cognitiva se han posicionado como estrategias clave para garantizar la inclusión. En el ámbito tecnológico, la simplificación léxica automática mediante modelos de inteligencia artificial ofrece una alternativa innovadora.

En particular, los Large Language Models (LLM), como GPT-4.1, han demostrado una alta capacidad para procesar y reformular textos complejos, preservando la coherencia y la fidelidad semántica (North et al., 2025). Su capacidad de aprendizaje profundo permite identificar patrones lingüísticos, detectar términos especializados y proponer equivalentes más accesibles, lo que impacta directamente en la mejora de la legibilidad y en la reducción de las barreras de comprensión (Briva-Iglesias, 2023).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar y actualizar la plataforma GovAIEasy para optimizar la comunicación digital entre el Estado ecuatoriano y la ciudadanía. Específicamente, la investigación se centra en dos ejes fundamentales: primero, la implementación de un motor de simplificación léxica automática basado en GPT-4.1 para reducir la complejidad técnica de documentos gubernamentales; y segundo, el rediseño de la interfaz de usuario bajo las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG 2.1). Con esta actualización, se pretende demostrar que la convergencia entre modelos de lenguaje avanzados y estándares de diseño inclusivo mejora significativamente la accesibilidad cognitiva, facilitando el acceso equitativo a la información pública para usuarios con diversas capacidades y niveles educativos.

Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y descriptivo, orientado a evaluar y actualizar plataformas web accesibles utilizadas para la simplificación de textos en instituciones públicas del Ecuador. La metodología se estructuró en fases secuenciales, iniciando con un diagnóstico de accesibilidad basado en los estándares de WCAG 2.1, con el fin de identificar barreras que dificultan la interacción y comprensión de los contenidos por parte de los usuarios (W3C, 2018¹). Este análisis permitió determinar el cumplimiento de los principios de perceptibilidad,

¹ W3C - <https://www.w3.org/TR/2018/REC-WCAG21-20180605/>

Figura 2

Resultados del análisis de evaluación de GetWCAG



Nota. Porcentaje del cumplimiento de normas del sitio web GovAIEasy mediante la plataforma de evaluación GetWCAG.

Resultado del Análisis

El sitio web GovAIEasy obtuvo una puntuación de accesibilidad del 94%, como se demuestra en la tabla 1, lo cual implica un resultado *sobresaliente* que evidencia una implementación sólida de estándares internacionales. Este puntaje refleja que la mayoría de los requisitos técnicos para garantizar una experiencia web accesible han sido cumplidos.

Tabla 1

Resultados de las normativas de accesibilidad a nivel internacional

Indicador	Resultado
Puntaje de cumplimiento	94 %
Cumple con WCAG 2.0/2.1	✓
Cumple con Sección 508 (EE.UU.)	✓
Cumple con EAA (Europa)	✓
Cumple con ADA (EE.UU.)	✓
Cumple con AODA (Canadá)	✓
Cumple con Ley de Igualdad del Reino Unido	✓

Nota. Esta lista muestra el grado de conformidad con diferentes normativas de accesibilidad a nivel internacional. Autoras, (2025)

Problemas de accesibilidad detectados

El sistema de evaluación GetWCAG detectó 5 errores principales que, aunque no críticos, deben ser corregidos para garantizar una experiencia de navegación accesible para todos los usuarios.

Tabla 2

Errores técnicos detectados por GetWCAG en la plataforma GovAIEasy

Categoría	Descripción del error técnico	Frecuencia
Navegación e interacción	Parte del contenido no está incluido dentro de landmarks semánticos (<main>, <nav>, etc.).	19 casos
Tablas y diseño	El documento contiene más de un punto de referencia con rol contentinfo.	1 caso
Tablas y diseño	Falta un landmark principal que delimite el contenido (<main>).	1 caso
Tablas y diseño	Algunos landmarks no tienen nombres únicos con aria-label o title.	1 caso

Tablas y diseño	No se encuentra un encabezado de nivel uno (<h1>) en el contenido principal.	1 caso
-----------------	--	--------

Nota. Errores técnicos detectados en el sitio web GovAIEasy.

Requisitos alcanzados

Se verificaron varios aspectos clave que ya cumplen con los estándares WCAG. Esto refleja una implementación correcta de accesibilidad en gran parte del código HTML del sitio.

Tabla3

Elementos verificados con éxito según su categoría

Categoría	Elementos verificados con éxito
Texto y etiquetas	Uso correcto de aria-hidden, etiquetas <title>, encabezados legibles, atributos lang, y uso correcto de alt.
Formularios	Etiquetado correcto con aria, uso adecuado de campos de entrada y validación visual accesible.
Contraste	Contraste adecuado entre fondo y texto, configuración correcta de la etiqueta <meta name="viewport">.
Diseño de tablas	Encabezados bien jerarquizados, uso correcto de <caption>, celdas asociadas correctamente con encabezados.
Navegación e interacción	Espaciado de texto ajustable y controles interactivos correctamente gestionados.

Nota. En esta tabla se muestran los elementos que fueron verificados con éxito en cada categoría de accesibilidad evaluada.

Conclusión del análisis de la herramienta GetWCAG evaluando GovAIEasy: El sitio www.govaieasy.com presenta un nivel de accesibilidad muy alto, cumpliendo con los principales estándares internacionales. Sin embargo, para llegar al 100% de conformidad, es necesario:

- Reestructurar el HTML para incluir landmarks faltantes o corregir duplicados.
- Agregar un <h1> como encabezado principal.
- Etiquetar landmarks duplicados con aria-label para evitar ambigüedad.
- Evitar usar tabindex superiores a 0, mejorando así la navegación por teclado.

