



**VITALYSCIENCE**  
REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA  
ISSN: 3091-180X

# VITALYSCIENCE

## REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

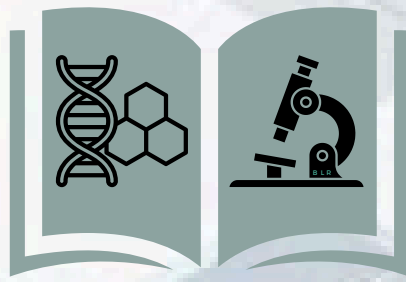
Volumen 3 N°6  
Edición especial  
Junio 2025

DOI: <https://doi.org/10.56519/twvf8629>



MISAEAL ACOSTA  
INSTITUTO UNIVERSITARIO





**VITALYSCIENCE**  
REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

# **VITALYSCIENCE**

## **REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA**

**Publicación  
Junio 2025**

VitalyScience es una revista de acceso libre que se dedica a la publicación de artículos originales y de revisión, abarcando una amplia gama de temas relacionados con diversos campos del conocimiento. Entre las áreas que aborda se incluyen:

✓ Salud y bienestar, Ciencias sociales periodismo y derecho, Servicios, Educación, Ingeniería industria y producción, Tecnologías de la información y comunicación. La revista asegura la calidad científica de los trabajos recibidos mediante una revisión editorial inicial seguida de una evaluación por pares. Los artículos se presentan en formato a color para captar mejor el interés del público objetivo.

VitalyScience es una revista de carácter multidisciplinario que se publica dos veces al año, con ediciones de marzo a agosto y de septiembre a febrero, incluyendo ediciones especiales. Su misión es divulgar el conocimiento en diversas disciplinas a través de la publicación de investigaciones originales y revisiones inéditas llevadas a cabo por investigadores tanto nacionales como internacionales.

VitalyScience está dirigida a la comunidad científica, incluyendo investigadores nacionales e internacionales, estudiantes, profesores, tutores y, en general, a todos aquellos interesados en la búsqueda y difusión de la ciencia y el conocimiento. Extiende sus contribuciones teóricas, empíricas, reflexivas y de divulgación a universidades e instituciones de educación superior en Ecuador y en el extranjero, así como a lectores no académicos, incluyendo organismos y entidades de los sectores público y privado.

## **EDITOR EN JEFE**

PhD. Luis Fernando Arboleda Alvarez

VitalyScience Revista Científica Multidisciplinaria

Ediciones especiales

Entidad Editora: Instituto Superior Tecnológico Dr. Misael Acosta Solís (ISTMAS)

Código Postal 060103

☎ Contacto: +593 983 204 362

✉ Correo electrónico: [publicaciones@vitalyscience.com](mailto:publicaciones@vitalyscience.com)

# Índice

6-22

LOS PÁRAMOS DEL CANTÓN COLTA COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA EN EL APRENDIZAJE DE LA BIODIVERSIDAD DEL ECUADOR

23-38

PREVALENCIA DE DEPRESIÓN Y FACTORES SOCIODEMOGRÁFICOS ASOCIADOS A DETERIORO COGNITIVO EN EL ADULTO MAYOR

39-63

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE SENSIBILIDAD: SOBOL, MORRIS Y MONTE CARLO EN EL MODELO LOGÍSTICO

64-79

QUIMIOLUMINISCENCIA PARA DETERMINAR LA PRESENCIA ORIENTATIVA DE MANCHAS DE FLUIDOS: UNA REVISIÓN NARRATIVA

80-98

INFECCIONES POR ENTEROBACTERIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS EN HOSPITALES DE AMÉRICA LATINA: UN PROBLEMA DE SALUD PUBLICA

99-113

CONOCIMIENTO SOBRE SALUD BUCAL EN DOCENTES Y PADRES DEL NIVEL INICIAL EN UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA DE RIOBAMBA

114-128

ALTERACIONES DERMATOGLÍFICAS EN NIÑOS CON SÍNDROME DE DOWN: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y SU APLICABILIDAD EN ESTUDIOS FORENSES

129-144

APLICACIÓN DE TÉCNICAS SEROLÓGICAS EN LA IDENTIFICACIÓN DE VÍCTIMAS Y SOSPECHOSOS EN ESCENAS DEL CRIMEN

145-165

LA METODOLÓGICA TRANSDICIPLINARIA "EL RIACHUELO" PARA EL APRENDIZAJE DE BIOLOGÍA ANIMAL

166-182

PRESENCIA DE AFLATOXINAS EN ALIMENTOS: IMPLICACIONES PARA LA SALUD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

# Índice

- 183-212 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PRINCIPALES CAUSAS DE MUERTE A NIVEL MUNDIAL DESDE 1990 A 2022 UTILIZANDO TÉCNICAS MULTIVARIANTES
- 213-228 EVALUACIÓN FORMATIVA EN EL AULA: ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL APRENDIZAJE Y LA MOTIVACIÓN EN LA EDUCACIÓN
- 229-240 IMPACTO DE LA FALSIFICACIÓN DE DOCUMENTOS EN EL SISTEMA JUDICIAL: ANÁLISIS DE CASOS
- 241-256 OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE EXPOSICIÓN EN RADIOGRAFÍAS CONVENCIONALES EN EL CENTRO DE ESPECIALIDADES MÉDICAS SERVIMAGEN
- 257-274 BIOMARCADORES MOLECULARES PARA LA DETECCIÓN DE CÁNCER GÁSTRICO
- 275-287 INCIDENCIA DE MUERTES VIOLENTAS POR ARMAS DE FUEGO EN GUAYAQUIL-ECUADOR
- 288-300 LA CREACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LABORATORIOS DE CRIMINALÍSTICA COMO ESTRATEGIA CLAVE PARA COMBATIR EL CRIMEN ORGANIZADO Y LA IMPUNIDAD EN EL SISTEMA DE JUSTICIA PENAL



# LOS PÁRAMOS DEL CANTÓN COLTA COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA EN EL APRENDIZAJE DE LA BIODIVERSIDAD DEL ECUADOR

## THE MOORLANDS OF COLTA CANTON AS A DIDACTIC STRATEGY FOR LEARNING ABOUT THE BIODIVERSITY OF ECUADOR

Patricia Elizabeth Parco Mullo<sup>1</sup>, Elena Patricia Urquizo Cruz<sup>2</sup>  
{peparco.feb@unach.edu.ec<sup>1</sup>, eurquizo@unach.edu.ec}

Fecha de recepción: 10/05/2025 / Fecha de aceptación: 20/05/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** Los páramos del cantón Colta en Ecuador han emergido como un recurso educativo invaluable, ofreciendo oportunidades únicas para el aprendizaje sobre la biodiversidad nacional. Estos ecosistemas altoandinos se destacan por su extraordinaria diversidad biológica y los múltiples servicios ecosistémicos que brindan a las comunidades locales. El problema de investigación surge por el escaso de conocimiento de la diversidad biológica de los páramos del cantón Colta, los mismos que van a ser utilizados como estrategia didáctica para fortalecer el aprendizaje de la biodiversidad del Ecuador, incluyendo flora, fauna y especies en peligro de extinción. El objetivo es analizar la biodiversidad de los páramos del cantón Colta, crear una guía didáctica interactiva y evaluar su implementación en el aula para promover un aprendizaje activo y colaborativo sobre la conservación de la biodiversidad. La metodología presenta un enfoque de investigación mixto, con un diseño preexperimental y transversal, donde se aplicó una encuesta a 13 estudiantes de Décimo año de Educación general Básica de la Unidad Educativa Intercultural Bilingüe “Rio Jubal” de la Parroquia Achupallas del cantón Alausí. Los resultados evidencian que la utilización de la guía didáctica interactiva tuvo un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes sobre la diversidad biológica del Ecuador, ya que 11 de los estudiantes tuvieron mejoras en su aprendizaje sobre biodiversidad y conservación de la flora, fauna y especies en peligro de extinción. Además, la implementación de esta guía fomentó una mayor conciencia ambiental y compromiso de los estudiantes con la conservación de los páramos. En conclusión, la integración de los páramos del cantón Colta en el proceso educativo genera un impacto positivo en el aprendizaje de la biodiversidad ecuatoriana.

**Palabras clave:** Aprendizaje, biodiversidad, conservación, estrategia, páramos

<sup>1</sup>Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba 060110, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0000-9983-6446>.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), <https://orcid.org/0000-0001-6081-1997>.



**ABSTRACT:** The páramos of the Colta canton in Ecuador have emerged as an invaluable educational resource, offering unique opportunities for learning about national biodiversity. These high Andean ecosystems stand out for their extraordinary biological diversity and the multiple ecosystem services they provide to local communities. The research problem arises from the lack of knowledge of the biological diversity of the páramos of the Colta canton, which will be used as a teaching strategy to strengthen learning about Ecuador's biodiversity, including flora, fauna and endangered species. The objective is to analyze the biodiversity of the páramos of the Colta canton, create an interactive teaching guide and evaluate its implementation in the classroom to promote active and collaborative learning about biodiversity conservation. The methodology presents a mixed research approach, with a pre-experimental and transversal design, where a survey was applied to 13 students in the tenth year of General Basic Education of the Bilingual Intercultural Educational Unit "Rio Jubal" of the Achupallas Parish of the Alausí canton. The results show that the use of the teaching guide had a positive impact on students' learning about Ecuador's biological diversity, as 11 of the students had improvements in their learning about biodiversity and the conservation of flora, fauna and endangered species. In addition, the implementation of this guide fostered greater environmental awareness and commitment of students to the conservation of the páramos. In conclusion, the integration of the páramos of the Colta canton in the educational process generates a positive impact on the learning of Ecuadorian biodiversity.

**Keywords:** *Learning, biodiversity, conservation, strategy, moors*

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los páramos del cantón Colta han emergido como un recurso educativo invaluable que ofrece oportunidades únicas para el aprendizaje sobre la biodiversidad en Ecuador. Estos ecosistemas, situados en las elevadas cumbres de la cordillera de los Andes, no solo destacan por su extraordinaria diversidad biológica, sino también por los múltiples servicios ecosistémicos que proporcionan a las comunidades locales que dependen de ellos (1). En este contexto, los páramos representan aproximadamente el 6% de la superficie total del país, convirtiéndose en elementos esenciales para la conservación de la notable riqueza biológica nacional y para el mantenimiento de servicios cruciales, tales como la regulación del agua y el secuestro de carbono (2). La integración de estos ecosistemas en el ámbito educativo permite a los estudiantes no solo adquirir conocimientos teóricos, sino también desarrollar competencias prácticas necesarias para enfrentar los desafíos ambientales actuales.

El cantón Colta, que se localiza en la provincia de Chimborazo, alberga una considerable extensión de estos ecosistemas de páramo, que se encuentran protegidos dentro de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. Este contexto geográfico no solo resalta la importancia de los páramos en términos de biodiversidad, sino que también brinda una oportunidad excepcional para integrar el aprendizaje práctico dentro del ámbito educativo (3). Mediante la exploración de estos ecosistemas, los estudiantes tienen la posibilidad de adquirir un conocimiento profundo

sobre la flora y fauna endémica que habita en ellos, así como de las características ecológicas que las sustentan y de los desafíos que enfrentan debido a la intervención humana y los efectos adversos del cambio climático.

Los antecedentes relacionados con la educación ambiental en Ecuador reflejan un compromiso creciente por parte del Ministerio de Educación, para integrar temas vinculados al medio ambiente dentro del currículo escolar. Se han implementado diversas políticas y programas que promueven la educación ambiental como un eje transversal en la enseñanza, fomentando así la participación de estudiantes, docentes y comunidades locales (4). La realización de actividades prácticas en los páramos permite que los estudiantes no solo se beneficien de un aprendizaje teórico, sino que también desarrollen habilidades investigativas esenciales, tales como la observación meticulosa y la formulación de hipótesis, habilidades que son fundamentales para una comprensión integral de los procesos ecológicos que rigen estos ecosistemas singulares (5).

La relevancia de los páramos en la historia de conservación y uso en Ecuador es igualmente significativa. Desde las prácticas sostenibles de las comunidades indígenas hasta las políticas de conservación implementadas en la actualidad, los páramos han sido reconocidos como un recurso vital para el bienestar de las poblaciones locales. Sin embargo, la urbanización y la explotación de recursos naturales han representado amenazas considerables a su integridad (6). A pesar de estos desafíos, ha emergido un reconocimiento creciente de la importancia crítica de los páramos, lo cual ha motivado la creación de áreas protegidas y programas de restauración ecológica en diversas regiones del país.

Incorporar el estudio de los páramos del cantón Colta en el currículo educativo no solo enriquecería la formación integral de los estudiantes, sino que también fomentaría en ellos una conciencia ambiental profunda y un compromiso auténtico hacia la conservación de estos ecosistemas vitales. La educación, entendida como un vehículo poderoso para la transformación social, puede desempeñar un papel fundamental en la formación de una ciudadanía informada y responsable, capaz de afrontar los desafíos ambientales contemporáneos y futuros (7). En este sentido, los páramos no solo se convierten en un espacio de aprendizaje invaluable, sino que también se erigen como un símbolo de la interrelación crucial entre la educación, la biodiversidad y la sostenibilidad en el contexto ecuatoriano, contribuyendo así al desarrollo de una cultura de conservación que beneficie tanto a las generaciones presentes como a las futuras.

Los páramos ecuatorianos se destacan por su extraordinaria diversidad biológica, albergando una rica variedad de especies de flora y fauna, muchas de ellas endémicas y adaptadas a las condiciones extremas de estos ambientes altoandinos. Ubicados por encima del límite superior del bosque, estos ecosistemas se extienden en un rango altitudinal que va desde los 3,400 hasta los 5,000 metros sobre el nivel del mar (7). Su clima frío y húmedo, con temperaturas que pueden variar drásticamente entre el día y la noche, contribuye a la formación de una vegetación especial que incluye extensos pajonales, humedales de gran importancia hídrica y bosques relictuales de *Polylepis* (8).



Dentro de este bioma, se encuentran gramíneas, arbustos y plantas herbáceas, muchas de las cuales presentan un alto grado de endemismo. Entre las especies más emblemáticas destaca el frailejón (*Espeletia* spp.), fundamental para la regulación hídrica, así como diversas orquídeas y plantas carnívoras. La biodiversidad de los páramos también incluye una variada fauna; se pueden hallar aves, mamíferos y reptiles, además de una rica diversidad de insectos. Especies como el venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el cóndor andino (*Vultur gryphus*) y diversas aves endémicas son indicadores cruciales de la salud del ecosistema, mientras que la fauna desempeña un papel esencial en la polinización de las plantas y en el mantenimiento de las cadenas tróficas.

La importancia de los páramos se extiende más allá de su biodiversidad, ya que son considerados "fábricas de agua" (8). Actúan como reguladores hídricos, capturando y almacenando agua de lluvia, lo que garantiza el suministro de agua dulce para las poblaciones que habitan en las regiones más bajas. Además, los páramos son esenciales para la mitigación del cambio climático, ya que tienen la capacidad de almacenar carbono en sus suelos, contribuyendo así a la lucha contra este fenómeno global.

La relación entre las comunidades indígenas y los páramos de Ecuador se remonta a tiempos precolombinos. Estas comunidades han utilizado los recursos que ofrece el páramo de manera sostenible, desarrollando prácticas que han permitido la coexistencia con la naturaleza. La agricultura tradicional, la recolección de plantas medicinales y el pastoreo de ganado son algunas de las actividades que han llevado a cabo en estos ecosistemas. La cosmovisión indígena resalta la conexión espiritual con la tierra, lo que ha fomentado un profundo respeto por la biodiversidad y los recursos naturales. Sin embargo, a lo largo del siglo XX, la expansión de la frontera agrícola, la urbanización y la explotación minera comenzaron a ejercer presión sobre los páramos, amenazando su integridad.

La actividad humana ha desencadenado procesos de degradación, como la deforestación y la contaminación del agua, que han afectado no solo la biodiversidad, sino también la capacidad de estos ecosistemas para proporcionar servicios esenciales. A partir de la década de 1970, se inició un proceso de reconocimiento sobre la importancia de los páramos en la regulación del agua y la conservación de la biodiversidad. La adopción de la Ley de Recursos Hídricos en 1993 marcó un hito en la protección de estos ecosistemas, enfatizando su relevancia en la gestión del agua (9). Desde entonces, se han implementado diversas iniciativas de conservación, que incluyen la creación de áreas protegidas y programas de restauración ecológica, involucrando a las comunidades locales en la gestión sostenible de estos recursos.

Una estrategia de aprendizaje es un conjunto de métodos, técnicas y recursos diseñados para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje y permitir que los estudiantes adquieran conocimientos, habilidades y percepciones (10). Estas estrategias pueden adaptarse al enfoque pedagógico y a las necesidades del grupo de aprendizaje.



Según (11), los métodos de enseñanza “permiten al profesor y al estudiante guiar la actividad en un proceso interactivo que promueve la construcción del conocimiento”. Por tanto, pueden incluir métodos activos como el aprendizaje basado en problemas (ABP), el aprendizaje colaborativo o el uso de tecnologías digitales en el aula.

Los métodos de enseñanza deben adaptarse a los cambios y transformaciones del currículo, teniendo en cuenta el nivel de desarrollo de los estudiantes, sus estilos de aprendizaje y los objetivos de aprendizaje definidos (12).

Las actividades prácticas en estos ecosistemas ofrecen a los estudiantes la oportunidad de observar directamente la flora y fauna, así como experimentar de primera mano los procesos ecológicos que ocurren en estos entornos. La observación in situ de las especies y sus interacciones en el ecosistema facilita una comprensión más profunda y significativa que la que se puede obtener únicamente a través de los libros de texto. A través de programas de educación ambiental, los estudiantes pueden participar en actividades como caminatas de exploración, recolección de muestras, estudios de campo y proyectos de investigación que les permitan formular preguntas y buscar respuestas.

Estas experiencias prácticas no solo enriquecen el aprendizaje, sino que también fomentan el desarrollo de habilidades investigativas fundamentales, como la formulación de hipótesis, la recopilación de datos y el análisis crítico. Además, la educación ambiental debe ser integral, es decir, no debe limitarse a la transmisión de información, sino que debe buscar desarrollar valores, actitudes y habilidades que promuevan el compromiso con la conservación. Esto implica involucrar no solo a los estudiantes, sino también a docentes, padres de familia y líderes comunitarios en procesos educativos que fortalezcan la conciencia ambiental y el sentido de pertenencia hacia los páramos (13).

El impacto de integrar los páramos en la educación no se limita a la formación de los estudiantes; también tiene repercusiones significativas en las comunidades locales. Al fomentar una conciencia ambiental y un conocimiento profundo sobre la biodiversidad, se promueve una cultura de conservación que beneficia a las generaciones presentes y futuras. Las comunidades que participan en estas iniciativas educativas pueden desarrollar un mayor aprecio por su entorno natural, lo que puede traducirse en acciones concretas para la protección de los páramos. La participación comunitaria es un elemento clave en la conservación de los páramos.

El empoderamiento de las comunidades locales a través de procesos de capacitación en temas de conservación y manejo de recursos naturales es fundamental para garantizar la sostenibilidad de estas iniciativas. Al involucrar a las comunidades en la planificación, ejecución y evaluación de proyectos ambientales, se fortalecen sus capacidades para liderar iniciativas de conservación y educación ambiental. Asimismo, es importante aprovechar los conocimientos tradicionales y los recursos naturales de las comunidades en los procesos de educación y gestión ambiental. Integrar el enfoque intercultural y la sabiduría ancestral en los contenidos y metodologías educativas contribuye a fomentar el uso sostenible de los recursos naturales locales como estrategia de conservación.