WebYes: Informe de Técnico de Accesibilidad Web a GovAIEasy

Fecha del análisis: Julio 2025

URL evaluada: <https://www.govaieasy.com>

Figura 3

Logo Webyes



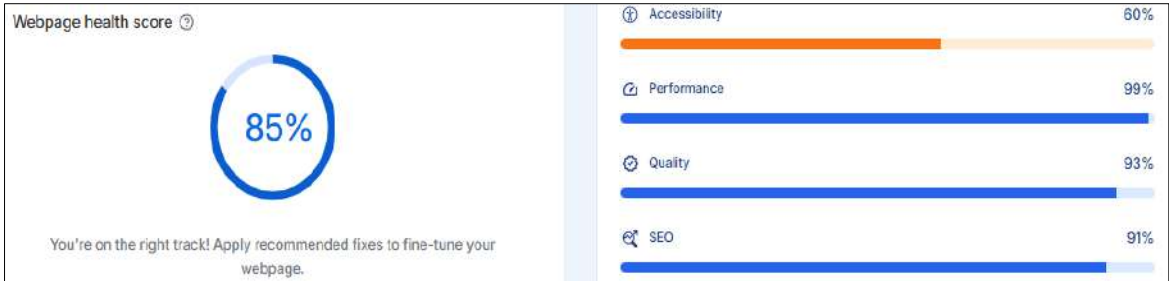
Nota. Logo de la plataforma de evaluación Webyes. Tomado de (WebYes, 2025).

WebYes es una herramienta de auditoría y monitoreo web que analiza un sitio en busca de problemas relacionados con el rendimiento, la accesibilidad, el SEO y la calidad,

además realiza un escaneo, genera un informe detallado con áreas clave para mejorar, ofreciendo guías claras para solucionar cada tipo de incidencia (WebYes, 2025).

Figura 4

Auditoria del sitio web



Nota. Detalle de la evaluación realizada al sitio web GovAIEasy por la herramienta WebYes.

Resultados del Análisis

Tabla 4

Principales componentes evaluados

Indicador	Porcentaje
Accesibilidad	60%
Rendimiento	99%
Calidad	93%
SEO	91%

Nota: Esta tabla resume los principales componentes evaluados. El área más débil es la accesibilidad, mientras que el rendimiento se encuentra en un nivel óptimo.

Según los resultados indican que, aunque se han pasado todas las verificaciones automatizadas, el puntaje bajo (60%) sugiere que aún faltan revisiones manuales para cumplir totalmente con los estándares WCAG 2.1 A/AA.

Tabla 5

Verificaciones aprobadas de accesibilidad

Verificación realizada	Estado
Uso correcto de aria-hidden	✓
Botones tienen nombre accesible	✓
Contraste suficiente de colores	✓
Elemento <title> presente	✓
Orden correcto de encabezados	✓
Uso correcto de atributos lang	✓
Etiquetas alt en imágenes sin redundancia	✓
Formularios con etiquetas asociadas	✓
Táctil: tamaño adecuado de elementos interactivos	✓
Uso de <caption> correcto en tablas	✓

Nota. En esta tabla se muestra las verificaciones de accesibilidad realizadas, todas ellas aprobadas satisfactoriamente.

Rendimiento:

Resultado total: 99%, total de verificaciones: 61 / Aprobadas: 47 / Errores: 14

Tabla 6*Principales Problemas Críticos del rendimiento*

Problema	Elementos afectados
Uso de HTTP/1.1 en lugar de HTTP/2	22
Servir imágenes en formatos modernos	12
Peticiones bloqueantes de renderizado	7
Descubrimiento LCP (Largest Contentful...)	2
Mostrar fuentes correctamente	5

Nota. Muestras los principales problemas críticos que se detectaron.

Calidad del Código y la Página

Resultado total: 93%. Total, de verificaciones: 19 / Aprobadas: 17 / Errores: 2

Tabla 7*Problemas críticos detectados de la calidad del código y la página*

Problema	Elementos afectados
Imágenes con proporciones incorrectas	1
Errores en consola del navegador	10

Nota. Estos problemas pueden afectar negativamente la experiencia del usuario.

SEO (Optimización para Motores de Búsqueda)

Resultado total: 91%. Total de verificaciones: 8 / Aprobadas: 7 / Errores: 1

Problema Crítico Detectado: Falta de meta descripción

Conclusión del análisis de la herramienta WebYes evaluando GovAIEasy: El análisis revela que el sitio web se encuentra en una condición técnica robusta, con excelente rendimiento y calidad de código. Sin embargo, la accesibilidad necesita atención para cumplir estándares de inclusión, y hay detalles técnicos que afectan ligeramente la percepción de calidad y visibilidad SEO.

QualiBooth: Informe de Técnico de Accesibilidad Web a GovAIEasy

Fecha del análisis: Julio 2025

URL evaluada: <https://www.govaieasy.com>

Figura 5

Logo QualiBooth



Nota. Logo de la plataforma de evaluación QualiBooth. Tomado de (QualiBooth, 2025).

QualiBooth es una plataforma que ayuda a las empresas a cumplir con normativas de accesibilidad web como WCAG, ADA y la Ley Europea de Accesibilidad mediante escaneos automáticos, informes detallados y asistencia con inteligencia artificial,

facilitando la detección y corrección de errores para ofrecer sitios inclusivos y evitar sanciones legales (QualiBooth, 2025).

Figura 6

Porcentaje de accesibilidad



Nota. Porcentaje de accesibilidad del sitio web GovAIEasy mediante la plataforma de evaluación QualiBooth.

El sitio web analizado presenta un bajo riesgo legal de incumplimiento en materia de accesibilidad digital y un puntaje alto de accesibilidad (94/100), lo cual indica un buen cumplimiento técnico con los estándares de accesibilidad (WCAG 2.1). Sin embargo, el sistema identificó 23 violaciones de severidad media, lo que sugiere oportunidades claras de mejora que deben abordarse para lograr la inclusión digital completa.

Tabla 8

Resultados Generales

Indicador	Valor obtenido	Descripción
Riesgo Legal (Lawsuit)	Bajo	El sitio cumple con los estándares mínimos y no presenta riesgos legales.
Puntaje de Accesibilidad	94/100	Excelente, indica cumplimiento técnico alto con WCAG 2.1
Violaciones encontradas	23	Todas clasificadas como de severidad media, ninguna crítica o alta.

Nota. Se destaca riesgo legal, alta accesibilidad y violaciones de severidad media.

Tabla 9

Desglose de Violaciones Detectadas

Tipo de problema	Cantidad	Severidad
Contenido fuera de landmarks	19	Media
Landmark duplicado de tipo contentinfo	1	Media
Ausencia de landmark main	1	Media
Landmark no tiene nombre accesible único (aria-label, title)	1	Media
Falta de encabezado de nivel uno (<h1>)	1	Media

Nota. Se muestra el tipo de problema y su cantidad, lo cual esto puede limitar la comprensión estructural del contenido

Actualizaciones de la Plataforma GovAIEasy y su clasificación según los Principios WCAG 2.1

Durante el proceso de investigación, la plataforma GovAIEasy recibió actualizaciones orientadas a optimizar la experiencia de usuario y garantizar la accesibilidad digital, de acuerdo con los cuatro principios de la WCAG 2.1: perceptible, operable, comprensible y robusto.

Figura 7

Actualización del sitio web GovAiEasy con mejoras de accesibilidad web



Nota. La interfaz muestra los componentes principales: el avatar de IA, el robot, el modelo 3D para interacción gestual, las opciones de accesibilidad y el botón de exportación PDF. Captura de pantalla de la plataforma GovAiEasy (2025).

Tabla 10

Principio Perceptible de la WCAG 2.1

Funcionalidad	Beneficio / Para qué sirve	Cómo se implementó	Pauta WCAG 2.1 específica
Modo Oscuro y Modo Claro	Alterna fondo y texto para reducir fatiga visual y mejorar legibilidad. (Ver figura 8 y 9).	Checkbox #darkModeToggle, alterna clases CSS, preferencia en <i>localStorage</i> .	1.4.3 y 1.4.6
Cambio de Tamaño de Fuente	Facilita lectura a personas con baja visión o adultos mayores. (Ver figura 10)	Control con <i>slider</i> que ajusta tamaño vía CSS, guardado en <i>localStorage</i> .	1.4.4 y 1.4.8
Animaciones en lengua de señas	Animaciones en lengua de señas. (Ver la figura 11)	Modelos 3D en Blender/Mixamo exportados a PNG, organizados en <i>spritesheets</i> , gestionados con JS.	1.1.1

Nota. La tabla 10 presenta varias funcionalidades del Principio Perceptible que fueron implementadas en la plataforma GovAiEasy, con el objetivo de garantizar que la información y los elementos de la interfaz sean visibles y detectables por todos los usuarios. Elaboración propia.

Estas mejoras fortalecen el motor de simplificación léxica basado en inteligencia artificial y, al mismo tiempo, incorporan funcionalidades que responden a las necesidades de usuarios con diversas capacidades. A continuación, se presentan las mejoras clasificadas según los cuatro principios fundamentales de la WCAG 2.1: *perceptible, operable, comprensible y robusto*.

Figura 8

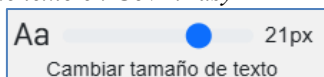
Interfaz del sitio GovAiEasy en modo claro



Nota. Vista general de la interfaz principal de la plataforma GovAiEasy configurada en modo claro, mostrando los paneles de texto original, simplificación automática asistida por inteligencia artificial y las opciones de accesibilidad. Autoras, (2025)

Figura 9

Funcionalidad de ajuste del tamaño de texto en GovAiEasy

**Figura 10**

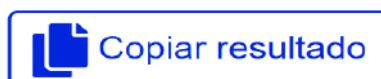
Animaciones en lengua de señas



Nota. Detalle del modelo 3D articulado implementado en la interfaz para la representación de animaciones y apoyo visual en la plataforma GovAiEasy. Elaboración propia.

Figura 11

Opción para copiar el texto



Nota. Botón del interfaz implementado para facilitar la acción de copiar el resultado generado con un solo clic dentro de la plataforma GovAiEasy. Elaboración propia.

Tabla 11

Principio Operable de la WCAG 2.1

Funcionalidad	Beneficio / Para qué sirve	Cómo se implementó	Pauta WCAG 2.1 específica
Copiado de Texto Simplificado	Permite copiar fácilmente el texto generado por la IA con un clic o teclado. (Ver la figura 12)	Botón con <code>navigator.clipboard.writeText ()</code> , confirmación visual y soporte de teclado.	2.1.1 y 2.5.3

Nota. La tabla describe la funcionalidad de copiado rápido de texto, su propósito para la accesibilidad del usuario, la solución de desarrollo implementada y los criterios de conformidad asociados de las WCAG 2.1. Elaboración propia.

Figura 12

Opción para escuchar el resultado generado en GovAiEasy



Nota. Detalle del botón del interfaz destinado a la reproducción de audio del resultado generado, diseñado para facilitar la accesibilidad auditiva en la plataforma GovAiEasy. Elaboración propia.

Tabla 12

Principio Comprensible

Funcionalidad	Beneficio / Para qué sirve	Cómo se implementó	Pauta WCAG 2.1 específica
Lectura de texto	Convierte el texto simplificado en audio, útil para personas con discapacidad visual o dislexia. (Ver la figura 13)	API SpeechSynthesis, división por frases con regex, control de pausa y reinicio.	1.2.1

Nota. La tabla presenta varias funcionalidades del Principio Comprensible que fueron implementadas en la plataforma GovAiEasy, con el objetivo de lograr que el contenido y la interacción sean entendibles y predecibles para cualquier usuario.

Tabla 13

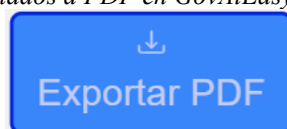
Principio Robusto

Funcionalidad	Beneficio / Para qué sirve	Cómo se implementó	Pauta WCAG 2.1 específica
Generación de Reporte en PDF	Exporta un informe accesible con texto original, simplificado, métricas y palabras complejas. (Ver la figura 14)	Backend Flask recibe datos, genera PDF desde plantilla HTML y lo envía con <code>send_file()</code> .	1.1.1

Nota. La tabla detalla la funcionalidad de generación de reportes en PDF bajo el principio de accesibilidad robusto, su beneficio para el usuario, la implementación técnica en el backend y su correspondencia con la pauta de las WCAG 2.1. Elaboración propia.

Figura 13

Funcionalidad de exportación de resultados a PDF en GovAiEasy



Nota. Detalle del botón del interfaz utilizado para la exportación de resultados e informes en formato PDF dentro de la plataforma GovAiEasy. Elaboración propia.

Discusión

Los resultados confirman que la combinación de accesibilidad web e inteligencia artificial es una estrategia eficaz para mejorar la comprensión de textos públicos y fomentar la inclusión digital (Díaz et al., 2020). La evaluación de GovAiEasy con diferentes herramientas especializadas permite observar matices importantes en la calidad de la accesibilidad implementada.