Finalmente, los páramos del cantón Colta representan un recurso invaluable no solo por su biodiversidad y servicios ecosistémicos, sino también como un espacio de aprendizaje que puede enriquecer la educación ambiental en Ecuador. Integrar estos ecosistemas en el currículo escolar permite a los estudiantes desarrollar un conocimiento profundo sobre la biodiversidad, así como habilidades investigativas fundamentales. Además, fomenta una conciencia ambiental que puede incidir positivamente en el comportamiento y actitudes hacia la conservación.

La historia de los páramos en Ecuador es un reflejo de la interconexión entre las comunidades locales, la biodiversidad y las políticas ambientales. A medida que se implementan estrategias educativas que promueven el aprendizaje práctico y la participación comunitaria, se avanza hacia la conservación efectiva de estos ecosistemas vitales. En este sentido, los páramos no solo son un recurso natural, sino un símbolo de la necesidad de un enfoque integrado que contemple la educación, la sostenibilidad y el respeto por la biodiversidad.

Por ello, el objetivo principal de esta investigación es elaborar y aplicar la guía didáctica interactiva que abarque la diversidad biológica de los páramos del cantón Colta, fortaleciendo el aprendizaje sobre la biodiversidad de Ecuador, con un enfoque particular en la flora, fauna y las especies en peligro de extinción. Este objetivo general se desglosa en los siguientes objetivos específicos: Analizar la biodiversidad de los páramos del cantón Colta, incluyendo un estudio detallado de la flora y fauna presentes, así como la identificación de especies en peligro de extinción y los principales problemas ambientales a los que se enfrentan; crear una guía didáctica interactiva que integre la diversidad biológica de los páramos del cantón Colta, abordando su vulnerabilidad al cambio climático y proporcionando recursos útiles para educadores y estudiantes; e implementar talleres de socialización de la guía didáctica interactiva en el aula, promoviendo un aprendizaje activo y colaborativo entre los estudiantes sobre la conservación de la biodiversidad y la importancia de los páramos en el contexto ecuatoriano.

Para guiar el estudio, se plantean las siguientes hipótesis: Hipótesis Nula (H0): La estrategia didáctica de los páramos del cantón Colta no tendrá un impacto significativo en el aprendizaje de la biodiversidad de Ecuador en comparación con las metodologías de enseñanza convencionales; Hipótesis Alternativa (H1): La estrategia didáctica de los páramos del cantón Colta tendrá un impacto significativo en el aprendizaje de la biodiversidad de Ecuador en comparación con las metodologías de enseñanza convencionales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. Enfoque de la investigación:

El enfoque de investigación fue mixto porque combina enfoques cualitativos y cuantitativos para abordar el problema de investigación. Esta combinación permite recolectar datos numéricos y estadísticos sobre la biodiversidad en los páramos y evaluar el impacto de las estrategias

didácticas en el aprendizaje, mientras que los métodos cualitativos profundizan en las percepciones y actitudes de los estudiantes.

## **2. Tipo de Investigación:**

### **2.1 Por el nivel de alcance:**

Exploratoria: Se llevó a cabo una primera aproximación a la biodiversidad de los Páramos del Cantón Colta, con el objetivo de recopilar información general sobre su ubicación, la biota característica y los problemas ambientales que enfrenta. Esta etapa permitirá evaluar la efectividad de los páramos como estrategia de aprendizaje.

Descriptiva: Se realizó una descripción detallada de los Páramos del Cantón Colta, enfatizando su sensibilidad al cambio climático. Asimismo, se elaboró una guía didáctica interactiva diseñada en base a la biodiversidad de estos ecosistemas, con el fin de facilitar el aprendizaje sobre el tema.

### **2.2 Por su diseño:**

Preexperimental: Este estudio adoptó un diseño preexperimental, ya que se llevó a cabo una intervención educativa a través de la guía didáctica interactiva sin un grupo de control. Se observó y analizó el impacto de esta guía en el aprendizaje de los estudiantes respecto a la biodiversidad de los Páramos del Cantón Colta.

Transversal: La recolección de datos se realizó en un único momento durante el año lectivo 2024-2025. Esto incluyó la aplicación de encuestas a los estudiantes, lo que permitió obtener información relevante en un tiempo específico y evaluar sus reacciones ante la intervención.

### **2.3 Por el objetivo básica:**

Esta investigación se orientó a profundizar, interpretar, clarificar y expandir el conocimiento sobre la biodiversidad de los Páramos del Cantón Colta, especialmente en el contexto del aprendizaje de la asignatura de biodiversidad del Ecuador, abarcando la flora, fauna y las especies en peligro de extinción.

### **2.4 Por el lugar:**

Bibliográfica: Se llevó a cabo una indagación bibliográfica para recopilar, analizar, organizar y sintetizar información relevante. Se utilizó diversas bases de datos en línea, teniendo como fuente principal el documento titulado “El plan de ordenamiento territorial del cantón Colta”, que proporcionará un marco informativo sólido.

De campo: Se realizó la recolección de datos en el contexto real de aprendizaje de 13 estudiantes de Décimo año de Educación General Básica de la Unidad Educativa Intercultural Bilingüe Río Jubal de la Parroquia Achupallas del cantón Alausí.

Esto permitió conocer sus actitudes y percepciones respecto a la guía didáctica interactiva diseñada, basada en la biodiversidad de los Páramos del Cantón Colta y el impacto en el aprendizaje.

### **3. Método de investigación**

**Inductivo:** Se utilizó esta estrategia de razonamiento para llegar a las conclusiones generales (conocimiento nuevo), tomando como punto de partida a las premisas particulares (hechos evidentes). Para ello, será necesario observar al fenómeno, registrar los datos, analizar el problema y comparar los resultados, esto con el fin de validar la información.

**Deductivo:** En la aplicación de este método, el cual partirá de lo general a lo particular, se recurrirá a comparar los hechos para obtener las conclusiones. En consecuencia, se procedió a observar el fenómeno de estudio, establecer suposiciones y verificar lo supuesto. Se partió de lo general a lo particular; es decir, este estudio se basó en las leyes, análisis y principios validados que ya han sido anteriormente establecidos por otros autores, para luego establecer propias conclusiones.

**Analítico:** Se desglosa cada elemento que conforma el tema de investigación, estableciendo las causas, efectos y la propia naturaleza del problema.

**Sintético:** Porque partió de lo abstracto a lo concreto, es decir a través del razonamiento y síntesis de los hechos relevantes se llegará a la composición de una unidad y su comprensión.

### **4. Población de estudio y muestra:**

La población para este estudio estuvo compuesta por 13 estudiantes matriculados en Décimo año de Educación General Básica de la Unidad Educativa Intercultural Bilingüe Rio Jubal de la Parroquia Achupallas del cantón Alausí. En total, se incluye un grupo reducido de participantes, lo que elimina la necesidad de calcular una muestra representativa para la investigación. Esto permitió que todos los estudiantes formen parte del análisis y se integren en el proceso de evaluación.

### **5. Tipo de recolección de datos:**

**Técnica - Encuesta:** La encuesta será aplicada a los estudiantes de Décimo año de Educación General Básica de la Unidad Educativa Intercultural Bilingüe Rio Jubal de la Parroquia Achupallas del cantón Alausí; para la socialización de la guía didáctica interactiva diseñada en base a la biodiversidad de los páramos del cantón Colta, con la finalidad de conocer sus opiniones sobre si el diseño de la guía didáctica interactiva contribuye al aprendizaje de Biodiversidad del Ecuador flora, fauna, especies en peligro de extinción, y para su tabulación se realizó el pre test y post test.

**Instrumento - Cuestionario:** Se elaboró un cuestionario de 5 interrogantes con 5 opciones de respuesta, para conocer las opiniones y percepciones de los estudiantes sobre la propuesta de la diversidad biológica de los páramos del Cantón Colta sensible al cambio climático, como una

estrategia didáctica para fortalecer el aprendizaje de Biodiversidad del Ecuador flora, fauna, especies en peligro de extinción. Se utilizó el programa Microsoft Forms, un desarrollador de encuestas en línea, para la elaboración y aplicación del instrumento, para posteriormente realizar un análisis mediante gráficos y tablas donde los resultados sean agrupados en Excel para una mejor comprensión.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este estudio se evaluó el impacto de utilizar la diversidad biológica de los Páramos del cantón Colta como estrategia didáctica para fortalecer el aprendizaje de Biodiversidad del Ecuador flora, fauna y especies en peligro de extinción con los estudiantes de Décimo año de Educación General Básica de la Unidad Educativa Intercultural Bilingüe Rio Jubal de la Parroquia Achupallas del cantón Alausí. A la guía desarrollada se puede acceder a través del siguiente link: [https://www.canva.com/design/DAGGaTu0QO8/Z-z\\_3eFMb6Up2dSYG-LFg/edit](https://www.canva.com/design/DAGGaTu0QO8/Z-z_3eFMb6Up2dSYG-LFg/edit)

Los estudiantes con el acompañamiento del docente accedieron a la guía y desarrollaron cada una de las actividades propuestos.



**Figura 1.** Socialización de la guía didáctica interactiva a estudiantes.

Finalizada el uso de la guía didáctica interactiva por parte de los estudiantes se procedió a aplicar la encuesta para conocer sus opiniones sobre el diseño de la guía didáctica interactiva y su incidencia en el aprendizaje. A continuación, se presentan los principales hallazgos de cada una de las preguntas.



**Tabla 1. ¿El material educativo digital elaborado sobre la biodiversidad del Ecuador mejora el proceso de aprendizaje sobre la flora, fauna y especies en peligro de extinción?**

Escala de valoración	Frecuencia	Porcentaje
Muy de acuerdo	9	69,23%
De acuerdo	3	23,07%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	1	7,70%
En desacuerdo	0	0%
Muy en desacuerdo	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>100%</b>

De la totalidad de la población encuestada en la Tabla 1, el 69,23% de los estudiantes se manifiesta "muy de acuerdo" en que la guía didáctica interactiva elaborada fortalece sus conocimientos sobre la diversidad biológica de los Páramos del cantón Colta actúa como una estrategia de aprendizaje. Un 23,07% adicional expresa estar de acuerdo con esta afirmación, esto puede ser que al no estar tan familiarizados con nuestras estrategias se les haga un poco complicado, mientras que solo el 7,70% se posiciona en una postura neutral, es decir, ni de acuerdo ni en desacuerdo.

**Tabla 2. ¿Considera que el uso de la guía didáctica interactiva motiva el conocimiento del tema de la biodiversidad biológica de los Paramos del cantón Colta?**

Escala de valoración	Frecuencia	Porcentaje
Muy de acuerdo	8	61,54%
De acuerdo	3	23,08%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	2	15,38%
En desacuerdo	0	0%
Muy en desacuerdo	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>100%</b>

Del total de la población encuestada en la Tabla 2, el 61,54% de los estudiantes expresa estar "muy de acuerdo" con esta afirmación, lo que sugiere un alto nivel de aceptación de la estrategia implementada. Además, un 23,08% se manifiesta "de acuerdo" con esta afirmación, lo que refuerza la idea de que la estrategia tiene un impacto positivo en el aprendizaje, mientras que solo un 15,38% adopta una postura neutral, es decir, ni de acuerdo ni en desacuerdo.

Cabe destacar que no se registraron respuestas en las categorías de "en desacuerdo" y "muy en desacuerdo", lo que implica que no hubo percepciones negativas sobre el uso de esta estrategia.



**Tabla 3. ¿Considera que el uso de una guía didáctica interactiva facilita el aprendizaje sobre la biodiversidad del Ecuador?**

Escala de valoración	Frecuencia	Porcentaje
Muy de acuerdo	10	76,92%
De acuerdo	3	23,08%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	0	0%
Muy en desacuerdo	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>100%</b>

De la totalidad de la población encuestada, el 76,92% de los estudiantes afirma estar "muy de acuerdo" en que esta herramienta facilita el aprendizaje. Asimismo, un 23,08% se muestra "de acuerdo", lo que demuestra que la totalidad de los participantes considera que su implementación es beneficiosa. Por otro lado, no se registraron respuestas en las categorías de "ni de acuerdo ni en desacuerdo", "en desacuerdo" y "muy en desacuerdo", siendo una respuesta positiva ya que este tipo de estrategias son eficaces en el ámbito educativo, ya que la materia va a ser más dinámico, interactivo y atractivo para los estudiantes.

**Tabla 4. ¿Considera al utilizar esta estrategia didáctica interactiva le permitió identificar las características fundamentales de la flora fauna y especies en peligros de extinción de los páramos del cantón Colta?**

Escala de valoración	Frecuencia	Porcentaje
Muy de acuerdo	12	92%
De acuerdo	1	8%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	0	0%
Muy en desacuerdo	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>100%</b>

De la totalidad de la población encuestada en la Tabla 4, el 92% de los estudiantes expresa estar "muy de acuerdo" en utilizar esta estrategia didáctica interactiva, ya que permitió identificar características fundamentales de la flora fauna y especies en peligro de extinción en los páramos del Cantón Colta. Por su parte, un 8% se manifiesta "de acuerdo", es una proporción menor, pero se sigue apoyando a la idea del uso de este tipo de estrategias puede ayudar al estudiante a solventar problemas de aprendizaje. Es importante señalar que no se registraron respuestas en las categorías de "ni de acuerdo ni en desacuerdo", "en desacuerdo" y "muy en desacuerdo".

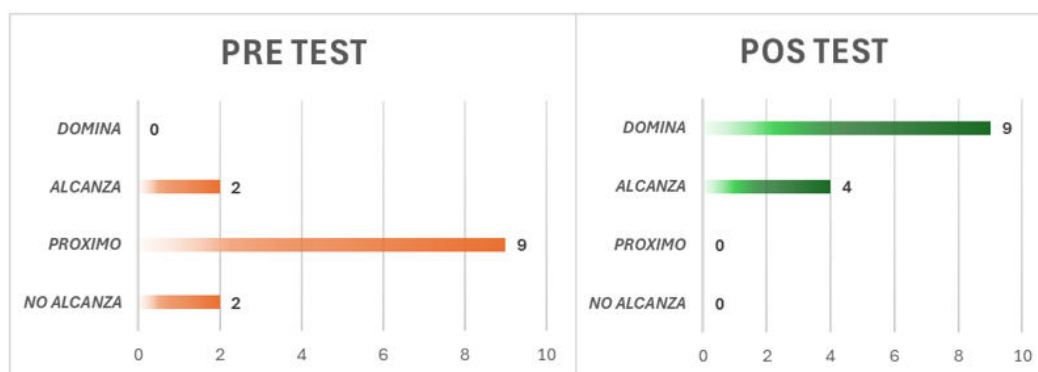
**Tabla 5. ¿Considera que los páramos del cantón Colta como estrategia didáctica interactiva en el aprendizaje de la biodiversidad del Ecuador genera una concienciación de conservación ambiental?**

Escala de valoración	Frecuencia	Porcentaje
Muy de acuerdo	10	76,92%
De acuerdo	2	15,39%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	1	7,69%
En desacuerdo	0	0%
Muy en desacuerdo	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>100%</b>

De la totalidad de la población encuestada en la Tabla 5, el 76,92% de los estudiantes expresa estar "muy de acuerdo" en que el uso de los páramos son una nueva estrategia metodológicas puede que pueda generar soluciones innovadoras para la enseñanza y aprendizaje sobre la biodiversidad de los Páramos del cantón Colta. Un 15,39% se manifiesta "de acuerdo" con esta afirmación, mientras que el 7,69% se posiciona en una postura neutral, es decir, ni de acuerdo ni en desacuerdo, es relevante mencionar que no se registraron respuestas en la categoría de "muy en desacuerdo", la ausencia de opiniones negativas sugiere que los encuestados perciben estas estrategias como necesarias y beneficiosas para mejorar el aprendizaje en este campo.

### Resultados obtenidos del pretest y post test de la socialización e implementación de la guía didáctica interactiva.

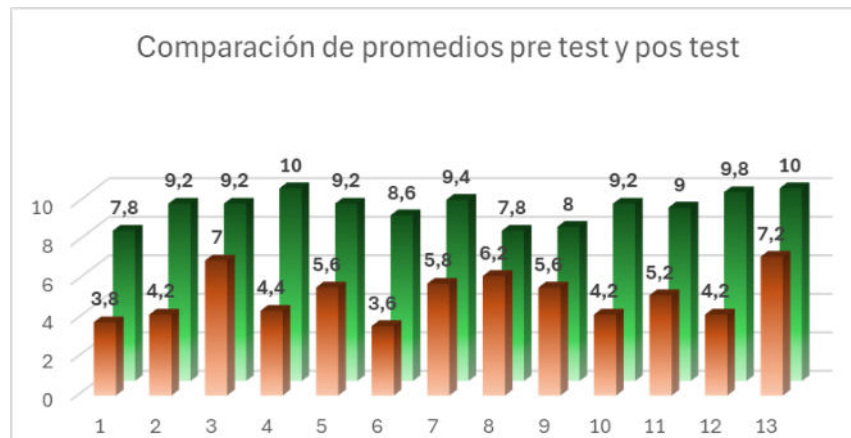
Se desarrollo cinco pruebas pretest y post test para conocer el conocimiento de los estudiantes y su incidencia en el aprendizaje culminada la implementación de la estrategia didáctica. Los resultados de los promedios obtenidos de las cinco pruebas pretest y post test se muestran a continuación, considerando la escala cualitativa de acuerdo al dominio de conocimiento dado por el Ministerio de Educación del Ecuador: Domina los aprendizajes (notas de 9.00-10.0), alcanza los aprendizajes (7.00-8.99), está próximo a alcanzar los aprendizajes (4.01-6.99) y no alcanza los aprendizajes (menor o igual a 4.00).



**Figura 2. Resultado de Pre-test y Post Test**

En la Figura 2 se aprecia que en el Pre-test que solo 2 estudiantes alcanzan los aprendizajes requeridos, 9 estudiantes están próximos a alcanzar los aprendizajes y 2 estudiantes no alcanzan los aprendizajes. Por otro lado, en el Pos test se aprecia que 9 estudiantes dominan los aprendizajes, mientras que 4 estudiantes alcanzan los aprendizajes. Por lo que se evidencia que la implementación de la propuesta incide significativamente en el aprendizaje de los estudiantes en los temas propuestos.

La siguiente figura sustenta el incremento del rendimiento académico realizado antes y después de la implementación de la propuesta.



**Figura 3.** Comparación de promedios del pre-test y post-test

Se logro identificar que 11 los estudiantes mejoraron su rendimiento académico significativamente, sin embargo, dos de ellos alcanzan los aprendizajes con la nota mínima cercana a 7.00/10.0. Reflejando que la estrategia utilizada fue efectiva, ya que logró fortalecer la comprensión del tema sobre la diversidad de los páramos del Cantón Colta.