La evaluación realizada con la herramienta GetWCAG alcanzó un puntaje general de cumplimiento del 94%, destacándose en la verificación de accesibilidad estructural y semántica. Esta herramienta identificó errores relacionados con el etiquetado ARIA y con la navegación mediante teclado, considerados de severidad media, pero fácilmente corregibles mediante ajustes en el código HTML y en la jerarquía de encabezados. Por consiguiente, la evaluación de la herramienta WebYes obtuvo un puntaje general del 85%, pero solo alcanzó un 60% en accesibilidad, lo que revela que esta herramienta es

más estricta en la detección de errores. Sus reportes señalaron deficiencias en el rendimiento, redundancias en el código y contrastes de color poco óptimos en ciertos apartados. Aunque el resultado es más bajo en comparación con GetWCAG, esto representa una ventaja, ya que permite identificar áreas de mejora que no fueron detectadas por otras plataformas.

En el caso de QualiBooth, el puntaje en accesibilidad fue de 94/100, con la identificación de 23 violaciones, la mayoría de ellas relacionadas con elementos secundarios de la interfaz. A pesar de estas incidencias, el informe calificó el riesgo legal como bajo, lo que significa que la plataforma cumple con los requisitos principales de la normativa WCAG y que los ajustes necesarios son más bien preventivos que críticos.

La integración de los principios WCAG 2.1 perceptible, operable, comprensible y robusto permitió fortalecer la plataforma en cuatro dimensiones clave: visibilidad de los elementos, claridad de los textos y estabilidad técnica (W3C, 2018). Entre las actualizaciones más relevantes, las pautas relacionadas con contraste mínimo de color, uso de etiquetas semánticas y consistencia en la navegación demostraron ser las que más aportaron a GovAiEasy, al garantizar que los textos simplificados puedan ser interpretados correctamente por usuarios con diversas necesidades de accesibilidad.

Finalmente, la integración de GPT-4.1 para la simplificación léxica validó su potencial como un recurso para reducir barreras cognitivas sin alterar la coherencia ni el significado de los textos administrativos (North et al., 2025). Esto refuerza la idea de que la accesibilidad digital no se limita a aspectos técnicos de diseño web, sino que se complementa con tecnologías de inteligencia artificial que hacen el contenido comprensible para una mayor diversidad de usuarios.

Conclusiones

La actualización y evaluación de la plataforma GovAiEasy demuestran que es posible combinar criterios de accesibilidad digital con tecnologías de inteligencia artificial para mejorar la comprensión de textos institucionales. La plataforma alcanzó altos niveles de cumplimiento de estos estándares, donde se implementaron funcionalidades que respondieron a los principios *perceptible*, *operable*, *comprensible* y *robusto*, lo que garantizó visibilidad, interacción, comprensión y compatibilidad tecnológica para distintos usuarios (W3C, 2018), con el propósito de garantizar que todos los usuarios, independientemente de sus habilidades o condiciones, puedan acceder y utilizar la plataforma de manera efectiva, promoviendo la inclusión digital en el ámbito de las instituciones públicas.

La integración de GPT-4.1 permitió simplificar textos técnicos sin afectar la coherencia ni el significado, evidenciando el potencial de la IA para reducir barreras de comprensión en contextos gubernamentales (Briva-Iglesias, 2023). Se evaluó la efectividad de la plataforma web actualizada mediante el uso de herramientas de evaluación de accesibilidad web. A pesar de los resultados sobresalientes de las plataformas de evaluación realizado sobre GovAiEasy se identificaron detalles técnicos menores y violaciones de severidad media que requieren seguimiento y revisiones periódicas, reforzando la importancia de la mejora continua (Shah, 2023). En conjunto,

GovAiEasy contribuye a una experiencia más equitativa en el acceso a información pública, beneficiando a personas con discapacidad, adultos mayores y ciudadanos con menor nivel educativo, y ofrece un modelo replicable de integración de accesibilidad e inteligencia artificial en plataformas digitales (Díaz et al., 2020).

Referencias

- Briva-Iglesias, V. (2023). Inteligencia artificial (IA). *Fundació Universitat Oberta de Catalunya (FUOC)*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25455.41127>
- Díaz, F. J., Harari, I., & Amadeo, A. P. (2020). Accesibilidad web. *Accesibilidad Web*. <https://doi.org/10.35537/10915/105786>
- Fernández-Silva, S., & Núñez Cortés, J. A. (2024). Exploring the Effect of Plain Terminology on Processing and Comprehension of Administrative Texts in Spanish: A Self-Paced Reading Experiment. *International Journal of Applied Linguistics (United Kingdom)*, 35(2), 659–671. <https://doi.org/10.1111/IJAL.12650>
- GetWCAG. (2025). *Automated web accessibility scanner*. <https://getwcag.com/en>
- González-Delgado, G., & Navarro-Colorado, B. (2024). The Simplification of the Language of Public Administration: The Case of Ombudsman Institutions. *Actualidad Jurídica Iberoamericana*, 21, 104–129. <https://doi.org/10.13039/501100011033/>
- Ministerio de Educación. (2024). *ESTADÍSTICA EDUCATIVA*.
- North, K., Ranasinghe, T., Shardlow, M., & Zampieri, M. (2025). Deep Learning Approaches to Lexical Simplification: A Survey. *Journal of Intelligent Information Systems*, 63(1), 111–134. <https://doi.org/10.1007/s10844-024-00882-9>
- QualiBooth. (n.d.). *QualiBooth: Enterprise web accessibility software solutions*. Retrieved July 23, 2025, from https://www.qualiboost.com/?_gl=1*8pg1gx*_gcl_au*MTQ0NjM1MDIxNC4xNzUzMTQzMzM4*_ga*NjczNjU2MDA3LjE3NTMxNDMzNDM.*_ga_BSW2F8Z3WS*czE3NTMyMzgwMzIkbzMkZzAkDE3NTMyMzgwMzIkaYwJGwwJGgxMjk3NTAxNzIw
- Shah, H. (2023). *Advancing Web Accessibility -- A guide to transitioning Design Systems from WCAG 2.0 to WCAG 2.1*. 233–245. <https://doi.org/10.5121/csit.2023.132218>
- W3C. (2018). *Hacer que la web funcione*. <https://www.w3.org/>
- WebYes. (n.d.). *Herramienta gratuita para análisis de accesibilidad, SEO y calidad web*. Retrieved July 23, 2025, from <https://www.webyes.com/>