## DISCUSIÓN

Este estudio demuestra que la Biodiversidad de los Páramos del Cantón Colta es un excelente método de enseñanza para el estudio de la biodiversidad en el Ecuador. Según los resultados, el 77% de los estudiantes consideró que el uso de materiales didácticos digitales incrementó el aprendizaje sobre flora, fauna y especies en peligro de extinción. Además, el 92% de los encuestados afirmó que el método de enseñanza utilizado para identificar las necesidades de aprendizaje les permitió implementar soluciones adecuadas. Coincidiendo con (14), los páramos son considerados lugares clave para el estudio de las Ciencias Naturales, dado que su rica vegetación y diversidad de especies, junto con su clima particular, elevan la comprensión y valoración de estos ambientes, enfatizando la importancia de su conservación.

Respecto a la efectividad de la guía didáctica interactiva, los resultados mostraron que el 94% de los estudiantes la consideró un recurso valioso para aprender sobre la biodiversidad del Ecuador.

Investigaciones previas también han señalado a los páramos como una estrategia interdisciplinaria valiosa para la enseñanza, que permite a los docentes ilustrar conceptos en el aula y, a su vez, fomenta nuevos desafíos para la conservación y el interés por la biodiversidad única de Ecuador (15). Además, el 88% de los estudiantes afirmó que el diseño de la guía les ayudó a conocer más sobre los servicios ecosistémicos del Páramo, (16) y (17) destacan que en estos ecosistemas se pueden observar extensas áreas de pajonales y plantas autóctonas que sirven de hábitat para diversas especies animales. Con la implementación de los páramos del cantón Colta como Estrategia Didáctica en el aprendizaje de la biodiversidad del Ecuador, todos los estudiantes alcanzan los aprendizajes requeridos puesto que dominan los temas de aprendizaje, logrando superar la nota mínima que es 7, siendo una buena metodología para el aprendizaje de los estudiantes.

Según (18), los páramos brindan importantes servicios ecológicos, pero están siendo destruidos por los humanos. La enseñanza de estos temas ayuda a los estudiantes a comprender mejor la importancia de proteger estos ecosistemas. Además, (19) enfatiza la necesidad de desarrollar materiales didácticos que promuevan la conciencia ambiental para estimular el interés y el entusiasmo de los estudiantes ecuatorianos por la biodiversidad del país, una habilidad que es esencial en todo su currículo. Esta guía proporciona información y actividades importantes para aumentar el conocimiento sobre la función ecológica de los páramos, ya que se sabe poco sobre el papel de estos procesos, como la formación del suelo y la regulación del agua (20). Además, (21) afirma que el uso de diferentes métodos de aprendizaje como mapas mentales y cuestionarios hace que el aprendizaje de la información sea más significativo y atractivo. Así, este estudio mostró la relación positiva entre el diseño de la guía didáctica interactiva, el uso de la biodiversidad en los páramos del cantón de Colta y la enseñanza sobre la biodiversidad en Ecuador (22), (23).

## CONCLUSIONES

El estudio confirmó que la biodiversidad de los páramos del cantón Colta representa una estrategia didáctica eficaz para el aprendizaje de la biodiversidad ecuatoriana. En la guía didáctica interactiva se identificó más de 7 hierbas y 5 arbustos, incluyendo *Equisetum arvense*, *Hypochaeris sonchoides* Kunth, *Lachemilla orbiculata* Rydb, *Otholobium mexicanum*, etc, lo que permitió a los estudiantes adquirir un conocimiento profundo sobre la riqueza biológica de estos ecosistemas de los páramos del cantón Colta.

La guía didáctica interactiva desarrollada, integró la diversidad biológica de los páramos del cantón Colta, la misma que fue bien recibida por los estudiantes, ya 11 de los estudiantes mejoraron su aprendizaje sobre biodiversidad y conservación de la flora, fauna y especies en peligro de extinción en comparación con las estrategias convencionales.

La evaluación de la implementación de la guía didáctica interactiva en el aula, demostró ser una estrategia que fomenta una mayor conciencia ambiental y un compromiso de los estudiantes con la conservación de los páramos sobre todo del cantón Colta. Siendo por tanto una estrategia

didáctica que promueve el aprendizaje y la sensibilización sobre la biodiversidad y los desafíos ambientales en el contexto ecuatoriano.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mena Vásconez P, Castillo A, Flores S, Hofstede R, Josse C, Lasso S, Medina G, Ochoa N, Ortiz D, editores. Páramo. Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado. EcoCiencia/Abya-Yala/ECOBONA; 2011.
2. Brown Pérez M, Castellanos Vela D, Vallejo Guerrero E, Maldonado Orti D, Andrade Varela JP, Paz Enríquez D, Crespo Álvarez D, Alvear Rodríguez E, Game Varas CI, Bravo Paredes MT, Abad Calle J, Ruiz de Chávarri A, Guitarra Santacruz MA, Ramírez Peñaherrera F. Modelo educativo nacional: hacia la transformación educativa. Quito: Ministerio de Educación; 2023.
3. Chuncho Morocho C, Chuncho G. Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. Bosques Latitud Cero. 2019;9(2):71–83. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/686>. [Accedido: 02 de febrero de 2025].
4. Dávalos Hernández JA. Plan de acción nacional para la conservación, restauración y uso sostenible de los páramos (PAN-PÁRAMOS). Quito: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica; 2023.
5. Moncada JA, León Vargas Y, Calderón Zerpa E. Ideas de los docentes acerca del páramo y su conservación. Educere. 2009;13(46):795–806.
6. Diputación Foral de Bizkaia. Estrategia para la protección, mejora y gestión de la biodiversidad en Bizkaia. Marzo 2015. Disponible en: [https://www.bizkaia.eus/home2/archivos/DPTO9/Temas/Pdf/Patrimonio\\_Natural/ESTRATEGIA%20BIODIVERSIDAD/Cas\\_Estrategia%20Biodiversidad%20\(Para%20publicar\).pdf?hash=1b852e8aa7744e60493292faa15203f5&idioma=CA](https://www.bizkaia.eus/home2/archivos/DPTO9/Temas/Pdf/Patrimonio_Natural/ESTRATEGIA%20BIODIVERSIDAD/Cas_Estrategia%20Biodiversidad%20(Para%20publicar).pdf?hash=1b852e8aa7744e60493292faa15203f5&idioma=CA). [Accedido: 02 de febrero de 2025].
7. Houghton RA, Goodall J, Cuthill IC. The role of ecological education in conservation: A case study. Conservation Biology. 2020;34(5):1176–1185.
8. Smith J, Thompson R. Climate change impacts on Andean ecosystems: A review. Ecological Applications. 2021;31(2): 2-15.

9. Fernández S, Martínez M, Ramos J. Páramos: Biodiversidad y conservación en los Andes. *Revista Andina de Ecología*. 2018;15(1):45–62.
10. Gobierno del Estado de México. Estrategias docentes para un aprendizaje significativo [Internet]. México: Dirección General de Formación Continua; [fecha de publicación desconocida] [citado el 28 de febrero de 2025]. Disponible en: [https://dfa.edomex.gob.mx/sites/dfa.edomex.gob.mx/files/files/2\\_%20estrategias-docentes-para-un-aprendizaje-significativo.pdf](https://dfa.edomex.gob.mx/sites/dfa.edomex.gob.mx/files/files/2_%20estrategias-docentes-para-un-aprendizaje-significativo.pdf).
11. Coll C. Psicología de la educación y prácticas educativas mediadas por las tecnologías de la información y la comunicación. Una mirada constructivista [Internet]. *Sinéctica*. 2004 [citado 2025 Feb 28];(25):1-24. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/998/99815899016.pdf>.
12. Monereo C, Castelló M, Clariana M, Palma M, Pérez Cabaní ML. Estrategias de enseñanza y aprendizaje: Formación del profesorado y aplicación en la escuela [Internet]. 1ª ed. Barcelona: Graó; 1994 [citado 2025 Feb 28]. Disponible en: [http://uiap.dgenp.unam.mx/apoyo\\_pedagogico/proforni/antologias/ESTRATEGIAS%20DE%20ENSEÑANZA%20Y%20APRENDIZAJE%20DE%20MONEREO.pdf](http://uiap.dgenp.unam.mx/apoyo_pedagogico/proforni/antologias/ESTRATEGIAS%20DE%20ENSEÑANZA%20Y%20APRENDIZAJE%20DE%20MONEREO.pdf).
13. Vázquez G, López A. Estrategias para la conservación de los páramos en Ecuador. *Ecosistemas*. 2022;31(4):78–90.
14. Eslava R, Zambrano M, Chacón E, González H, Nieto A. Estrategias didácticas para la promoción de valores ambientales en la educación primaria. *Aibi Rev Investig Admin*. 2018; (5): 6-7. Disponible en: <https://doi.org/10.15649/2346030X.476>.
15. Ariza P, Cuvi N. Adaptación Basada en Ecosistemas en Ecuador: buenas prácticas para el Co-Manejo Adaptativo. *Ambiente Soc*. 2020; 23: (5): páginas inventar. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/18094422asoc20180315r2vu2020L4AO>.
16. Bustamante M, Albán M, Argüello M. Los páramos de Chimborazo. Un estudio socioambiental para la toma de decisiones. 2018. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56619.pdf>.
17. Cela D. Libro infográfico de los animales nativos en peligro de extinción presentes en las regiones naturales del Ecuador [tesis de pregrado]. Universidad de las Américas; 2019. 47 p. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2794808>.



18. Huilcapi I. Inventario florístico en los extractos pajonal, bofedal y almohadillas en los suelos del páramo de Guangopud, parroquia Juan de Velasco cantón Colta [tesis de licenciatura]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2018.
19. Caranqui J, Lozano P, Reyes J. Composición y diversidad florística de los páramos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Ecuador. Enfoque UTE. 2017; 7(1): 33-45. Disponible en: <https://doi.org/10.38017/issn.2322-8040>.
20. Alarcón I. Los páramos son más sensibles al cambio climático. El Comercio. 2019; 29 de noviembre. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/paramos-sensibilidad-cambio-climatico-impacto.html>.
21. Ballester F. Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. Rev Esp Salud Pública. 2018; 79(2): 159-175. Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272005000200005](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005).
22. Gonzales I. El recurso didáctico. Uso y recursos para el aprendizaje dentro del aula. Escritos en la Facultad. 2017. Disponible en: [https://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/publicacionesdc/vista/detalle\\_articulo.php?id\\_articulo=11816&id\\_libro=571](https://fido.palermo.edu/servicios_dyc/publicacionesdc/vista/detalle_articulo.php?id_articulo=11816&id_libro=571)
23. Ortiz C. Estrategias didácticas en la enseñanza de las Ciencias Naturales. Rev Educ Pens. 2019; 4(5): 63-71. Recuperado el 10 de abril de 2020. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4040156.pdf>.



# PREVALENCIA DE DEPRESIÓN Y FACTORES SOCIODEMOGRÁFICOS ASOCIADOS A DETERIORO COGNITIVO EN EL ADULTO MAYOR

## PREVALENCE OF DEPRESSION AND SOCIODEMOGRAPHIC FACTORS ASSOCIATED WITH COGNITIVE DETERIORATION IN OLDER ADULTS

Pablo David Figueroa Endara<sup>1</sup>, Yadira Elizabeth Lalangui Oviedo<sup>2</sup>, Cristian Geovanny Barros Chafra<sup>3</sup>, Silvia Daniela Jaramillo Morán<sup>4</sup>, Alexandra Gabriela Gavidia Mariño<sup>5</sup>, Víctor Alfonso Ruiz Puga<sup>6</sup>, Juan José Becerra Guevara<sup>7</sup>

{p.figueroa@sangabrielriobamba.edu.ec<sup>1</sup>, ylalangui@sangabrielriobamba.edu.ec<sup>2</sup>, cbarros@sangabrielriobamba.edu.ec<sup>3</sup>, sjaramillo@sangabrielriobamba.edu.ec<sup>4</sup>, alexandra\_gavidia@sangabrielriobamba.edu.ec<sup>5</sup>, victor\_ruiz@sangabrielriobamba.edu.ec<sup>6</sup>, juan\_becerra@sangabrielriobamba.edu.ec<sup>7</sup>}

Fecha de recepción: 05/05/2025 / Fecha de aceptación: 21/05/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** En Latinoamérica, se estima que el deterioro cognitivo afecta al 36% de los hombres y al 64% de las mujeres mayores de 65 años. Además, la prevalencia de depresión en esta misma población oscila entre el 10% y el 14%. El propósito de esta investigación fue identificar la relación entre la prevalencia de depresión, además de, determinar los principales factores sociodemográficos y su correlación con el deterioro cognitivo en adultos mayores. La perspectiva metodológica fue el enfoque cuantitativo, los participantes se seleccionaron por muestreo por conveniencia según criterios de inclusión y exclusión, de diseño no experimental, de alcance correlacional y de corte transversal, se emplearon; el Test de Evaluación Cognitiva de Montreal (MoCA), el Cuestionario de Depresión Geriátrica de Yesavage y una Ficha Sociodemográfica. Para el análisis estadístico se empleó la prueba  $\chi^2$  de Pearson, la misma que permitió correlacionar las variables planteadas, como resultados se identificó la asociación negativa y moderada entre el deterioro cognitivo y el grado de escolaridad, mostrando una correlación de Pearson de  $-0.606^{**}$ , esto implica que las personas con menor nivel de estudios son más propensas a presentar algún nivel de deterioro cognitivo, asimismo, se identificó

<sup>1</sup>Tecnología Superior en Emergencias Médicas, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-7711-6886>, +593963194822

<sup>2</sup>Tecnología Superior en Emergencias Médicas, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0008-6060-0936>

<sup>3</sup>Tecnología Superior en Emergencias Médicas, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-5412-4696>

<sup>4</sup>Tecnología Superior en Emergencias Médicas, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0002-5013-7227>

<sup>5</sup>Tecnología Superior en Emergencias Médicas, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0005-5826-8872>

<sup>6</sup>Tecnología Superior en Emergencias Médicas, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0002-1334-6070>

<sup>7</sup>Tecnología Superior en Emergencias Médicas, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0006-8352-736X>



variaciones entre el sexo de los participantes y la influencia de la depresión en el deterioro cognitivo de personas mayores de 65 años, aunque la ubicación geográfica no mostró una correlación directa con las variables planteadas, es relevante destacar que las personas en áreas rurales tienen un acceso limitado a la educación, lo que se asocia con diferentes niveles de deterioro cognitivo.

**Palabras clave:** *deterioro cognitivo, factores sociodemográficos, Depresión Geriátrica, nivel de escolaridad*

**ABSTRACT:** In Latin America, cognitive impairment is estimated to affect 36% of men and 64% of women over the age of 65. Furthermore, the prevalence of depression in this same population ranges between 10% and 14%. The purpose of this research was to identify the relationship between the prevalence of depression and to determine the main sociodemographic factors and their correlation with cognitive impairment in older adults. The methodological approach was quantitative; participants were selected by convenience sampling according to inclusion and exclusion criteria. The design was non-experimental, correlational, and cross-sectional. The following were used: the Montreal Cognitive Assessment Test (MoCA), the Yesavage Geriatric Depression Questionnaire, and a Sociodemographic Form. For the statistical analysis, the Pearson r test was used, which allowed to correlate the proposed variables, where one of the direct results is the negative and moderate association between cognitive impairment and the degree of education, showing a Pearson correlation of  $-.606^{**}$ , this implies that people with a lower level of education are more likely to present some level of cognitive impairment, likewise, variations were identified between the sex of the participants and the influence of depression on the cognitive impairment of people over 65 years of age, although the geographical location did not show a direct correlation with the proposed variables, it is relevant to highlight that people in rural areas have limited access to education, which is associated with different levels of cognitive impairment.

**Keywords:** *cognitive impairment, sociodemographic factors, geriatric depression, educational level*

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se observa un incremento importante en la población de personas de más de 65 años y se estima que para 2050 aumente a 2,000 millones. Este cambio demográfico se producirá principalmente en naciones de ingresos bajos y medios (1). Además, se anticipa que la cantidad de personas de 80 años o más se triplicará entre 2020 y 2050, llegando a un total de 426 millones (2).

El incremento en la esperanza de vida se asocia con una mayor prevalencia de enfermedades relacionadas con la edad (3). Estas condiciones pueden afectar la autonomía de las personas mayores, así como su capacidad para tomar decisiones y recibir el apoyo de su núcleo familiar, trabajo y sociedad. En este contexto, la atención primaria en salud, que identifique alteraciones



del estado emocional o del nivel cognitivo, desempeña un papel crucial al contribuir al desarrollo óptimo de la autoestima, autoconcepto y seguridad de estos individuos. Estos factores son fundamentales para generar estrategias de afrontamiento que les permitan enfrentar su realidad, mejorando así su calidad de vida (4).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más de 55 millones de personas a nivel global viven con demencia. En la región de las Américas, esta cifra alcanza los 10,3 millones. Se prevé un aumento significativo, llegando a 139 millones de casos para el año 2050. Específicamente, se estima que el 8,1% de las mujeres y el 5,4% de los hombres mayores de 65 años padecen esta condición (5). Además, un estudio en Santiago de Chile titulado "Calidad de vida en personas mayores con depresión y dependencia funcional: Validez del cuestionario SF-12". Resalta que la mala calidad de vida en los adultos mayores puede originarse por enfermedades, condición de abandono, fallecimiento de personas cercanas y la limitada participación social. Estos aspectos han contribuido a la aparición de depresión y a una dependencia emocional, social y económica de las personas que los rodean (6).

En el Ecuador, las Proyecciones de Población y la Omisión Censal del Censo de Población y Vivienda 2022, el Instituto Nacional de Estadística y Censos informó que se espera una disminución en la población menor a los 15 años entre 2030 y 2050, mientras que la población de adultos mayores se triplicará, alcanzando 125 mayores de 60 años por cada 100 adolescentes en 2050, además, se anticipa una reducción en los nacimientos, que pasarán de 322,826 en 2000 a 230,036 en 2050 (7).

En su estudio sobre estrategias para prevenir el deterioro cognitivo, se encontró que el 36% de los hombres presentaba deterioro cognitivo, en comparación con el 64% de las mujeres que mostraban el mismo problema, teniendo como consideración que su población era de una media de 77.2 años y todos tenían nivel de escolaridad básica primaria (8). Datos similares se observaron por Sánchez Mayorga en su estudio de deterioro cognitivo y depresión se identificó que estas alteraciones del nivel cognitivo se reportaron en el 72% de los casos en niveles variables. Siendo más prevalente en mujeres que en hombres, pero recalando que sus poblaciones de estudio no eran equivalentes (9). En el Ecuador estudios regionales indican que el deterioro cognitivo oscila en el 62% de los adultos mayores de 55 años (10).

Es importante destacar que el declive cognitivo representa una etapa intermedia entre la normalidad y la demencia, especialmente en el caso de la Enfermedad de Alzheimer (EA) (5), por lo que es de gran relevancia identificar las causas relacionadas al deterioro cognitivo para proporcionar estrategias que puedan disminuir su incidencia en esta población.

Investigaciones a nivel global indican que la prevalencia de la depresión entre los adultos mayores oscila entre el 10% y el 14%. En Francia, Prévile encontró que, entre 2,798 individuos de 65 años o más no institucionalizados, el 12.7% presentaba al menos un trastorno psiquiátrico relacionado con el deterioro cognitivo, y un 1.1% había experimentado un episodio de depresión. Ritchie, en un estudio con 1,873 individuos de la misma edad, reportó una prevalencia del 14.2% de



trastornos de ansiedad, más de un 3% de episodios de depresión y un 1.7% de trastornos psicóticos. En Australia, se observó que el 24.6% de las personas con deterioro cognitivo padecían un trastorno de depresión mayor, constituyendo más del 50% de los pacientes mayores hospitalizados en servicios de larga duración (11).

En Ecuador, la Encuesta sobre Salud, Bienestar y Envejecimiento (SABE) determinó que aproximadamente el 6% de la población adulta mayor presentan algún tipo de demencia o deterioro a nivel cognitivo (12). En nuestro país, los estudios sobre el deterioro cognitivo han revelado tasas de prevalencia en la comunidad que van del 7.76% al 16.5% en personas mayores de 65 años. Esta condición adquiere una importancia particular con el aumento de la expectativa de vida, que ya supera los 75 años (12).

Esta investigación tiene por propósito identificar la relación entre la prevalencia de depresión e identificar los principales factores sociodemográficos asociados con el deterioro cognitivo en adultos mayores de zonas rurales y urbanas de la sierra centro del Ecuador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación es de tipo cuantitativa, debido a que este enfoque permite medir y analizar variables de manera objetiva. De la misma manera, con los datos obtenidos se intenta generalizar los resultados encontrados en un grupo o segmento a una colectividad mayor, de corte transversal. Ya que el estudio se realizó en alrededor de cuatro meses. De alcance correlacional esto permite evaluar la relación del deterioro cognitivo y la depresión en la población de adultos mayores en el momento de la encuesta.

La muestra fue conformada por 282 adultos mayores, por muestreo por conveniencia, según los siguientes criterios de inclusión; personas mayores de 65 años, que participaron voluntariamente, que estén residiendo en el país los últimos 5 años, criterio de exclusión: personas hospitalizadas, personas con discapacidad sensoriales y de la comunicación, adultos mayores institucionalizados, la aplicación de los reactivos se los realizó entre diciembre de 2024 hasta marzo de 2025.

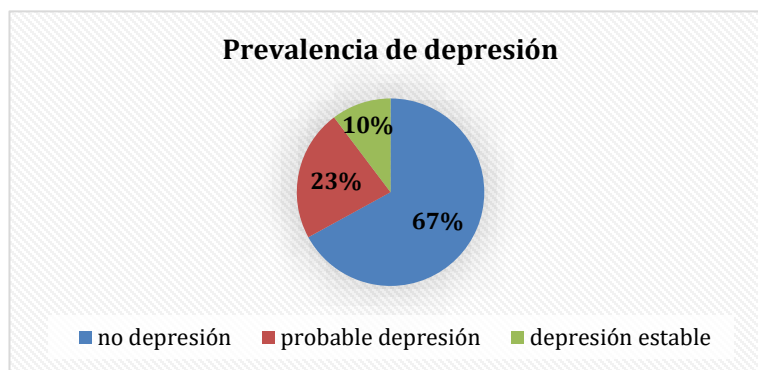
El MoCa es una herramienta de evaluación de acceso libre y de fácil aplicación, que se pueden realizar en aproximadamente 10 minutos. Su objetivo es identificar el Deterioro Cognitivo Leve y distinguirlo de las alteraciones cognitivas que pueden surgir debido al envejecimiento normal. Esta herramienta evalúa diversas funciones, incluyendo las ejecutivas, la capacidad visuoespacial, la memoria, la atención, la concentración, la memoria de trabajo, el lenguaje y la orientación, con una puntuación máxima de 30 puntos (13). El Test de MoCa alcanza un Alfa de Crombach de 0.851 demostrando una consistencia interna bastante aceptable (14). Una puntuación igual o superior a 26 en el resultado del test, es considerado normal. Se clasifica como alterado si la puntuación es igual o inferior a 25, y se define como demencia cuando el valor es de 10 puntos o menos (15).



El cuestionario de Depresión Yessavage se encuentra conformado por 15 ítems, con opciones de respuestas de sí o no y una estructura unidimensional, se otorga el valor de 1 a la respuesta que representa el indicador de depresión, un puntaje total igual o mayor a 5 puntos, se considera presencia de depresión (16). El Test presenta un alfa de Cronbach superior a 0.810 (17).

Este artículo explora el papel fundamental de la ficha sociodemográfica como instrumento metodológico en la recolección de datos personales y contextuales, como base para desarrollar la ficha sociodemográfica se usó el índice del Nivel Socioeconómico de Bronfman, y se ampliaron datos generales como nivel de escolaridad, residencia, apoyo familiar, además de, agregar apartados sobre la salud de los adultos mayores (18). El vaciado de los datos encontrados se realizó en matrices de Excel y SPSS. Posteriormente, se aplicó el coeficiente de Pearson, prueba utilizada para medir la correlación existente entre las variables propuestas. Todos los participantes entendieron los objetivos de la investigación, además, se entregó el consentimiento informado donde se explicaba la voluntariedad de su participación.

## RESULTADOS



*Figura 1. Prevalencia de depresión en adultos mayores.*

La Figura 1, se muestra que 29 personas equivalente al 10% tienen una depresión establecida, mientras que 189 personas correspondiente al 67% al parecer no sufren depresión, no obstante, 64 personas que forman el 23% tiene una posibilidad de desarrollar depresión.

**Tabla 1. Prevalencia de depresión en hombres**

	Frecuencia	Porcentaje	
Válidos	Sin depresión	97	68,8
	Probable depresión	30	21,3
	Depresión establecida	14	9,9
	<b>Total</b>	<b>141</b>	<b>100.0</b>

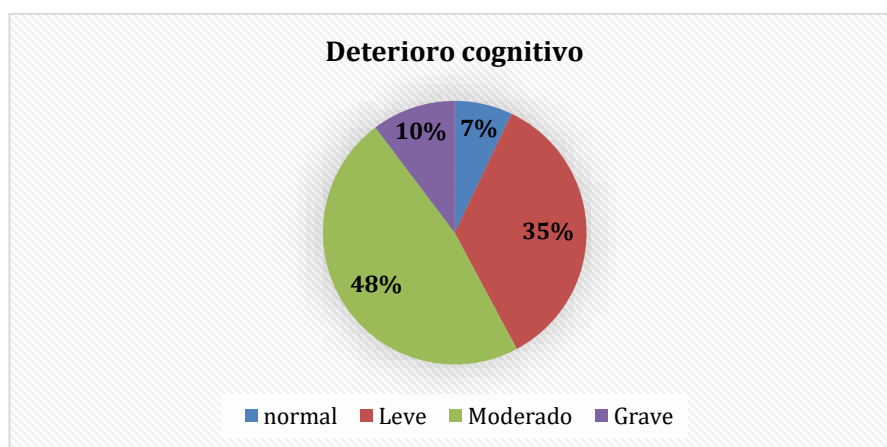


La Tabla 1, muestra que un 68,8 % de los participantes no registran valores de depresión, mientras que es probable la presencia de depresión en un 21.3% equivalente a 30 participantes, la depresión establecida alcanza un 9.9% en este grupo.

**Tabla 2. Prevalencia de depresión en mujeres**

		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Sin depresión	92	63,9
	Probable depresión	34	23,6
	Depresión establecida	15	10,4
	<b>Total</b>	<b>141</b>	<b>100.0</b>

Los resultados de la Tabla 2, expresa que el 23.6% de las participantes mujeres presentan niveles de probables de depresión, y un 10.4% tienen depresión establecida.



**Figura 2. Resultados de Deterioro Cognitivo según el test de MoCa.**

La Figura 2, indica la distribución de los diferentes niveles de deterioro cognitivo en la en el adulto mayor, el 35.1% presentan deterioro cognitivo leve, el 47.5% presenta un nivel moderado, el 10.3% presentan un nivel grave, el porcentaje acumulado indica que el 92.9% de los sujetos se encuentran en los niveles normal, moderado o grave de deterioro cognitivo, esto nos ayuda a comprender la prevalencia de los diferentes grados de deterioro cognitivo en la población analizada.

**Tabla 3. Deterioro cognitivo en hombres**

		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Normal	12	8,5
	Leve	56	39,7
	Moderado	62	44
	Grave	11	7,8
	<b>Total</b>	<b>141</b>	<b>100</b>

Los evaluados con valores que encajan en la normalidad representa el 8.5% mientras que el 91.5% indica a los participantes con puntuaciones que denotan deterioro cognitivo deteriorado.

**Tabla 4. Deterioro cognitivo en mujeres**

		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Normal	8	5,6
	Leve	43	29,9
	Moderado	72	50
	Grave	18	12,5
	<b>Total</b>	<b>141</b>	<b>100.0</b>

La tabla indica un 92.4 % de participantes presentaron algún nivel de deterioro cognitivo, de los cuales el 12,5% corresponden a deterioro cognitivo grave, el 50% moderado y el 29.9% a nivel leve.

**Tabla 5. Correlación del deterioro cognitivo y depresión**

		Correlaciones	
		Deterioro Cognitivo	Depresión
Deterioro Cognitivo	Correlación de Pearson	1	,232
	Sig. (bilateral)		,000
	N	282	282
Depresión	Correlación de Pearson	,232	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	282	282

*Nota.* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Según la P de Pearson se describió una relación directa entre las personas con depresión y el deterioro cognitivo, el ,232\*\* corresponde a una relación menos fuerte entre las variables descritas.

**Tabla 6. Sexo de los adultos mayores participante**

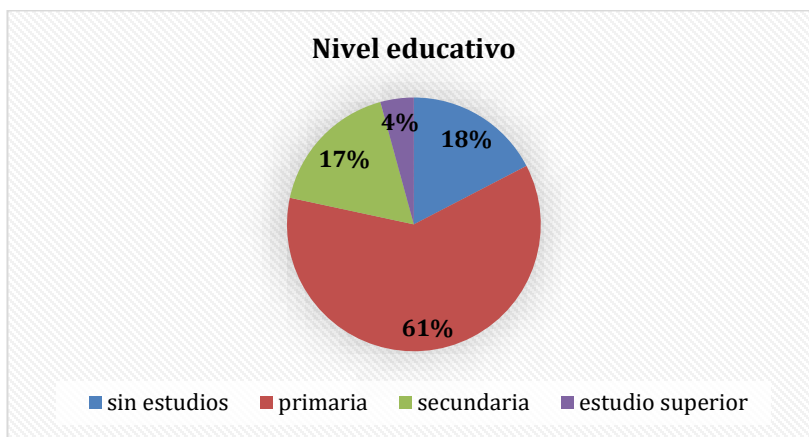
		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Hombre	141	50
	Mujer	141	50
	Total	282	100

En relación con el género se consideró una muestra equitativa. con un 50% de mujeres y 50% para hombres.

**Tabla 7. Residencia actual**

		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Rural	123	43,6
	Urbana	159	56,4
	Total	282	100

En cuanto al lugar de residencia actual, existe una ligera menor representación en el área rural con un 43,6% y un 56,4% de la ciudad.

**Figura 3. Nivel educativo**

La Figura 3 muestra que el 61% de los adultos mayores que tiene estudios de nivel primaria, destacando también el 18% de participantes sin estudios.

**Tabla 8. Nivel educativo alcanzado por los adultos mayores**

		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Sin estudios	49	17,4
	Primaria	172	61
	Secundaria	49	17,4
	Estudio superior	12	4,3
	<b>Total</b>	<b>282</b>	<b>100</b>

La tabla de nivel educativo, indica que 172 personas con un 61% tienen una escolaridad correspondiente a primaria, 12 participantes con 4,3% que tienen estudio de nivel superior, mientras que 49 personas que son el 17,4% no tienen estudios.

**Tabla 9. Correlación entre el nivel educativo y el deterioro cognitivo**

		Escolaridad	Deterioro cognitivo
Escolaridad	Correlación de Pearson	1	-,606**
	Sig. (bilateral)		0,001
	N	282	282
Deterioro cognitivo	Correlación de Pearson	-,606**	1
	Sig. (bilateral)	0,001	
	N	282	282

*Nota.* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

La evidencia empírica sugiere una correlación negativa entre el nivel educativo de los adultos mayores y la presencia de deterioro del nivel cognitivo, esto indica que a menor nivel de estudios la probabilidad de desarrollar deterioro cognitivo aumenta, los resultados de la correlación de Pearson fueron de -.606\*\* y significancia bilateral de .000, esto indica asociación moderada entre las variables.

**Tabla 10. Enfermedad crónica**

		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Problemas cardiovasculares	33	11,7
	Diabetes	29	10,3
	Gastrointestinal	7	2,5
	Osteomuscular	7	2,5
	Metabólicos	9	3,2
	Cáncer	2	0,7



Próstata	3	1,1
Visión	3	1,1
Psicosociales	2	0,7
Respiratorias	2	0,7
Neurológicas	9	3,2
No	176	62,5
<b>Total</b>	<b>282</b>	<b>100</b>

Las enfermedades crónicas recurrentes en las personas son los problemas cardiovasculares 11.7%, seguido de la diabetes 10.3%, y complicaciones metabólicas, existe un grupo muy significativo del 62,1% que indica no tener complicaciones en su salud.

**Tabla 11. Consumo de fármacos**

	Frecuencia	Porcentaje
Uso de fármacos en patologías cardiovasculares	55	19,5
Uso de fármacos inhibidoras de la bomba de protones	3	1,1
Uso de fármacos utilizados en alteraciones metabólicas y hormonales	28	9,9
Uso de fármacos para la analgesia	5	1,8
Uso de fármacos psicotrópicos y anticonvulsivantes	12	4,3
Válidos		
Uso de fármacos en patologías urinarias	4	1,4
Uso de fármacos en afecciones respiratorias y alérgicas	1	0,4
Suplementos	8	2,8
Antiviral	3	1,1
No	162	57,4
Total	281	99,6
Total	282	100

Los fármacos de mayor consumo en este grupo etario son los prescritos para los problemas cardiovasculares, seguido de los destinados al control de alteraciones metabólicas, los demás medicamentos tienen una menor incidencia, solo destacando un 57.4 % que manifiesta no consumir fármacos en forma continua.

**Tabla 12. Control de enfermedades**

		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Control de enfermedad	81	28,7
	Control de enfermedad nueva	11	3,9
	Sin control	190	67,4
	<b>Total</b>	282	100

El 67,4% de los participantes indica no tener control médicos regular de ningún tipo, en contra posición con el 28,7 % correspondiente a 81 personas que si lleva un control de su salud física.

## DISCUSIÓN

En esta investigación se determinó que el 82% del grupo evaluado tienen un nivel variable de deterioro cognitivo que va desde leve a grave, esto concuerda con los resultados obtenidos por Mosquera mencionan que el 80% de su muestra estudiada tiene deterioro cognitivo siendo más frecuente en mujeres, la edad, y con el nivel de estudios (19).

Se identificó que las personas que tienen sintomatología de depresión o una depresión ya establecida, lograran desarrollar un mayor deterioro cognitivo, desencadenado por factores que incapaciten realizar sus actividades cotidianas. Lee et. al en su investigación el 55% de adultos mayores fueron detectados con depresión mayor y deterioro cognitivo leve, con el tratamiento de depresión, el deterioro cognitivo disminuyó a un 44,8% (20).

Se observó que tanto el trastorno de depresión como el deterioro cognitivo inciden en la calidad de vida de los adultos mayores, además, tienen factores de riesgos similares, aumentando la posibilidad de ser afectados por estas dos entidades, que corrobora con los hallazgos con el presente estudio donde se evidencia relación entre las personas con niveles de depresión establecidos que mantienen malos hábitos, como; dieta inadecuada auto percibida por el 24.8%, falta de actividad física 48,9%, poca estimulación mental 42,2% y menor participación en grupos sociales 55%, guarda concordancia con el 57.8% de personas que registraron deterioro cognitivo entre moderado y grave (21).

Al revisar la literatura, se evidenció que tanto la depresión como el deterioro cognitivo provocan una disminución en la progresión de buenos hábitos para su calidad de vida en los adultos mayores. Estas dos condiciones comparten factores de riesgo similares (22), lo que coincide con los datos de esta investigación, ya que los adultos mayores con un trastorno depresivo tienden a realizar menos actividad física, no realizar estimulación mental, o llegan a tener un déficit en su alimentación, lo que evidencia que el trastorno de depresión como el deterioro cognitivo causa una reducción en la calidad de vida de los adultos mayores, y estas dos tienen factores de riesgos similares (22).



Con respecto al deterioro cognitivo y nivel de escolaridad, los hallazgos encontrados muestran una correlación inversa, significativa de  $-0.606^{**}$ , dando como resultados, el 17.4% no posee estudios y el otro 61% solo tiene educación primaria, demostrando que el 92.9% posee un deterioro cognitivo, lo que coincide con los resultados de investigaciones mexicanas (23), que encontró que las personas con escolaridad baja son más propensas a sufrir un deterioro cognitivo, y las personas adultas mayores con edades más avanzadas demostraron padecer deterioro cognitivo severo explicado por su restricción educativa durante su infancia, tomando en cuenta, que 43% de la población del presente estudio es de zonas rurales, esto se corrobora con los datos de Lluesma y colaboradores, evidencia que las personas que son originarias de la zona rural o viven actualmente en estas, presentan un deterioro cognitivo marcado. El nivel de primaria incompleta y ningún nivel de educación oscila en 23% y 18.3% respectivamente (24).

Ramos en su investigación se recalca que las enfermedades crónicas asociadas a problemas cardiovasculares están relacionadas directamente con la depresión, esto afecta con mayor prevalencia a adultos mayores con diabetes e hipertensión, lo que refleja una concordancia con lo evidenciado en este estudio siendo que el 11,7% de la población padece de enfermedades cardiovasculares, y el 10,3% sufre de diabetes, siendo estos últimos grupos los que manifiestan un estado depresivo notable (25). Guillén, de manera similar, el presente estudio encontró asociación entre un menor nivel educativo y el deterioro cognitivo, diversos estudios concluyen también que la duración de la escolarización influye de manera directa en el funcionamiento cognitivo global y en la reserva cerebral (26). En esta investigación hemos determinado que alrededor del 23.4% tienen una alimentación regular lo cual hace que los adultos mayores contraigan diferentes enfermedades crónicas.

La presente investigación, determinó que el 19.5% de los participantes consume medicamentos para patologías cardiovasculares, mientras que un 9.9% utiliza fármacos para el tratamiento de enfermedades metabólicas. A pesar de esto, aproximadamente el 67% de las personas no realiza controles continuos relacionados con su salud. Además, el 79% de los encuestados tiene estudios de nivel primario o no ha completado su educación, lo que crea una combinación alarmante. Esto se confirma con los hallazgos de Hoppe, que destacan la gravedad de la situación de salud pública en Ecuador, al señalar que la prevalencia de hipertensión y, por ende, otras patologías derivadas, es una de las más altas de la región. Esto evidencia que los adultos mayores sin estudios tienen el doble de probabilidad de padecer hipertensión arterial no controlada (27).

## CONCLUSIONES

La relación entre la prevalencia de depresión y deterioro cognitivo mostró una correlación positiva de  $.232^{**}$  y una significancia de 0.00, interpretándose como una relación débil pero presente, en cuanto a la prevalencia de depresión en este grupo en particular alcanzó el 10%, no obstante, según los resultados de la Escala abreviada de depresión geriátrica de Yesavage, existe un 23% adicional que podría desarrollar esta alteración del estado emocional.