Análisis de necesidades tecnológicas educativas para la inclusión digital de adultos mayores en situación vulnerable

Analysis of educational technology needs for the digital inclusion of vulnerable older adults



Juan Pablo Romero Jara

Instituto Tecnológico Superior San Gabriel
Ingeniero en Sistemas



Roberto Fabricio Morales Riera

Instituto Tecnológico Superior San Gabriel
Tecnólogo en Desarrollo de Software



Dennys Ramiro Valdiviezo Allauca

Instituto Tecnológico Superior San Gabriel
Tecnólogo en Desarrollo de Software



David Patricio Pérez Miranda

Instituto Tecnológico Superior San Gabriel
Tecnólogo en Desarrollo de Software



Juan Misael Pilco Guachi

Instituto Tecnológico Superior San Gabriel
Tecnólogo en Desarrollo de Software

Resumen:

La presente investigación analiza las necesidades tecnológicas y formativas de adultos mayores en situación de vulnerabilidad, con el objetivo de identificar barreras digitales, niveles de acceso tecnológico y requerimientos educativos que permitan orientar programas inclusivos de alfabetización digital. Se empleó un enfoque metodológico mixto, integrando técnicas cuantitativas y cualitativas para comprender tanto las condiciones objetivas de acceso tecnológico como las experiencias emocionales y sociales vinculadas al aprendizaje digital. La investigación se desarrolló con 90 adultos mayores y 12 cuidadores pertenecientes a la Fundación EMNOAH. Se aplicó un cuestionario estructurado validado mediante juicio de expertos y prueba piloto, procesado estadísticamente con SPSS versión 30, mientras que las entrevistas cualitativas fueron analizadas mediante codificación temática en NVivo 15. Los resultados evidencian bajos niveles de escolaridad, acceso limitado a dispositivos y reducida conectividad, factores que restringen el uso de la tecnología principalmente a fines comunicativos. Asimismo, se identificaron barreras emocionales como miedo, frustración e inseguridad frente al uso tecnológico, junto con motivaciones asociadas a la autonomía personal y la comunicación familiar. Se concluye que la inclusión digital de adultos mayores requiere programas formativos accesibles, contextualizados y emocionalmente significativos, capaces de integrar acompañamiento pedagógico y adaptación tecnológica. Los hallazgos permiten fortalecer propuestas institucionales y comunitarias orientadas a reducir la exclusión digital en poblaciones envejecidas y vulnerables.

Palabras clave: alfabetización digital, adultos mayores, inclusión digital, brecha tecnológica, vulnerabilidad social, tecnología educativa.

Abstract:

This research analyzes the technological and educational needs of older adults in vulnerable situations, aiming to identify digital barriers, technological access levels, and educational requirements to guide inclusive digital literacy programs. A mixed-methods approach was employed, integrating quantitative and qualitative techniques to understand both objective technological access conditions and emotional and social experiences related to digital learning. The study involved 90 older adults and 12 caregivers from the EMNOAH Foundation. A structured questionnaire validated through expert judgment and pilot testing was statistically processed using SPSS version 30, while qualitative interviews were analyzed through thematic coding using NVivo 15. Results revealed low educational levels, limited access to devices, and poor connectivity, restricting technology use mainly to communication purposes. Emotional barriers such as fear, frustration, and insecurity regarding technology use were also identified, along with motivations linked to personal autonomy and family communication. The study concludes that digital inclusion for older adults requires accessible, contextualized, and emotionally meaningful training programs capable of integrating pedagogical support and technological adaptation. Findings contribute to strengthening institutional and community initiatives aimed at reducing digital exclusion among vulnerable aging populations.

Keywords: digital literacy, older adults, digital inclusion, digital divide, social vulnerability, educational technology.

Recibido: 22/11/2025
Publicado: 13/08/2026

Introducción

El envejecimiento demográfico constituye uno de los principales desafíos sociales contemporáneos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020), entre 2020 y 2050 la población mundial mayor de 60 años se duplicará, generando profundas transformaciones en los sistemas sociales, educativos y tecnológicos. En América Latina, este fenómeno se presenta en contextos caracterizados por desigualdad social, pobreza y limitaciones educativas, condiciones que incrementan la vulnerabilidad de los adultos mayores frente a los procesos de transformación digital (CEPAL, 2022).

La expansión de las tecnologías digitales ha modificado la forma en que las personas acceden a la información, participan en procesos sociales y ejercen derechos ciudadanos. Sin embargo, esta transformación tecnológica también ha profundizado las brechas digitales existentes, especialmente en grupos poblacionales históricamente excluidos. En los adultos mayores, la exclusión digital no se limita únicamente a la falta de dispositivos o conectividad, sino que involucra factores educativos, emocionales, culturales y cognitivos que condicionan el acceso significativo a la tecnología (Martínez & Alonso, 2022).

Desde una perspectiva de derechos humanos, la alfabetización digital debe comprenderse como un componente fundamental para promover autonomía, bienestar e inclusión social. La tecnología representa una herramienta que puede fortalecer la participación activa de los adultos mayores en ámbitos familiares, institucionales y comunitarios. No obstante, diversos estudios señalan que muchos programas de alfabetización digital fracasan al no considerar las trayectorias de vida, ritmos de aprendizaje y necesidades emocionales propias del envejecimiento (Quan-Haase et al., 2018).

Las investigaciones recientes también destacan que el miedo al error, la frustración tecnológica y la dependencia de terceros son barreras frecuentes que limitan la apropiación digital de los adultos mayores (Lu et al., 2024). Paralelamente, factores como el acompañamiento familiar, la utilidad percibida y la comunicación con seres queridos se convierten en motivaciones significativas para el aprendizaje tecnológico (Lee et al., 2022).

A pesar del crecimiento de investigaciones sobre alfabetización digital en adultos mayores, aún existe escasa evidencia contextualizada en poblaciones vulnerables del Ecuador, especialmente en fundaciones de atención social donde convergen limitaciones económicas, baja escolaridad y exclusión tecnológica. Además, muchos estudios priorizan únicamente indicadores cuantitativos de acceso tecnológico, dejando de lado las dimensiones emocionales y subjetivas que influyen en el aprendizaje digital.