Mientras que la correlación entre el deterioro cognitivo y el nivel educativo es considerable, la evidencia reveló una relación inversa y moderada entre estas variables, dando una correlación de Pearson de  $-0.606^{**}$ , esto implica que las personas con menor nivel de estudios son más propensas a presentar algún nivel de deterioro cognitivo, asimismo, al separar a los participantes según el sexo, se evidencia que, las mujeres tienen valores ligeramente elevados de depresión y deterioro cognitivo, además, las mujeres participantes de este estudio, tienen menor acceso a la educación, existe un 8,2% más de mujeres que no tienen estudios y alrededor del 5% menos mujeres han culminado la primaria, en comparación con los hombres. Esta distinción puede explicarse por la carga social y las expectativas culturales que se depositan en cada género. Esto sugiere que, el nivel educativo, el sexo, y la depresión son factores que, si pueden influir sobre el deterioro cognitivo de personas de más de 65 años. Destacando que la depresión, es una variable clave al considerar para evaluar el deterioro cognitivo de los adultos mayores.

La ubicación geográfica no mostró una correlación directa con el deterioro cognitivo o la depresión, es importante señalar que los habitantes de zonas rurales tienen acceso limitado a varios servicios básicos que incluyen a la educación, este parámetro, a su vez, si se relaciona con predisposición a desarrollar deterioro cognitivo, incrementando la histórica brecha social que distingue a zonas rurales y urbanas.

Con las predicciones que indican que la población de adultos mayores tiene la tendencia a aumentar en los siguientes 20 años y con un porcentaje de 3.7% de personas analfabetas en el Ecuador, se plantea la necesidad de desarrollar soluciones que eviten que esta población sea vulnerable al deterioro cognitivo y otros trastornos de la salud física y psicológica en el futuro.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fonte Sevillano U. Naciones Unidas. United Nations. [Online].; 2020 [cited 2025 marzo 14. Available from: <https://www.un.org/es/global-issues/ageing>, United Nations.
2. United Nations. Envejecimiento, personas mayores y Agenda 2030 para el desarrollo sostenible: Perspectiva Regional y de Derechos Humanos. S. Huenchuan, Ed. 2019.
3. Alcañiz M. Cambios demográficos en la sociedad global. Papeles de población. 2008; 14(57)(227-255.).
4. Portillo JG,CJSA,TAA,GNMR,MAVT,&GJAV. Factores de vulnerabilidad asociada a la percepción de soledad social en adultos mayores del departamento del Quindío (Colombia). Psicología y Salud. 2023; 33(1).
5. Organization. WH. Risk reduction of cognitive decline and dementia: WHO guidelines.. World Health Organization. 2019.
6. Lera L,MC,SR,MMO,AB,AC,LL,MC,SR,MMO,AB,&AC. Calidad de vida en personas mayores con depresión y dependencia funcional: Validez del cuestionario SF-12. Revista médica de Chile. 2021; 149(2)(1292-1301).
7. INEC INdEy. INEC estima que, según proyecciones en el mediano plazo, Ecuador tendrá más adultos mayores, menos niños y adolescentes en 2050. Instituto Nacional de Estadística y Censos. [Online].; 2024 [cited 2025 marzo. Available from: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/ecuado>.
8. Fernanda ASC,VDEA,&DCME. Implicaciones teórico – prácticas de actividades recreativas terapéuticas en el adulto mayor como estrategia para prevenir el deterioro cognitivo. Polo del Conocimiento. 2022; 7(9).
9. Sánchez-Mayorga R,ROA,MJAA,&ÁDC. Deterioro cognitivo como factor predisponente para depresión del adulto mayor en la unidad médica familiar. Multidisciplinary Health Research. 2024; 9(1).
10. León Samaniego GF,&LTED(. Factores asociados al deterioro cognitivo en adultos mayores de la parroquia El Salto – Babahoyo (Ecuador). Cumbres. 2018; 4(1)( 75-87.).
11. Parada Muñoz KR,GJJF,BPGA,PMKR,GJJF,&BPGA. Deterioro cognitivo y depresión en adultos mayores: Una revisión sistemática de los últimos 5 años. Revista Científica UISRAEL. 2022; 9(2)(77-93).
12. INEC, I. N. de E. y. Encuesta de Salud, Bienestar del Adulto Mayor. Instituto Nacional de Estadística y Censos. [Online].; 2020 [cited 2025 marzo. Available from: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-salud-bienestar-del-adulto-mayor/>.
13. Loureiro C,GC,AL,YT,RLA,&MC. Use of the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) in Latin America: A systematic review.. Revista de Neurología. ; 66(12)(12).



14. Pedraza OL,SAM,SFA,SD,CJ,CP,HA,&PC. Confiabilidad, validez de criterio y discriminante del Montreal Cognitive Assessment (MoCA) test, en un grupo de adultos de Bogotá. Acta Médica Colombiana. 2016; 41(4)(221-228).
15. Campos Seminario AA. Asociación de IMC y deterioro cognitivo en pacientes adultos sobrevivientes a Covid-19 procedentes de una comunidad rural en Tumbes. Repositorio Institucional - UCV. 2022.
16. Tartaglini MF,HPD,OSD,FC,FHA,TMF,HPD,OSD,FC,&FHA. Cuestionario de Depresión Geriátrica de Yesavage abreviado (GDS-VE): Análisis de su estructura interna en adultos mayores residentes en Buenos Aires, Argentina. Psicología, Conocimiento y Sociedad. 2021; 11(2)(69-83).
17. Chacón EM. Evaluación psicométrica de la escala de depresión de Yesavage en adultos mayores latinoamericanos: Estudios SABE y CRELES. Interdisciplinaria. 2021; 38(2).( 103-115).
18. Welti-Chanes C,RPAC,WCC,&RPAC. Conocimiento sociodemográfico y respuesta institucional a una pandemia. El caso de México. Papeles de población. 2021; 27(107)(41-101.).
19. Mosquera Losada ME,GCR,&GCA. Deterioro cognitivo en ancianos de centros residenciales. Causas y variables sociodemográficas. Gerokomos. 2023; 34(3)(158-163).
20. Lee JS,PGG,WHR,WBKA,&SDC. Persistent mild cognitive impairment in geriatric depression. International Psychogeriatrics, 2007; 19(1), (125-135. ).
21. Rodríguez FEG,DAFD,&RPAC. DEPRESIÓN Y DETERIORO COGNITIVO EN EL ADULTO MAYOR. Poliantea. 2020; 1 (26).
22. Piñera Castro HJ,RGLA,PCHJ,&RGLA. Influencia de la actividad física en los procesos cognitivos. Revista Cubana de Medicina,2022; 61(3).
23. Enríquez AAP,HKC,FEM,dJMAC,&MJCS. Factores de riesgo modificables y no modificables asociados al deterioro cognitivo en el adulto mayor. 2024.
24. Llesma-Vidal M,RZC,GGL,IGJ,SLMI,LVM,RZC,GGL,IGJ,&SLMI. Autopercepción del estado de salud como indicador de la calidad de vida de los pacientes con deterioro cognitivo en función de su lugar de residencia: domicilio versus centro sociosanitario. Gerokomos. 2021; 32(1)(2-7.).
25. Ramos JMG,MLFR,TCEP,&AFJM. El impacto en la salud mental por complicaciones de enfermedades crónicas no transmisibles en la población adulta mayor en la última década en Latinoamérica. Reincisol. 2024; 6(3).
26. Guillén J,NRCD,RCF,GE,GJ,NRCD,RCF,&GE(. Asociación entre depresión y deterioro cognitivo en adultos mayores de un centro de atención integral de Lima. Revista Finlay. 2022; 12(3)(262-268).
27. Hoppe ANZ,GJRM,GSSP,&GCVT. Impacto de los factores de estilo de vida en la incidencia de enfermedades cardiovasculares en adultos mayores. Revista Científica de Salud BIOSANA. 2024; 4(4).
28. Hernández Sampieri R,&FCCF. Metodología de la investigación. McGraw-Hill Education. 2014; VI.



29. González JLA,GMRC,&CMC. Formulación de los objetivos específicos desde el alcance correlacional en trabajos de investigación. Revista Científica Multidisciplinar. 2020; 4(2).
30. Mendieta Izquierdo G. Informantes y muestreo en investigación cualitativa. Investigaciones andina. 2015; 17(30).



# COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE SENSIBILIDAD: SOBOL, MORRIS Y MONTE CARLO EN EL MODELO LOGÍSTICO

## COMPARISON OF SENSITIVITY METHODS: SOBOL, MORRIS, AND MONTE CARLO IN THE LOGISTIC MODEL

Diana Carolina Tumbaco Mendoza<sup>1</sup>, Marlon Danilo Basantes Valverde<sup>2</sup>

{[diana.tumbaco@unach.edu.ec](mailto:diana.tumbaco@unach.edu.ec)<sup>1</sup>, [mbasantes@unach.edu.ec](mailto:mbasantes@unach.edu.ec)<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 31/04/2025 / Fecha de aceptación: 20/05/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** Este estudio se enmarca en un enfoque cuasi-experimental mediante simulación, con el objetivo de analizar la sensibilidad global de un modelo logístico calibrado para describir la evolución de la población infectada por meningitis en Ecuador. Se utilizaron registros anuales de mortalidad por enfermedades infecciosas de los países de la Comunidad Andina, extraídos del Global Burden of Disease (IHME), los cuales permitieron calibrar los parámetros clave: capacidad de carga ( $K$ ), tasa de crecimiento ( $r$ ) y población inicial infectada ( $P_0$ ), explorados en un rango de  $\pm 30\%$  respecto a sus valores calibrados. Se aplicaron tres técnicas de análisis de sensibilidad global, Sobol, Morris y Monte Carlo Filtering (MCF), a lo largo de un horizonte temporal de 30 años. Los resultados evidencian que la sensibilidad de los parámetros varía con el tiempo. Morris mostró que  $P_0$  domina al inicio,  $r$  en la fase de crecimiento y  $k$  en el largo plazo. Sobol confirmó esta dinámica e identificó interacciones clave entre parámetros durante las transiciones del modelo. MCF, en cambio, clasificó las simulaciones como aceptables o no, según criterios epidemiológicos, revelando que combinaciones de  $r$  y  $k$  son determinantes para superar el umbral poblacional crítico en etapas avanzadas del brote. Para comparar de forma coherente los tres enfoques, se implementó una normalización comparativa que cuantificó y visualizó la contribución relativa de cada parámetro en cada método. Este proceso fue clave para superar las diferencias estructurales entre los índices generados por cada técnica, permitiendo una interpretación rigurosa de los resultados, revelando no solo qué parámetros son más influyentes, sino también cuándo y cómo interactúan en distintas fases del sistema, lo que resulta esencial para anticipar escenarios epidemiológicos. El estudio proporciona una herramienta analítica para priorizar intervenciones de salud pública según la fase del brote de acuerdo con el contexto ecuatoriano.

**Palabras clave:** *Análisis de sensibilidad global, Modelo logístico epidemiológico, Método de Sobol, Epidemiología computacional, Monte Carlo Filtering (MCF)*

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, (UNACH) Dirección de Posgrado, Programa de Maestría en Matemática aplicada con mención en Matemática Computacional, <https://orcid.org/0009-0007-2364-0421>.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, (UNACH) Facultad de Ciencias, Escuela de Telecomunicaciones, Grupo de Investigación GI(CT)<sup>2</sup>I, <https://orcid.org/0000-0001-6011-1659>.



**ABSTRACT:** This study adopts a quasi-experimental simulation-based approach to analyze the global sensitivity of a calibrated logistic model describing the evolution of the infected population due to meningitis in Ecuador. Annual mortality records for infectious diseases from Andean Community countries sourced from the Global Burden of Disease (IHME) were used to calibrate the key parameters: carrying capacity ( $K$ ), growth rate ( $r$ ), and initial infected population ( $P_0$ ), each explored within a  $\pm 30\%$  range of their calibrated values. Three global sensitivity analysis (GSA) methods, Sobol, Morris, and Monte Carlo Filtering (MCF) were applied over a 30-year time horizon. Results show that parameter sensitivity changes over time:  $P_0$  dominates in the early stages,  $r$  during the exponential growth phase, and  $K$  in the long term. Sobol confirmed this progression and identified critical parameter interactions during model transitions. In contrast, MCF classified simulations as acceptable or unacceptable based on epidemiological thresholds, revealing that combinations of  $r$  and  $K$  are decisive in surpassing critical population thresholds in advanced stages of the outbreak. To ensure coherent comparison across methods, a normalization procedure was implemented, quantifying and visualizing the relative contribution of each parameter across techniques. This step was crucial to harmonizing the structural differences among the sensitivity indices, enabling a rigorous interpretation of results that reveals not only which parameters are most influential but also when and how they interact throughout different phases of the system. The study offers a robust analytical tool for prioritizing public health interventions tailored to the timing and dynamics of outbreaks in the Ecuadorian context.

**Keywords:** *Global sensitivity analysis, Logistic epidemiological model, Sobol method, Computational epidemiology, Monte Carlo Filtering (MCF)*

## INTRODUCCIÓN

El Análisis de Sensibilidad Global (ASG) es una herramienta fundamental para los modelos matemáticos, lo que permite determinar cuáles de los parámetros influyen más en sus resultados. En epidemiología, por ejemplo, un modelo logístico que describe con precisión la dinámica de propagación de enfermedades a través de curvas en “S” (1), es crucial porque ayuda a entender qué factores son clave en la propagación de enfermedades. Sin embargo, estos parámetros no son fijos; tienen una dependencia clara del tiempo por lo que cambian debido a factores como las estaciones, la inmunidad adquirida o nuevas estrategias de salud (2, 3). Así, el ASG se adapta y sigue siendo una herramienta vital para enfrentar desafíos en salud.

A partir de la pandemia de COVID-19, el estudio de la propagación y evolución de enfermedades infecciosas ha cobrado una relevancia sin precedentes en la salud pública. En regiones como los países andinos, donde ciertas enfermedades muestran patrones estacionales relacionados con factores climáticos como la temporada invernal, el estudio de su evolución temporal es crucial para la planificación de intervenciones sanitarias.



El análisis de sensibilidad ha evolucionado desde enfoques locales hacia técnicas globales, permitiendo una evaluación más integral y precisa de la influencia de los parámetros de entrada en los modelos complejos mediante técnicas avanzadas como Monte Carlo y Sobol. Estas metodologías han mejorado significativamente la interpretación de la variabilidad de los parámetros, facilitando la toma de decisiones en diversos campos científicos (4, 5).

Dentro del marco de la modelización epidemiológica, el análisis de sensibilidad global aplicado al modelo matemático de COVID-19 permite identificar los parámetros más influyentes en la propagación de la enfermedad. Usando el método de Sobol, se evaluó la variabilidad en la tasa de infección, recuperación y mortalidad, resaltando la importancia de la calibración de modelos epidemiológicos. Los resultados indicaron que la tasa de recuperación y la tasa de transmisión son factores clave en la dinámica de los casos (6).

En las últimas investigaciones, el AS enfrenta varios desafíos en los modelos matemáticos con respuesta binaria debido a la escasez de datos, la no linealidad y la correlación entre factores (7); proponen integrar el valor de Shapley para mejorar la precisión del ASG, superando las limitaciones de los métodos tradicionales como Sobol y Morris, ofreciendo una representación más realista de la interacción entre variables.

En algunos casos de estudio en el área de la farmacología, el ASG ha sido utilizado para identificar los parámetros más influyentes en las propiedades farmacocinéticas, como la concentración máxima plasmática ( $C_{max}$ ), el tiempo para alcanzarla ( $T_{max}$ ) y el área bajo la curva de concentración (AUC) (8) comparan los métodos de Morris, Sobol y Sobol extendido en un modelado farmacocinético para optimizar tratamientos médicos y mejorar la predicción de respuestas a fármacos.

En otro caso se realizó un AS de Morris para clasificar y comparar la influencia de diferentes parámetros de diseño en el consumo energético, determinado mediante EnergyPlus para el clima típico actual y el escenario SSP5-8.5 (9).

Claramente el ASG ha evolucionado significativamente con el desarrollo de métodos como Sobol, Morris y MCF, los que permiten un análisis más completo de los modelos matemáticos y, con la ayuda de herramientas computacionales, se ha experimentado un avance notable a lo largo del tiempo. En los últimos años paquetes como Sensobol (10) y SALib (11) han transformado la forma en que se realizan los cálculos puesto que ofrecen una mayor flexibilidad; además, con la capacidad de generar visualizaciones listas para su publicación.

Finalmente, dado que los patrones epidemiológicos no son estáticos, este estudio examina la dinámica temporal de la sensibilidad de parámetros con datos de mortalidad por meningitis en Ecuador (1990-2022), evaluando su cambio en distintos horizontes temporales.

El objetivo de esta investigación es comparar tres enfoques principales de ASG (5, 12): Morris, Sobol y Monte Carlo Filtering (MCF), aplicados a la ecuación de crecimiento logístico de Verhulst



para modelar la evolución de la meningitis en Ecuador, garantizando la confiabilidad del modelo y favoreciendo una planificación sanitaria más eficiente.

Este estudio mejora la comprensión de la meningitis en Ecuador y ofrece un marco replicable para otras enfermedades infecciosas de importancia sanitaria, optimizando modelos predictivos y mejorar las estrategias de salud pública para mitigar futuros brotes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Diseño de la investigación:** Se aplicaron tres técnicas de ASG sobre un modelo logístico, comparando sus resultados mediante un estudio de simulación cuasi-experimental bajo condiciones equivalentes. La metodología combina técnicas cuantitativas de análisis numérico, modelación y estadística no paramétrica para analizar el comportamiento de los parámetros de entrada en diferentes horizontes temporales.

**Población:** La población comprende los registros anuales de mortalidad por enfermedades infecciosas: meningitis, malaria, tuberculosis, VIH/SIDA, enfermedades diarreicas, infecciones respiratorias bajas y trastornos neonatales, en países de la Comunidad Andina (Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú), extraídos del IHME Global Burden of Disease (13). Se utilizaron un total de 132 registros anuales (30 años por 4 países), que permitieron calibrar el modelo y establecer rangos plausibles para el análisis de sensibilidad.

**Entorno del estudio:** El análisis se realizó in silico utilizando Python y paquetes especializados como SALib(11) para el Análisis de Sensibilidad (AS). La base de datos (13) proporcionó el estudio epidemiológico, pero sin un entorno geográfico físico ya que el estudio es solo un modelado.

**Intervenciones técnicas y análisis:** Se utilizó un modelo de crecimiento logístico, conocido como modelo de Verhulst(1). La ecuación en este estudio modela la dinámica acumulada de muertes por la enfermedad:

$$\frac{dP}{dt} = P \left( 1 - \frac{P}{K} \right) \quad (1)$$

con solución

$$P(t) = \frac{k}{\frac{k - P_0}{P_0} e^{-rt} + 1} \quad (2)$$

Donde,  $K$  es el número máximo de casos esperados,  $r$  la tasa de crecimiento intrínseca y  $P_0$  es la Población inicial.



El modelo fue calibrado con datos históricos usando mínimos cuadrados no lineales, obteniendo estimaciones puntuales para  $K$ ,  $r$  y  $P_0$ . A partir de estas, se definieron rangos de incertidumbre que capturan su variabilidad.

Andrea Saltelli (uno de sus mayores referentes) define el Análisis de Sensibilidad (AS) como el estudio de la influencia de la incertidumbre en los resultados (salida) de un modelo matemático, atribuida a las diferentes incertidumbres en las variables de entrada del modelo(14, 15). Además, resalta la importancia de un ASG (variando todas las entradas simultáneamente) frente a métodos locales (variando un factor por vez), para capturar efectos combinados y comprender mejor la relevancia de cada variable (16).

Siguiendo el artículo (17), se resumen los beneficios y prácticas clave (Tabla 1) para realizar un ASG riguroso.

**Tabla 1. Beneficios y Mejores prácticas para el ASG**

<b>Mejores prácticas</b>	<b>Beneficios</b>
Exploración completa del espacio de entrada.	Verificación y calidad del modelo.
Uso de métodos apropiados de AS.	Priorización de variables e incertidumbres.
Separación clara entre análisis de incertidumbre y sensibilidad.	Soporte a la toma de decisiones.
Validación de la robustez de los resultados.	
Aplicación de técnicas de reducción de dimensionalidad.	
Interpretación transparente de los resultados.	

El Método de Morris es un método de análisis de sensibilidad conocido como método de efectos elementales(15), fue implementado para identificar los parámetros ( $K$ ,  $r$ ,  $P_0$ ) más influyentes en la dinámica del modelo logístico. Esta técnica se basa en la evaluación de cambios incrementales en la salida del modelo como respuesta a perturbaciones controladas en cada parámetro, permitiendo detectar su efecto medio global ( $\mu^*$ ) y variabilidad ( $\sigma$ ), la cual está asociada a posibles interacciones o efectos no lineales. Los efectos elementales se calcularon en distintos puntos temporales ( $t = 0$  a  $t = 30$ ) para evaluar cómo varía la sensibilidad de los parámetros a lo largo del tiempo. Esta metodología complementa de manera cualitativa, los análisis realizados con Sobol y MCF.

El Método de Sobol se basa en la descomposición de la varianza de la salida del modelo, permitiendo cuantificar el aporte individual de cada parámetro (índices de primer orden  $S_1$ ), así como sus posibles interacciones con otros factores (índices de efecto total  $S_T$ ) (18). El análisis se realizó en un horizonte de 0 a 30 años, evaluando la sensibilidad de los parámetros en distintos momentos. Esto permitió identificar no solo los parámetros más influyentes, sino también cómo su relevancia varía a lo largo del tiempo.



El Método de Monte Carlo Filtering (MCF) realiza un análisis de sensibilidad regional que distingue qué parámetros son más relevantes según el cumplimiento de un objetivo de salida específico (19,20). Para el modelo logístico de meningitis en Ecuador, se realizaron simulaciones variando parámetros en  $\pm 30\%$  respecto a sus valores calibrados. Cada simulación se evaluó según si la población en  $t = 30$  superaba el umbral de aceptabilidad ( $P(t=30) > 5000$ ), clasificándose en subconjuntos, conductual (aceptadas) y no conductual (rechazadas). Posteriormente, se analizaron las distribuciones de entrada para ambos subconjuntos mediante funciones de distribución acumulativa empíricas (ECDFs), complementadas con la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) para detectar diferencias estadísticamente significativas.

**Herramientas de software:** El AS fue desarrollado utilizando Python y bibliotecas de código abierto. Para implementar los métodos Sobol y Morris, se empleó la librería *SALib* (Sensitivity Analysis Library), ampliamente validada para el AS en modelos matemáticos (14).

Debido a que MCF no está implementado en *SALib*, se desarrollaron scripts personalizados para generar muestras aleatorias, ejecutar el modelo logístico, clasificar simulaciones según un umbral de aceptabilidad y aplicar Kolmogorov-Smirnov (KS), siguiendo la adaptación propuesta para modelos epidemiológicos (21). Esta implementación permitió analizar la dinámica temporal, una característica poco explorada, facilitando una comparación con Sobol y Morris.

## RESULTADOS

En esta sección se presentan los hallazgos que evidencian la aplicación de cada método al modelo logístico.

- 1. Filtrado y preparación de datos:** Para comenzar, se filtran los datos para incluir solo los países de la Comunidad Andina (CAN) (Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú, cada país con datos anuales de 1990 a 2022) y las causas de muerte infecciosas: Meningitis, Malaria, Tuberculosis, HIV/SIDA, Enfermedades diarreicas, Infecciones respiratorias y neonatales.
- 2. Limpieza de datos:** En este apartado se verifica la exclusión de valores faltantes y atípicos. Asimismo, se ordenan los datos por país y año para asegurar la continuidad temporal. Tras este filtrado, los datos que son ahora un conjunto limpio determinan la base de ajuste del modelo logístico por país y enfermedad.
- 3. Estimación de parámetros:** Se emplea un modelo de crecimiento logístico para ajustar la tendencia temporal de cada enfermedad en cada país, siendo:  $P(t)$  el número de muertes anuales en el tiempo  $t$ ;  $K$  la capacidad de carga al que tiende  $P(t)$  cuando  $t$  crece;  $r$  la tasa de crecimiento que controla la rapidez con la que se acerca a  $K$  y  $P_0$  correspondiente al nivel de muertes al inicio del período (año base 1990).

Para cada combinación de país y enfermedad, se ajustaron los tres parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$  y se utilizó la librería *scipy.optimize.curve\_fit* (11) para los valores iniciales para la optimización.



Se fijó  $K$  por encima del valor máximo observado (10%) y  $P_0$  cercano al primer valor;  $r$  comenzó con un valor positivo (0.1) asumiendo un ajuste gradual; y se impusieron además restricciones de positividad ( $K > 0, P_0 > 0$  y  $r \geq 0$ ).

Finalmente, utilizando *curve\_fit*, se obtuvo una serie ( $K_{ajustado}, r_{ajustado}, P_{0ajustado}$ ) que fue la que mejor reprodujo los datos.

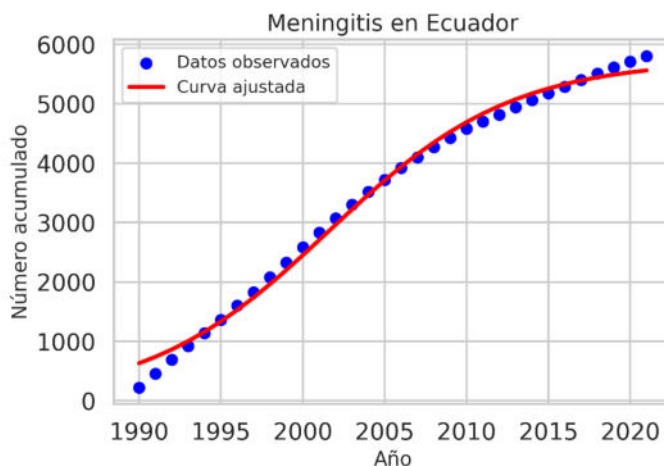
**4. Verificación y calidad del ajuste del modelo:** En el ajuste de la ecuación logística para las enfermedades infecciosas se obtuvieron, en general, resultados satisfactorios. Los parámetros  $K$  y  $r$  se estimaron con valores plausibles en la mayoría de las combinaciones país-enfermedad, obteniéndose así altos coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y bajos errores de ajuste (MSE).

La Tabla 2 muestra los parámetros ajustados del modelo logístico para la propagación de la meningitis en tres países de la región andina (Ecuador, Bolivia y Perú).

**Tabla 2. Parámetros de ajuste del modelo logístico para la propagación de la meningitis en tres países.**

<i>País</i>	<i>Enfermedad</i>	<i>K</i>	<i>r</i>	<i>P<sub>0</sub></i>	<i>MSE</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>Ecuador</i>	Meningitis	5732.0501	0.179661	631.627755	18939.57	0.993629
<i>Bolivia</i>	Meningitis	7476.67235	0.171925	1156.44127	59742.69	0.986614
<i>Perú</i>	Meningitis	8568.48663	0.181889	1413.80260	87700.18	0.984918

Los datos muestran un ajuste robusto para los tres países, con valores de  $R^2$  cercanos a 1, y el MSE más bajo, lo que indica que el modelo logístico describe bien la propagación de la meningitis en estos países; notándose que, para la Meningitis en el Ecuador (Figura 1), este modelo tiene un muy buen ajuste por lo que se puede proceder con el ASG.



**Figura 1. Número acumulado de casos de Meningitis en Ecuador desde 1990 hasta 2022.**



**5. Resultados individuales de cada método:** En este punto se comparan los resultados de sensibilidad del modelo logístico para casos de meningitis en Ecuador en ( $t = 5, 10, 15, 20, 25$  y  $30$  años). Este análisis permitió evaluar cómo la sensibilidad de los parámetros cambia en diferentes etapas temporales debido a cambios estructurales en los datos.

- Capacidad de carga ( $K$ ) = 5732.05012,
- Tasa de crecimiento ( $r$ ) = 0.179661, y
- Población inicial ( $P_0$ ) = 631.627755,

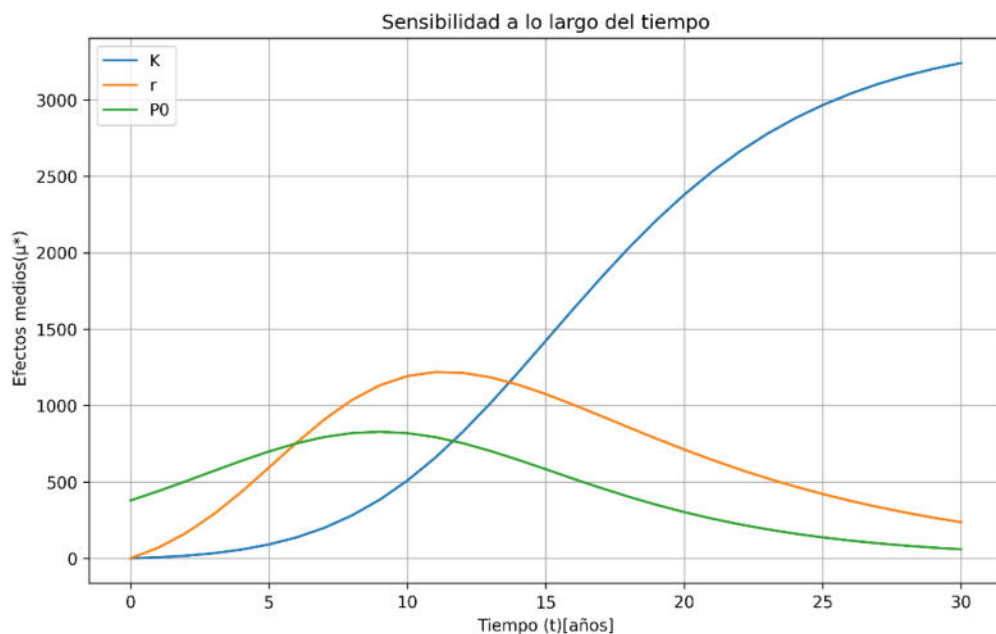
Estos valores se consideran la referencia principal. Además, se asume que cada parámetro podía variar  $\pm 30\%$  alrededor de su valor base, lo que permite explorar variaciones realistas sin exceder los límites razonables.

**Morris:** Los resultados muestran una evolución temporal clara en la influencia de los parámetros del modelo. En la Tabla 3 se reportan los valores de  $\mu^*$  y  $\sigma$  para cada parámetro en distintos momentos del tiempo.

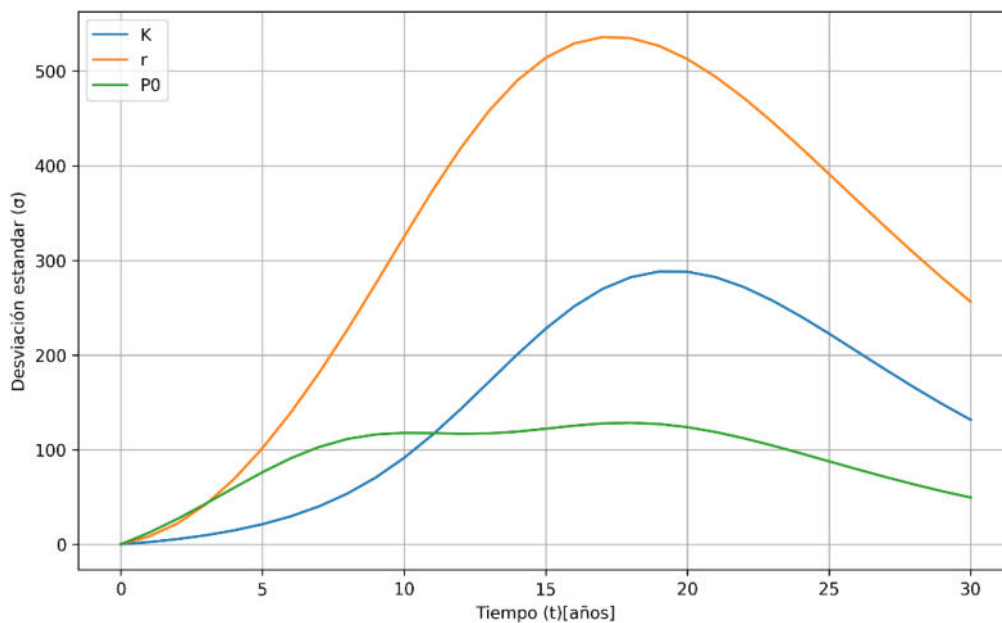
**Tabla 3. Sensibilidad de los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$  en función  $\mu^*$  y  $\sigma$  en diferentes tiempos.**

Temp	$\mu_K^*$	$\sigma_K$	$\mu_r^*$	$\sigma_r$	$\sigma_{P_0}$	$\sigma_{P_0}$
0	0	0	0	0	378.976653	0
5	91.026986	21.2382425	594.174441	101.611791	699.478151	76.1526817
10	509.09487	91.2945524	1192.68540	324.994738	819.236131	117.699929
15	1423.5691	227.802908	1074.71721	513.965180	583.096772	122.07448
20	2379.3274	287.94234	712.166465	512.600728	302.748472	123.72856
25	2965.4443	222.55830	421.227333	391.2410027	137.3237413	87.650373
30	3240.7837	131.533537	236.819232	256.2558713	59.3281093	49.3912432

Este análisis permitió estimar  $\mu^*$  (efecto medio absoluto) y  $\sigma$  (variabilidad de los efectos elementales), proporcionando una mejor caracterización del impacto de cada parámetro en la dinámica del modelo (Figura 2).



(a)



(b)

**Figura 2. (a) Gráfica de  $\mu^*$ : Efecto de impacto de los parámetros en diferentes momentos del tiempo (un alto valor de  $\mu^*$  implica un gran efecto en el modelo). (b) Gráfica de  $\sigma$ : Variabilidad del impacto de cada parámetro (un  $\sigma$  con valor alto indica que el parámetro tiene efectos no lineales o interacción con otros parámetros).**



La Figura 2. (a) muestra que el parámetro  $K$  tiene una influencia inicial baja, con valores cercanos a cero en  $t = 0$ . Sin embargo, su impacto aumenta progresivamente a partir de  $t = 12$  y se convierte en el parámetro más influyente desde  $t = 14$ , con una relevancia que sigue en aumento hasta  $t = 30$ . Este comportamiento evidencia que  $K$  juega un papel clave en el control del comportamiento asintótico del modelo, destacando su importancia en las etapas finales.

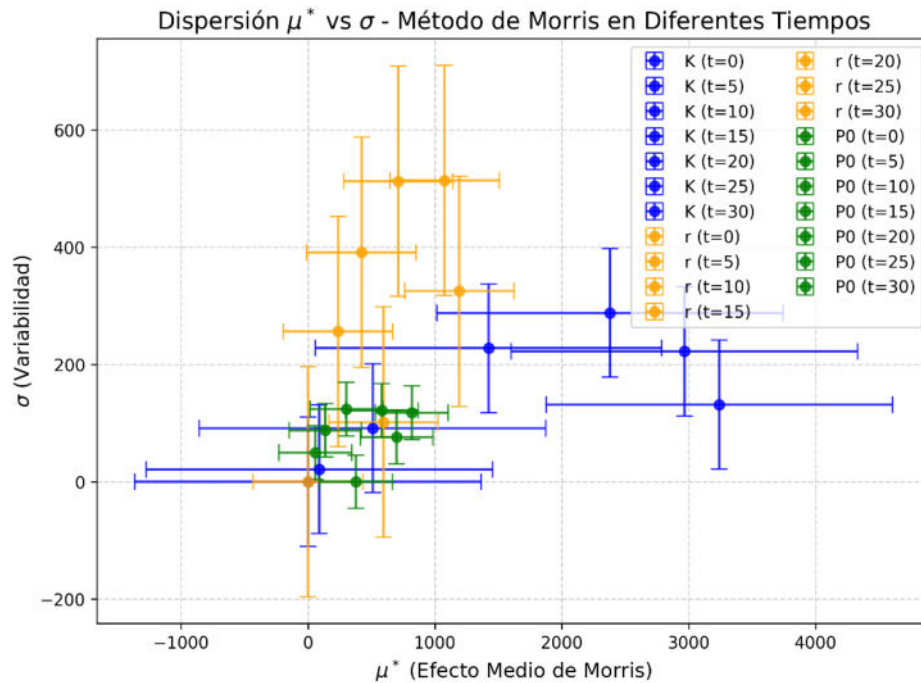
Por otro lado, el parámetro  $r$  muestra una influencia significativa desde  $t = 6$ , alcanzando su punto máximo entre  $t = 6$  y  $t = 14$ . A partir de ese momento, su efecto disminuye gradualmente. Este patrón refleja que  $r$  es determinante durante la fase de crecimiento exponencial, definiendo la dinámica poblacional en las etapas intermedias. Sin embargo, su relevancia disminuye a medida que la población se aproxima a  $K$ .

En cuanto a  $P_0$ , es máxima en los primeros años del análisis, principalmente entre  $t = 0$  y  $t = 6$ , pero decrece de manera progresiva en el tiempo. Este resultado refleja que  $P_0$  establece las condiciones iniciales del sistema y determina el comportamiento inicial del modelo. A medida que el crecimiento poblacional entra en las etapas dominadas por  $r$  y  $K$ , el impacto de  $P_0$  desaparece gradualmente, perdiendo relevancia en las fases intermedias y finales.

Para la Figura 2. (b) muestra la desviación estándar ( $\sigma$ ) de los efectos elementales, lo que permite evaluar la variabilidad de la sensibilidad de los parámetros del modelo. Los resultados destacan que el parámetro  $r$  presenta la mayor variabilidad, alcanzando un pico alrededor de  $t = 17$ . Este comportamiento sugiere que  $r$  interactúa de manera significativa con otros parámetros, como  $K$  y  $P_0$ , durante la fase de crecimiento rápido del modelo.

En el caso de  $K$ , la desviación estándar aumenta gradualmente hasta alcanzar su máximo en  $t \approx 19$ , para luego disminuir hacia las fases finales del análisis. Este comportamiento refleja que, aunque  $K$  domina en la estabilización del modelo en el largo plazo, su efecto es más predecible. Esto sugiere que su impacto depende más de características estructurales del modelo y menos de interacciones con otros parámetros.

Por otro lado,  $P_0$  muestra la menor variabilidad entre los tres parámetros, con una curva más suave y estable a lo largo del tiempo. Esto indica que su efecto es más directo y determinístico, con menor dependencia de interacciones con otros parámetros.



**Figura 3.**  $\mu^*$  vs  $\sigma$ : La sensibilidad de los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$  se muestra en el diagrama de dispersión en términos del efecto medio absoluto ( $\mu^*$ ) y su variabilidad ( $\sigma$ ) en diferentes tiempos ( $t=0, 5, 10, 15, 20, 25, 30$ ).