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue analizar las necesidades tecnológicas y educativas de los adultos mayores en situación vulnerable pertenecientes a la Fundación EMNOAH, mediante un enfoque mixto, con el propósito de identificar barreras, niveles de acceso digital y requerimientos formativos que orienten el diseño de programas inclusivos de alfabetización digital.

Metodología

Diseño de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto con alcance descriptivo e interpretativo. La elección de este enfoque permitió integrar datos cuantitativos relacionados con acceso, frecuencia y uso tecnológico, junto con experiencias subjetivas vinculadas a emociones, motivaciones y barreras percibidas por los adultos mayores. A diferencia de un enfoque exclusivamente cuantitativo, el diseño mixto facilitó comprender tanto la magnitud del fenómeno como su dimensión humana y social.

Población y muestra

La población total estuvo conformada por 98 adultos mayores pertenecientes a la Fundación EMNOAH. Se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia de tipo censal, considerando a todos los participantes disponibles durante el período de recolección de información. La muestra final estuvo integrada por 90 adultos mayores y 12 cuidadores entre familiares y personal institucional. Los criterios de inclusión consideraron: Personas entre 60 y 85 años. Situación de vulnerabilidad educativa o económica. Ausencia de deterioro cognitivo severo. Firma previa del consentimiento informado.

Instrumentos de recolección de datos

Se aplicó un cuestionario estructurado compuesto por 28 ítems distribuidos en tres dimensiones:

Datos sociodemográficos (8 preguntas).

Acceso y uso tecnológico (12 preguntas).

Necesidades formativas e inclusión digital (8 preguntas).

De las 28 preguntas:

22 correspondieron a preguntas cerradas para análisis cuantitativo.

6 fueron preguntas abiertas para análisis cualitativo.

El instrumento fue diseñado utilizando tipografía Arial tamaño 16, lenguaje sencillo y ejemplos relacionados con actividades cotidianas como llamadas telefónicas, uso de WhatsApp y consultas médicas virtuales, con el objetivo de facilitar la comprensión y replicabilidad del estudio.

Asimismo, se realizaron entrevistas semiestructuradas dirigidas a adultos mayores y cuidadores, enfocadas en explorar emociones, experiencias, expectativas y barreras relacionadas con el uso de tecnologías digitales.

Validación de instrumentos

La validación del cuestionario se realizó mediante juicio de expertos, participando tres especialistas en metodología de investigación y educación gerontológica, quienes evaluaron claridad, pertinencia y coherencia de los ítems. Posteriormente, se aplicó una prueba piloto con 10 adultos mayores para verificar comprensión y accesibilidad.

Procedimiento

La aplicación de los instrumentos se desarrolló de manera presencial en las instalaciones de la Fundación EMNOAH. Todos los participantes firmaron previamente

un consentimiento informado escrito, donde se explicó el propósito de la investigación, el carácter voluntario de la participación y la confidencialidad de la información. Las entrevistas fueron grabadas con autorización de los participantes y posteriormente transcritas para su análisis cualitativo.

Análisis cuantitativo

Los datos cuantitativos fueron procesados mediante SPSS versión 30. Las variables categóricas fueron codificadas numéricamente para facilitar el análisis estadístico. Por ejemplo:

Sexo: 1 = masculino; 2 = femenino.

Acceso a internet: 1 = sí; 2 = no.

Frecuencia de uso tecnológico: 1 = diario; 2 = ocasional; 3 = nunca.

Se emplearon análisis descriptivos basados en frecuencias, porcentajes y cruces entre variables.

Análisis cualitativo

La información cualitativa fue procesada mediante NVivo versión 15 utilizando técnicas de codificación abierta e inductiva. Las categorías emergentes fueron agrupadas en nodos temáticos relacionados con: miedo digital, dependencia, apoyo familiar, autonomía, motivación de aprendizaje.

Consideraciones éticas

La investigación respetó principios éticos de confidencialidad, autonomía, beneficencia y no maleficencia. Los participantes fueron informados sobre sus derechos y tuvieron libertad de retirarse del estudio en cualquier momento.

Resultados

Resultados cuantitativos

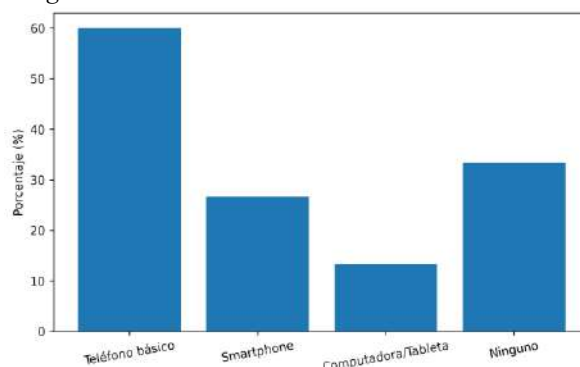
Perfil sociodemográfico

Tabla 1

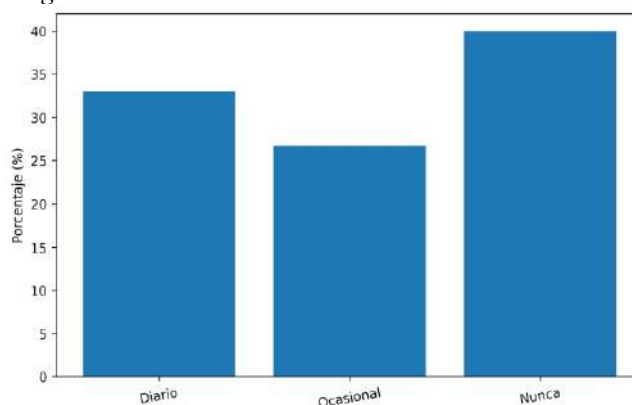
Perfil sociodemográfico de los participantes

Variable	Porcentaje (%)
Mujeres	53.3
Hombres	46.7
Educación primaria	76.7
Vive solo	40.0

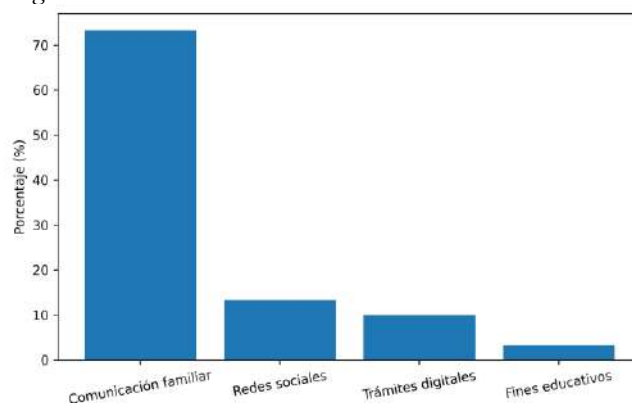
Nota. La muestra estuvo conformada mayoritariamente por mujeres (53,3 %), con una edad promedio de 71 años. El 76,7 % poseía únicamente educación primaria y el 40 % vivía solo. Autores, (2025)

Figura 1*Acceso a dispositivos tecnológicos*

Nota. Elaborado a partir de los datos obtenidos en la investigación. 60 % utilizaba teléfonos básicos, el 26,7 % disponía de smartphones y apenas el 13,3 % tenía acceso a computadoras o tabletas. Además, el 33,3 % no poseía ningún dispositivo tecnológico. Respecto a conectividad: 36,7 % tenía acceso a internet. 63,3 % no contaba con conectividad. Autores, (2025)

Figura 2*Frecuencia de uso tecnológico*

Nota. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en la investigación. El 33 % utilizaba tecnología diariamente, mientras que el 40 % prácticamente nunca interactuaba con dispositivos tecnológicos. Autores, (2025)

Figura 3*Finalidad del uso tecnológico*

Nota. Elaborado a partir de los datos obtenidos en la investigación. 73,3 %: comunicación familiar. 13,3 %: redes sociales. 10 %: trámites digitales. 3,3 %: fines educativos. Autores, (2025)

Tabla 2*Barreras digitales percibidas*

Barrera digital	Porcentaje (%)
No sabe realizar trámites digitales	50.0
Necesita ayuda constante	30.0
Inseguridad o frustración tecnológica	23.3

Nota. Las principales dificultades identificadas fueron: 50 %: desconocimiento de trámites digitales. 30 %: necesidad constante de ayuda. 23,3 %: inseguridad y frustración tecnológica. Autores, (2025)

Tabla 3*Intereses formativos de los adultos mayores*

Interés formativo	Porcentaje (%)
Salud digital	46.7
Trámites gubernamentales	40.0
Videollamadas y comunicación	76.7

Nota. El 76,7 % manifestó interés en participar en programas de alfabetización digital. Los temas más solicitados fueron: salud digital, videollamadas, trámites gubernamentales, aplicaciones de comunicación. Autores, (2025)

Resultados cualitativos**Emociones frente a la tecnología**

Los participantes manifestaron emociones frecuentes como miedo, inseguridad y frustración. Expresiones como “temo dañar el aparato” o “nadie tiene paciencia para enseñarme” reflejan experiencias previas de exclusión tecnológica.

Dependencia y apoyo familiar

Los adultos mayores con apoyo familiar mostraron mayor confianza y disposición al aprendizaje. Por el contrario, quienes vivían solos evidenciaron mayor temor y dependencia tecnológica.

Motivaciones para aprender

Las principales motivaciones identificadas fueron: comunicación con familiares, autonomía personal, acceso a servicios de salud, evitar dependencia. Muchos participantes expresaron el deseo de “no sentirse inútiles” y poder integrarse activamente a una sociedad digitalizada.

Discusión

Los hallazgos evidencian que la brecha digital en adultos mayores no responde únicamente a limitaciones materiales, sino también a factores emocionales, educativos y sociales. Los resultados coinciden con investigaciones recientes que identifican baja escolaridad y aislamiento social como factores determinantes de exclusión digital (Li & Kostka, 2024).

La predominancia del uso tecnológico para comunicación familiar coincide con estudios previos que señalan que los adultos mayores priorizan funciones afectivas antes que usos educativos o administrativos (Sarwar Shah et al., 2021).

Asimismo, las emociones negativas asociadas al uso tecnológico —miedo, frustración e inseguridad— coinciden con investigaciones que vinculan el envejecimiento con procesos de autoexclusión digital y dependencia de terceros (Lu et al., 2024).

Sin embargo, a diferencia de investigaciones desarrolladas en contextos urbanos con mayor acceso tecnológico, los participantes de este estudio presentaron niveles significativamente más altos de dependencia familiar, situación posiblemente asociada a las condiciones de vulnerabilidad socioeconómica presentes en la población analizada.

Los resultados también evidencian aportes relevantes respecto al componente emocional del aprendizaje digital. A diferencia de estudios centrados exclusivamente en acceso tecnológico, esta investigación demuestra que la dimensión afectiva condiciona significativamente la disposición al aprendizaje y la apropiación tecnológica.

En este sentido, los hallazgos permiten orientar programas de alfabetización digital basados en acompañamiento personalizado, aprendizaje progresivo y fortalecimiento emocional, elementos fundamentales para favorecer la autonomía tecnológica de los adultos mayores.

Conclusiones

La presente investigación permitió identificar importantes limitaciones tecnológicas y educativas en adultos mayores en situación de vulnerabilidad pertenecientes a la Fundación EMNOAH. Los resultados evidencian que la exclusión digital no se limita únicamente al acceso a dispositivos o conectividad, sino que involucra factores emocionales, educativos y sociales que condicionan el aprendizaje tecnológico.

Las barreras emocionales identificadas —miedo, inseguridad y frustración— reflejan experiencias acumuladas de exclusión y falta de acompañamiento formativo. Sin embargo, también se evidenció una importante disposición al aprendizaje digital, especialmente motivada por la comunicación familiar, la autonomía personal y el acceso a servicios básicos.

Los hallazgos demuestran la necesidad de implementar programas de alfabetización digital adaptados a las características cognitivas, emocionales y sociales de los adultos mayores. Estos programas deben integrar acompañamiento personalizado, metodologías accesibles y herramientas tecnológicas simplificadas.