La Figura 3 permite analizar tanto la magnitud del impacto de cada parámetro sobre la salida del modelo como la incertidumbre asociada a ese impacto en diferentes simulaciones.

El parámetro  $K$  muestra una clara tendencia hacia la derecha en el gráfico conforme avanza el tiempo, indicando un crecimiento sostenido de  $\mu^*$ , especialmente ( $t = 20, 25, 30$ ). Aunque su  $\sigma$  presenta valores moderados entre (100) y (300), su dispersión vertical es menor en comparación con  $r$ , lo que refleja un impacto estructural fuerte pero predecible. Esto destaca la relevancia de  $K$  como el parámetro más influyente en la estabilización poblacional a largo plazo.

El parámetro  $r$ , exhibe una alta variabilidad ( $\sigma$ ) durante la etapa intermedia ( $t = 10$  a  $20$ ), con valores que superan los (500). Este comportamiento sugiere fuertes interacciones no lineales con otros parámetros  $K$  y  $P_0$ . A pesar de que  $r$  tiene valores de efecto medio  $\mu^*$  moderadamente altos, su dispersión indica un impacto menos predecible, lo que enfatiza su relevancia crítica en la fase de crecimiento exponencial del modelo.

Por último, el parámetro  $P_0$ , marcado en verde, muestra altos valores de  $\mu^*$  en tiempos tempranos ( $t = 0$  a  $5$ ) que decrecen rápidamente con el tiempo. Su variabilidad ( $\sigma$ ) es baja, reflejando un comportamiento estable y altamente predecible. Esto indica que  $P_0$  actúa como un condicionante del modelo, pero pierde influencia conforme la dinámica del sistema pasa a estar dominada por  $r$  y  $K$ .



Esta visualización complementa el análisis temporal de  $\mu^*(t)$  y  $\sigma(t)$ , proporcionando una perspectiva integral que fortalece la interpretación de la dinámica poblacional.

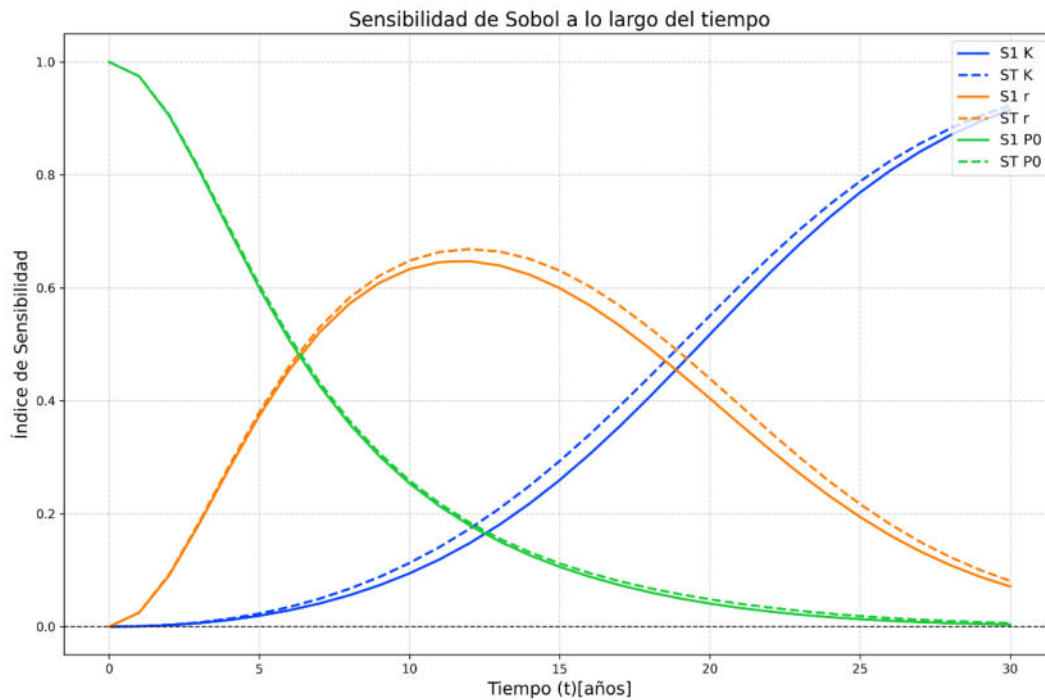
**Sobol:** Los resultados permiten cuantificar los índices de primer orden ( $S_1$ ), los cuales reflejan la influencia individual de cada parámetro en la salida del modelo,  $K$  como el factor predominante con un efecto directo y significativo en la estabilidad poblacional. Por su parte, los índices totales ( $S_T$ ) integran tanto los efectos individuales como las interacciones entre parámetros, revelando cómo las combinaciones de  $K$ ,  $r$  y  $P_0$  contribuyen a moldear la dinámica del sistema.

Para asegurar la precisión de las estimaciones, se realizaron simulaciones complementarias con intervalos de confianza del 95%, permitiendo evaluar la incertidumbre y la consistencia de los resultados.

**Tabla 4. Representa la sensibilidad de los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$  en función  $S_1$  y  $S_T$  en diferentes tiempos.**

Sobol	T	K	r	P0	Sobol	t	K	R	P0
Index					Index				
S1	0	0	0	0.9999969	ST	0	0	0	0.999996
S1	5	0.019201	0.373584	0.59945463	ST	5	0.0229860	0.379809	0.6052037
S1	10	0.094215	0.633109	0.25364413	ST	10	0.112530	0.648098	0.2587486
S1	15	0.259502	0.599437	0.10586477	ST	15	0.29317940	0.630483	0.1117497
S1	20	0.517426	0.404035	0.04077061	ST	20	0.55056535	0.439341	0.0482590
S1	25	0.768845	0.194173	0.01313983	ST	25	0.78853474	0.216978	0.018646
S1	30	0.9152	0.071000	0.0035444	ST	30	0.9233551	0.080850	0.006116

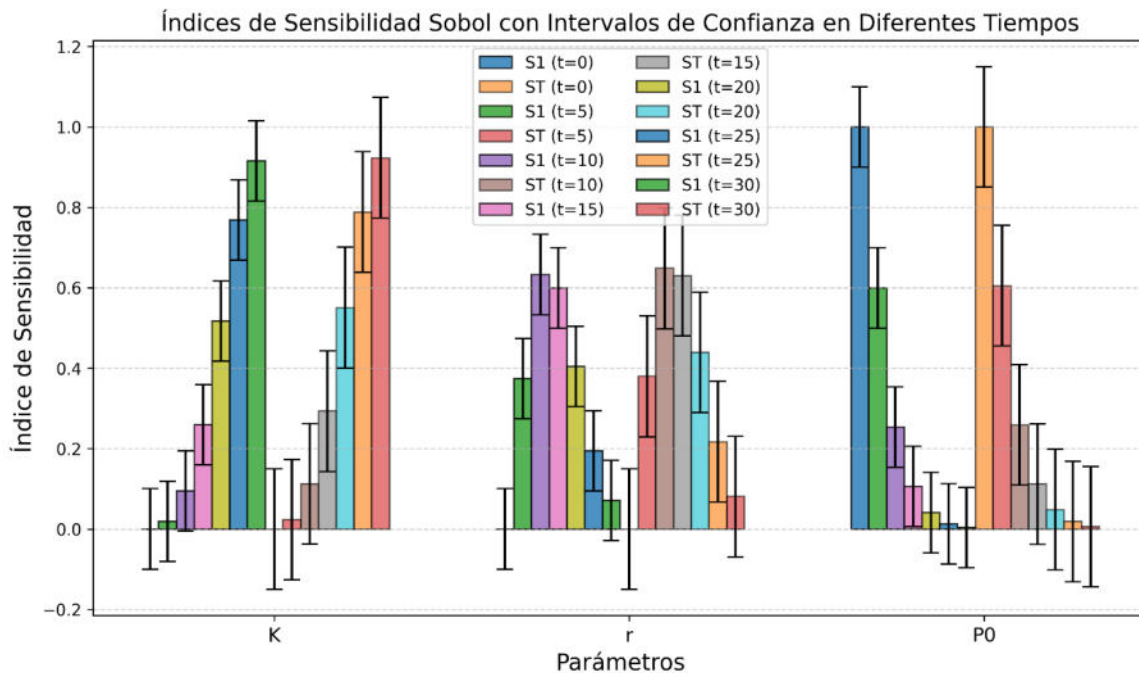
En la Tabla 4, se observa que  $K$  presenta los valores más altos de sensibilidad en ( $S_1$ ) y ( $S_T$ ), consolidando su papel fundamental. Aunque  $r$  tiene una influencia menor, aporta significativamente en ciertos intervalos temporales, especialmente durante la fase de crecimiento del modelo. Por otro lado,  $P_0$  se atenúa con el tiempo y no juega un papel relevante.



**Figura 4.** Evolución temporal de los índices de sensibilidad de Sobol ( $S_1$  y  $S_T$ ) para los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$ . El gráfico muestra cómo la influencia directa ( $S_1$ ) y total ( $S_T$ ) de cada parámetro varía a lo largo del tiempo.

En la Figura 4 se presentan los resultados que evidencian cómo en las etapas iniciales, el parámetro  $P_0$  domina la dinámica del sistema; sin embargo, su influencia disminuye gradualmente, cediendo paso a  $r$  y  $K$  en el desarrollo a largo plazo del modelo. Este comportamiento refleja la transición natural del sistema, mientras  $P_0$  establece el punto de partida del modelo,  $r$  y  $K$  se convierten en los factores reguladores principales a medida que el sistema se estabiliza.

Un aspecto crucial del análisis es la relación entre los índices  $S_1$  y  $S_T$  para cada parámetro. Las intersecciones entre estas curvas a lo largo del tiempo señalan cambios en la importancia relativa de los parámetros. Cuando  $S_1 \approx S_T$ , el impacto del parámetro es principalmente independiente, indicando que su influencia no depende de interacciones con otros factores. Por el contrario, valores donde  $S_1 \ll S_T$  sugieren que el parámetro en cuestión está fuertemente influenciado por interacciones con otros parámetros del sistema. En este estudio,  $K$  emerge como el parámetro clave en la estabilidad a largo plazo, mientras que  $r$  desempeña un papel significativo en las fases intermedias del modelo, y  $P_0$  se limita a influir en los momentos iniciales.



**Figura 5.** Índices de sensibilidad de Sobol ( $S_1$  y  $S_T$ ) con intervalos de confianza en función del tiempo para los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$ . El gráfico ilustra los índices de sensibilidad en distintos momentos temporales ( $t = 0, 5, 10, 15, \dots, 30$ ), destacando la importancia de cada parámetro en la dinámica del modelo logístico. Las barras incluyen intervalos de confianza del 95%, representados por líneas verticales negras en la parte superior, que reflejan la incertidumbre asociada a cada estimación.

Los resultados presentados en la Figura 5 muestran como la sensibilidad de  $K$  aumenta progresivamente con el tiempo, en las fases finales del modelo. Los índices ( $S_T$ ) tienen valores cercanos a 1 para ( $t = 30$ ), lo que indica que  $K$  contribuye de manera significativa a la dinámica total del sistema en etapas tardías.

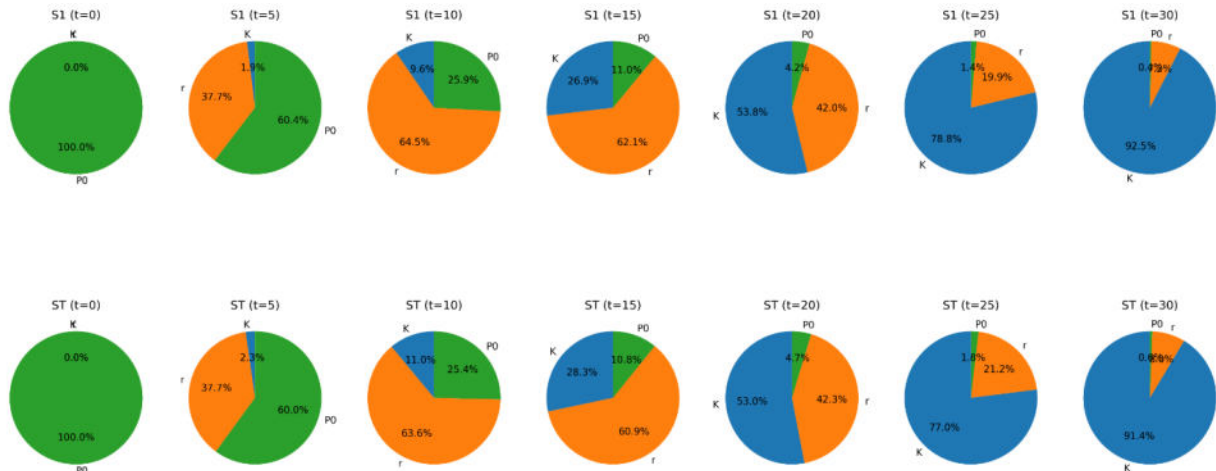
Los intervalos de confianza asociados a ( $S_T$ ) y ( $S_1$ ) presentan un patrón decreciente en tiempos avanzados ( $t > 20$ ), lo que sugiere que la influencia de  $K$  es más estable y predecible cuando el sistema se aproxima al equilibrio poblacional.

Los índices de sensibilidad de  $r$  alcanzan valores máximos en la fase intermedia ( $t = 10$  a  $t = 20$ ), reflejando su impacto en el crecimiento del sistema. Los intervalos de confianza asociados a ( $S_T$ ) y ( $S_1$ ) son moderados y muestran cierta variabilidad, indicando que  $r$  interactúa con otros parámetros en esta fase. Esto puede deberse a su dependencia del estado inicial  $P_0$  y de la transición hacia la influencia predominante de  $K$ .

La sensibilidad de  $P_0$  es notablemente alta en los primeros tiempos ( $t = 0$ ), lo que confirma su relevancia como condición inicial, a medida que avanza el tiempo, los índices ( $S_T$ ) y ( $S_1$ ) disminuyen rápidamente, reflejando su pérdida de importancia a medida que  $K$  y  $r$  aumentan.



Los intervalos de confianza son más amplios en tiempos iniciales, lo que indica una mayor incertidumbre en la influencia de  $P_0$  durante los primeros momentos del modelo.



**Figura 6.** Visualización relativa de la influencia de los parámetros ( $t = 0, 5, 10, 15, \dots, 30$ ). Cada par de gráficos de pastel presenta:  $S_1$  (Sensibilidad de primer orden, gráficos superiores): Indica el efecto directo de cada parámetro sobre la salida del modelo.  $S_T$  (Sensibilidad total, gráficos inferiores): Refleja tanto los efectos directos como las interacciones entre parámetros.

En la Figura 6, al inicio del modelo ( $t = 0$ ),  $P_0$  domina completamente (100%). Esto significa que la población inicial determina la dinámica del sistema. Así, en esta etapa temprana, ni  $r$  ni  $K$  tienen influencia.

Conforme avanza el tiempo,  $P_0$  pierde relevancia gradualmente. En ( $t = 5$ ),  $r$  comienza a adquirir importancia con aproximadamente (37.7%) de influencia, mientras que  $P_0$  se reduce a (60.4%). En ( $t = 10$ ),  $r$  pasa a ser el parámetro dominante (64.5%), desplazando aún más a  $P_0$ , que cae a (25.9%). En ( $t = 15$ ),  $r$  mantiene su predominio (62.1%), aunque  $K$  empieza a emerger con una influencia notable (26.9%), marcando el inicio de su transición hacia el control del sistema. A partir de ( $t = 20$ ),  $K$  se convierte en el parámetro dominante (53.8%) y sigue aumentando. Este comportamiento se intensifica en ( $t = 30$ ), donde  $K$  representa el (92.5%) de la sensibilidad total, mientras que  $P_0$  y  $r$  prácticamente desaparecen.

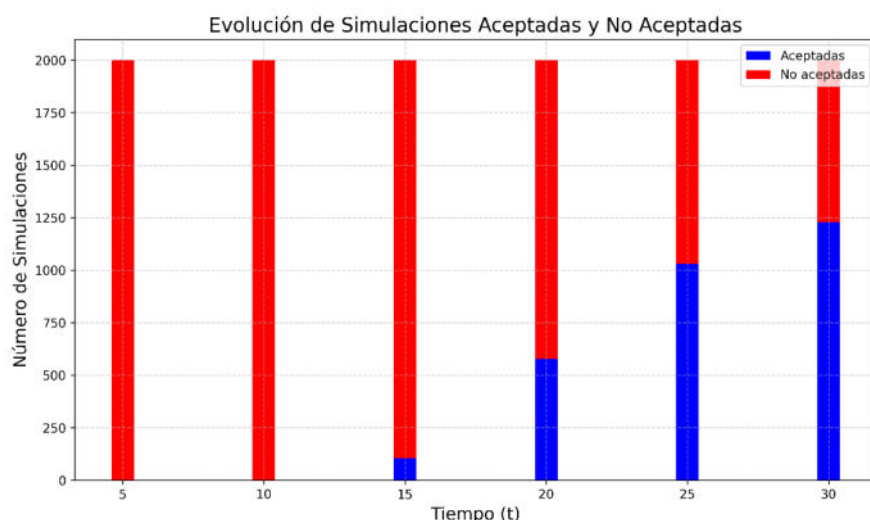
Además, las diferencias entre ( $S_1$ ) y ( $S_T$ ) en distintos momentos reflejan interacciones entre parámetros. Por ejemplo, en ( $t = 10$ ), ( $S_{T_r}$ ) es mayor que ( $S_{1_r}$ ), lo que sugiere que  $r$  interactúa significativamente con otros parámetros. A comparación con ( $t = 30$ ), ( $S_{1_K}$ ) y ( $S_{T_K}$ ) son casi iguales, indicando que  $K$  actúa de manera independiente en la fase estable del modelo.

**MCF:** Es una técnica utilizada para clasificar simulaciones en función de su capacidad para cumplir con un criterio específico de desempeño. Para este caso, el criterio predefinido fue que la población final alcanzara el umbral de estabilidad  $P(T = 30) > 5000$ . En este análisis, se



generaron 2000 simulaciones Monte Carlo que se dividieron en dos subconjuntos: Subconjunto conductual, simulaciones aceptadas con estabilidad poblacional y Subconjunto no conductual, simulaciones rechazadas que no logran estabilizarse.

Las Funciones de Distribución Acumulativa Empírica (ECDFs) de los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$  se trazaron para comparar las distribuciones correspondientes a los subconjuntos conductual y no conductual. Este análisis permitió visualizar cómo se distribuyen los valores de cada parámetro en simulaciones aceptadas y rechazadas. Para cuantificar las diferencias entre estas distribuciones, se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS), identificando los parámetros más sensibles. En la Figura 7, se presentan los resultados del análisis de sensibilidad realizado con MCF.