Asimismo, los resultados sugieren fortalecer políticas institucionales y comunitarias orientadas a la inclusión digital de adultos mayores, promoviendo procesos sostenibles de alfabetización tecnológica que contribuyan a reducir la exclusión social y fortalecer la participación activa en entornos digitales.

Recomendaciones

1. Implementar programas permanentes de tutorías digitales intergeneracionales.
2. Diseñar capacitaciones progresivas adaptadas al ritmo de aprendizaje del adulto mayor.
3. Incorporar materiales visuales accesibles y lenguaje sencillo.
4. Fortalecer el acompañamiento emocional durante el proceso de aprendizaje tecnológico.
5. Promover espacios comunitarios de alfabetización digital.

6. Facilitar acceso a conectividad y dispositivos tecnológicos adaptados.
7. Desarrollar programas institucionales enfocados en salud digital y trámites electrónicos.

Referencias

- Berridge, C., & Wetle, T. (2019). Why older adults don't use technology: A review of the literature. *Annual Review of Gerontology and Geriatrics*, 39(1), 123–148. <https://doi.org/10.1891/0198-8794.39.123>
- Boulton-Lewis, G. M., Buys, L., & Lovie-Kitchin, J. (2015). Learning choices, older adults and technology. *Educational Gerontology*, 41(11), 757–767. <https://doi.org/10.1080/03601277.2015.1048175>
- CEPAL. (2022). Inclusión digital y personas mayores en América Latina y el Caribe: Avances y desafíos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47844>
- Emmesjö, L., Hallgren, J., & Gillsjö, C. (2025). Older adults' digital technology experiences: a qualitative study. *BMC Digital Health*, 3, 24(2025). <https://n9.cl/tysy7>
- EPALE. (2025). Obstacles to digital inclusion of elderly people in education.
- Friemel, T. N. (2016). The digital divide has grown old: Determinants of a digital divide among seniors. *New Media & Society*, 18(2), 313–331. <https://doi.org/10.1177/1461444814538648>
- González, M., & Moreno, D. (2019). *La pedagogía del cuidado en la formación digital de adultos mayores*. Educación y Sociedad, 40(146), 133–150. <https://doi.org/10.1590/es.146.09>
- Gruben, M., Sheil, A., Das, S., O Keffe, M., Camilleri, J., Cronin, M., & Murray, H. (2025). "It's like not being able to read and write": narrowing the digital divide for older adults and leveraging the role of digital educators in Ireland. arXiv preprint. 4-7. <https://arxiv.org/pdf/2502.10166>
- Hargittai, E., Piper, A. M., & Morris, M. R. (2019). From internet access to internet skills: Digital inequality among older adults. *Universal Access in the Information Society*, 18(4), 881–890. <https://doi.org/10.1007/s10209-018-0617-5>
- Martínez, A., & Alonso, C. (2022). Inclusión digital en personas mayores: Barreras y oportunidades desde un enfoque de derechos. *Revista Iberoamericana de Educación*, 89(1), 77–92. <https://doi.org/10.35362/rie8915443>
- Lee, H., Lim, J.-A., & Nam, H.-K. (2022). *Effect of a Digital Literacy Program on Older Adults' Digital Social Behavior: A Quasi-Experimental Study*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(19), 1-10. <https://n9.cl/1x216>
- Li, H., & Kostka, G. (2024). *Navigating the digital age: The gray digital divide and digital inclusion in China*. Media, Culture & Society. <https://n9.cl/0iufe>
- Lu, SY., Yoon, S., Yee, WQ., Heng Wen Ngiam, N., Ng, KYY., Low, LL. (2024). *Experiences of a Community-Based Digital Intervention Among Older People Living in a Low-Income Neighborhood: Qualitative Study*. JMIR Aging. 7(2024). <https://n9.cl/1m5eqz>
- Sarwar Shah, S. G., Nogueras, D., Van Woerden, H. C., & Kiparoglou, V. (2021). *Evaluation of the effectiveness of digital technology interventions to reduce loneliness*

- in older adults: systematic review and meta-analysis*. Journal of Medical Internet Research, 23(6). <https://n9.cl/k2gckk>
- Neves, B. B., & Vetere, F. (2019). *Ageing and digital technology: Designing and evaluating emerging technologies for older adults*. Springer.
- Organización de los Estados Americanos (OEA). (2015). *Convención Interamericana sobre la Protección de los Derechos Humanos de las Personas Mayores*. https://www.oas.org/es/sla/ddi/docs/tratados_multilaterales_interamericanos_A-70_derechos_humanos_personas_mayores.pdf
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *Década del envejecimiento saludable (2021–2030): Plan de acción*. <https://www.who.int/es/initiatives/decade-of-healthy-ageing>
- Quan-Haase, A., Williams, C., Kicevski, M., Elueze, I., & Wellman, B. (2018). Dividing the grey divide: Deconstructing myths about older adults' online activities, skills, and attitudes. *American Behavioral Scientist*, 62(9), 1207–1228. <https://doi.org/10.1177/0002764218777572>
- Rosales, A., & Fernández-Ardèvol, M. (2020). Ageism in the era of digital platforms. *Convergence*, 26(5–6), 1074–1087. <https://doi.org/10.1177/1354856517751393>
- Sunkel, G., Trucco, D., & Espejo, A. (2014). La integración de las tecnologías digitales en las escuelas de América Latina y el Caribe: Una mirada multidimensional. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/36871>
- Tsai, Y. I.-P., Beh, J., Ganderton, C., & Pranata, A. (2024). *Digital interventions for healthy ageing and cognitive health in older adults: a systematic review of mixed method studies and meta-analysis*. BMC Geriatrics, 24. 1-20. <https://n9.cl/ousbfd>
- UNESCO. (2023). *Digital inclusion of older persons: Challenges and strategies*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Van Dijk, J. (2006). The digital divide: *Conceptualizations and measurement*. *The Information Society*. <https://n9.cl/fe3ai>



CONGRESO DE
INTERNACIONAL
INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO

IV JORNADA CIENTÍFICA
TECNOECUATORIANO
2025

ISBN: 978-9942-7255-6-1



Proceso Editorial realizado bajo la modalidad de evaluación por pares en doble ciego por el equipo editorial del Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano

Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la fotocopia y el tratamiento informático, sin autorización escrita del titular del copyright, bajo las sanciones previstas por las leyes