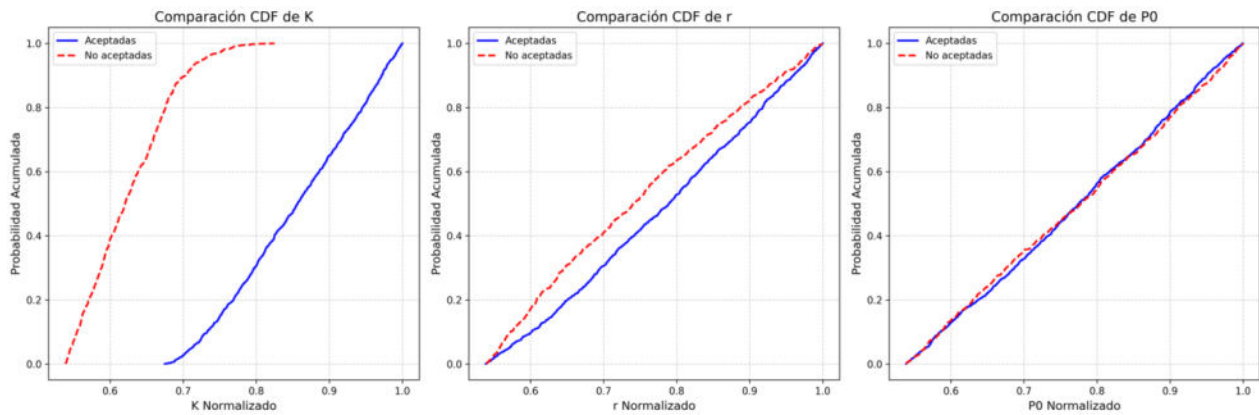


**Figura 7. Distribución de simulaciones aceptadas y no aceptadas en distintos momentos temporales. El gráfico compara las simulaciones aceptadas ( $P(T) > 5000$ ) con aquellas no aceptadas ( $P(T) \leq 5000$ ) para ( $t = 5, 10, 15, 20, 25, 30$ ), resaltando la evolución de la estabilidad poblacional en el modelo logístico.**

La Figura 7 muestra en las primeras fases del modelo ( $t = 5, 10, 15, 20$ ), la mayoría de las simulaciones pertenecen al subconjunto no aceptado. Esto evidencia que, en estos períodos iniciales, la población aún no alcanza niveles suficientes para considerarse estable. Los resultados reflejan que, independientemente de las combinaciones de los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$ , el modelo permanece en una fase de crecimiento inicial, insuficiente para superar el umbral definido.

A partir de ( $t = 25$ ), comienzan a registrarse simulaciones aceptadas. Es probable que estas simulaciones estén asociadas con valores altos de  $K$  y  $r$ , que promueven un crecimiento más acelerado y posibilitan que el sistema se acerque a su capacidad máxima.

Finalmente, en ( $t = 30$ ), se observa un incremento significativo en el número de simulaciones aceptadas. Este resultado indica que, en muchas de las simulaciones realizadas, el sistema ha alcanzado un estado estable. Sin embargo, persisten simulaciones no aceptadas.

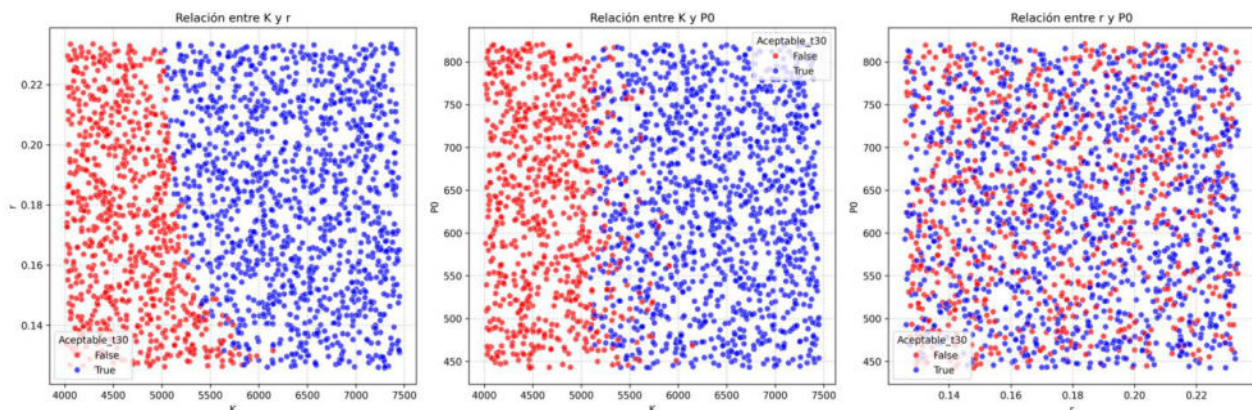


**Figura 8.** Comparación ECDFs para los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$ . La figura ilustra las distribuciones de simulaciones aceptadas ( $P(T = 30) > 5000$ , azul) y no aceptadas ( $P(T = 30) \leq 5000$ , rojo).

El análisis ECDFs, representado en la Figura 8, refuerza la comprensión de la influencia de los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$  en la clasificación de las simulaciones. Los resultados de la prueba de KS para  $K$  mostraron una discrepancia máxima de 0.8773, con un  $p$ -value de  $< 0.0001$  ( $p < 0.05$ ), lo que confirma una diferencia sustancial entre las distribuciones de simulaciones aceptadas y no aceptadas. Esta evidencia estadística respalda que  $K$  es el parámetro más influyente.

En cuanto a  $r$ , la prueba KS reflejó una discrepancia máxima de 0.1202 y un  $p$ -value de  $< 0.0001$  ( $p < 0.05$ ). Aunque la diferencia entre las distribuciones es menor, sigue siendo significativa.

Por otro lado, los resultados de  $P_0$  no revelaron diferencias significativas entre los dos grupos. La prueba KS mostró una discrepancia máxima de 0.0284 con un  $p$ -value de 0.8256 ( $p > 0.05$ ), lo que indica que las distribuciones de  $P_0$  para simulaciones aceptadas y no aceptadas son prácticamente idénticas, es decir, no tiene un impacto significativo en la clasificación de las simulaciones.



**Figura 9.** Relación entre los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$ . Los gráficos ilustran la clasificación de simulaciones en dos grupos: aceptadas ( $P(T = 30) > 5000$ , puntos azules) y no aceptadas ( $P(T = 30) \leq 5000$ , puntos rojos). Cada punto representa una simulación específica con una combinación única de  $K$ ,  $r$  y  $P_0$ .



En la Figura 9, el gráfico izquierdo (relación entre  $K$  y  $r$ ), determina una separación clara entre las simulaciones aceptadas y no aceptadas basada en los valores de  $K$ . Las simulaciones aceptadas tienden a concentrarse en valores altos de  $K$  ( $> 5500$ ), mientras que valores de  $K$  ( $< 5000$ ) están asociados con simulaciones no aceptadas, el parámetro  $r$  no muestra un efecto determinante.

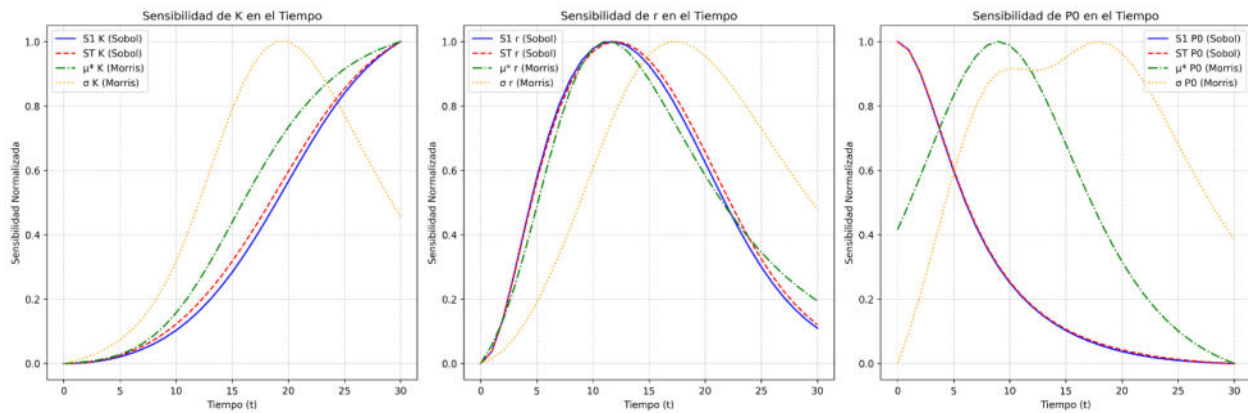
En el gráfico del centro (relación entre  $K$  y  $P_0$ ), se ve un refuerzo en la influencia de  $K$ . Las simulaciones aceptadas se concentran en valores altos de  $K$  ( $> 5500$ ), mientras que las no aceptadas en valores bajos de  $K$  ( $< 5000$ ) y  $P_0$  no tiene un impacto significativo en la clasificación.

El gráfico derecho (relación entre  $r$  y  $P_0$ ) no muestra una separación entre simulaciones aceptadas y no aceptadas. Los puntos azules y rojos están distribuidos de manera aleatoria en todo el rango de  $r$  y  $P_0$ , lo que indica que, al combinar estos parámetros, no se observan patrones que afecten directamente la clasificación de las simulaciones.

**Comparación entre métodos:** Para garantizar una comparación adecuada entre los tres enfoques, Morris, Sobol y MCF, es esencial transformar los valores obtenidos de cada método a una escala común. Esto se debe a que cada técnica evalúa la sensibilidad de manera diferente. La normalización o estandarización de los datos es fundamental para interpretar correctamente las contribuciones relativas de los parámetros bajo cada método. Según el análisis de (7), el método Sobol destaca por medir el impacto de los parámetros en la varianza total del modelo, lo que proporciona una visión cuantitativa de cómo cada parámetro contribuye a la variabilidad de la salida.

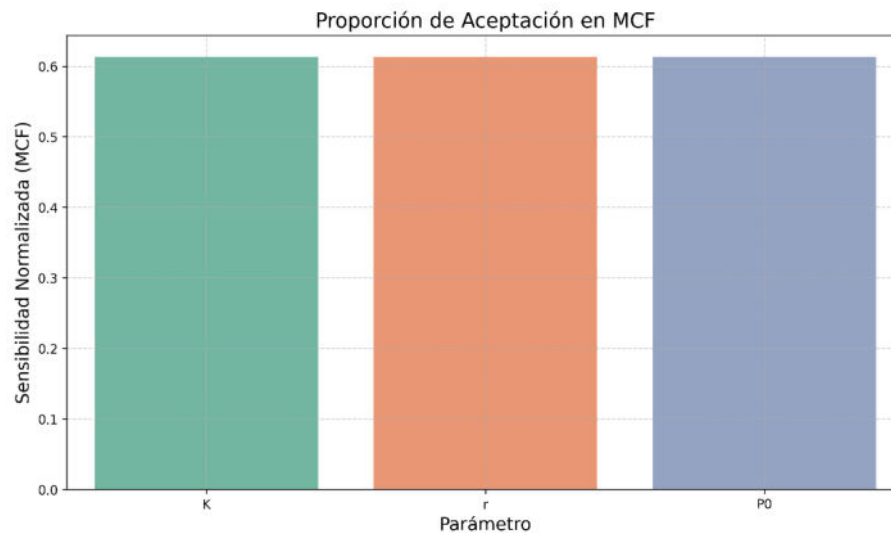
Por su parte, el método Morris tiene la ventaja de capturar tanto la variabilidad como las interacciones entre los parámetros. Esto lo convierte en una herramienta ideal para los análisis dinámicos. A diferencia de MCF que adopta un enfoque centrado en la clasificación de escenarios, evaluando la relevancia de los parámetros según su capacidad para cumplir criterios predefinidos. Este método no mide sensibilidad como tal, sino que identifica parámetros críticos.

**Incompatibilidad conceptual en un gráfico de serie temporal:** Los métodos Sobol y Morris tienen la capacidad de representar la sensibilidad de los parámetros en función del tiempo, siempre que sus valores sean normalizados. Esto permite ubicarlos en un mismo eje temporal, facilitando la comparación dinámica de sus sensibilidades. Sin embargo, MCF presenta una limitación conceptual en este contexto, pues no genera un índice continuo asociado al tiempo. Esta discrepancia metodológica implica que integrar MCF en un gráfico de serie temporal con Sobol y Morris es complejo (probablemente innecesario) porque no comparte la misma estructura de sensibilidad dinámica.



**Figura 10. Evolución temporal de la sensibilidad para los métodos Sobolj y Morris. Cada gráfico presenta la sensibilidad normalizada de un parámetro  $K$ ,  $r$  y  $P_0$  en función del tiempo. Las métricas de Sobolj ( $S_1$ ,  $S_T$ ) y Morris ( $\mu^*$ ,  $\sigma$ ) se comparan, reflejando distintos enfoques para analizar la influencia de los parámetros en la dinámica del modelo. Esta visualización destaca cómo cada método caracteriza la sensibilidad de manera complementaria a lo largo de la evolución temporal.**

Los resultados evidencian una transición clara en la importancia de los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$  en diferentes fases del tiempo, de acuerdo con las métricas proporcionadas por Sobolj ( $S_1$ ,  $S_T$ ) y Morris ( $\mu^*$ ,  $\sigma$ ). Entonces, desde la Figura 10, la sensibilidad de  $K$  aumenta gradualmente con el tiempo, alcanzando su máximo en la fase final del modelo. Tanto Sobolj ( $S_T$ ) como Morris ( $\mu^*$ ) destacan a  $K$  como el principal regulador de la estabilidad poblacional,  $r$  muestra una sensibilidad máxima durante la fase intermedia del modelo ( $t = 10$  a  $t = 20$ ). Su alta variabilidad ( $\sigma$ ) en este intervalo sugiere que su impacto está influenciado por interacciones con otros parámetros. Esto refleja que  $r$  juega un papel crítico en la regulación del crecimiento poblacional en la etapa de transición del modelo. La influencia de  $P_0$  es significativa al inicio del modelo, dominando en ( $t = 0$ ). Sin embargo, su sensibilidad disminuye rápidamente con el tiempo. rapi



**Figura 11. Proporción de simulaciones aceptadas en función de los parámetros mediante MCF. El gráfico presenta la sensibilidad global de los parámetros  $K$ ,  $r$  y  $P_0$ , mostrando la proporción de simulaciones aceptadas ( $P(T = 30) > 5000$ ) en una escala normalizada.**



La Figura 11 presenta la sensibilidad global, utilizando un gráfico de barras en lugar de una serie temporal. Este enfoque refleja la contribución relativa de cada parámetro en la proporción de simulaciones aceptadas. Los resultados indican que los tres parámetros tienen una contribución similar en la clasificación de simulaciones aceptadas resaltando el hecho que, todos estos, participan de manera notable en garantizar la estabilidad del modelo. Sin embargo, el gráfico no permite diferenciar los momentos específicos en los que cada parámetro es más relevante, dado que MCF no genera índices dinámicos en función del tiempo, a diferencia de los métodos Sobol y Morris, que capturan la evolución temporal de la sensibilidad y las interacciones entre parámetros. MCF se centra más en evaluar la importancia de los parámetros en un instante final.

### Comparación de eficiencia computacional y selección de métodos de sensibilidad:

Para evaluar la eficiencia de los métodos de análisis de sensibilidad (Morris, Sobol y MCF)(22), es crucial considerar dos aspectos clave: el tiempo de ejecución y el uso de memoria. Estos criterios permiten determinar qué método es más adecuado según los recursos computacionales disponibles y las necesidades específicas del estudio. Los resultados presentados en la Tabla 5 facilitan la visualización y comparación de estos aspectos clave:

**Tabla 5. Comparación de Eficiencia Computacional**

<i>Método</i>	<i>Tiempo de Ejecución (s)</i>	<i>Uso de Memoria (MiB)</i>
<i>Morris</i>	0.0368	0.2266 MiB
<i>Sobol</i>	131.53526	390.539 MiB
<i>MCF</i>	5.99	17.18 MB

En términos de tiempo de ejecución, el método Morris es claramente el más eficiente por su rapidez, mientras que Sobol presenta una ejecución significativamente más lenta. En cuanto al uso de memoria, Morris también destaca por ser el menos exigente, seguido por MCF, que mantiene un consumo moderado. Sobol requiere un alto gasto de memoria, lo que puede limitar su aplicabilidad en sistemas con recursos computacionales limitados.

**Tabla 6. Tabla Comparativa de Métodos de Sensibilidad**

<b>Método</b>	<b>Tipo de Output</b>	<b>Cantidad de Simulaciones</b>	<b>Detección de Interacciones</b>	<b>Precisión / Robustez</b>	<b>Aplicabilidad (Ventajas y Limitaciones)</b>
<b>Sobol</b>	Índices de sensibilidad cuantitativos: Captura la proporción de varianza explicada.	Alta, requiere muchas simulaciones ( $N(k+2)$ ).	Sí.	Alta precisión si el número de simulaciones es suficiente.	Útil para análisis detallado final. Proporciona información completa de cómo cada parámetro influye en el resultado.
<b>Morris</b>	Medidas de efecto elemental: media $\mu^*$ y desviación $\sigma$ . Salida semi-cuantitativa.	Media, orden de $r(k+1)$ .	Parcial.	Robusto cualitativamente: identifica factores dominantes con bajo costo computacional	Ideal en etapas iniciales o con muchos parámetros. Fácil de implementar y computacionalmente barato.
<b>MCF</b>	Distinción de escenarios según salida. Identifica parámetros influyentes con pruebas estadísticas (p-valores, KS).	Media-Alta – Requiere muestreo amplio para obtener buen poder estadístico.	Limitada.	Moderada. Resultados dependen del criterio de filtro (umbral) y del tamaño muestral.	Útil para análisis de riesgo y toma de decisiones. Identifica parámetros críticos para escenarios extremos.

Desde la Tabla 6, la elección del método más adecuado dependerá del balance entre precisión, recursos disponibles y el propósito del estudio. Morris es ideal para estudios preliminares con limitaciones computacionales, mientras que Sobol es más adecuado para análisis detallados cuando los recursos no son un problema. Por su parte, MCF es útil para evaluar la estabilidad y clasificación de parámetros sin necesidad de un análisis temporal continuo.

## DISCUSIÓN

El ASG aplicado al modelo logístico de meningitis en Ecuador permitió evaluar las diferencias en la influencia de los parámetros clave:  $k$ ,  $r$  y  $P_0$ . Mediante los enfoques de Sobol, Morris y MCF, se analizó no solo la magnitud de la sensibilidad de cada parámetro, sino también su estabilidad y variabilidad a lo largo del tiempo, proporcionando una visión integral de su impacto en la dinámica del sistema.



Los resultados de este estudio revelan que el parámetro  $K$  (capacidad de carga) es el más determinante en la estabilidad poblacional del modelo logístico aplicado a la meningitis. Esta observación es coherente con lo reportado por (14), quienes destacan que los parámetros con influencia sostenida y baja variabilidad temporal suelen ser estructurales en modelos dinámicos. En particular, MCF mostró que  $K$  tiene la mayor diferencia entre simulaciones aceptadas y rechazadas, confirmando su papel fundamental en la estabilidad a largo plazo. Morris, a través de  $\mu^*$  y  $\sigma$ , confirmó que la influencia de  $K$  es alta y relativamente constante. Aunque Sobol también lo identificó como relevante, le asignó menor sensibilidad, una diferencia que puede atribuirse a las limitaciones del método para capturar cambios temporales graduales, como señalan (23).

La tasa de crecimiento  $r$  presentó una influencia intermedia, especialmente relevante durante la fase de expansión del sistema, lo cual es consistente con la literatura sobre modelos epidemiológicos tipo SIR (8). Morris mostró una alta variabilidad en  $r$ , lo que indica que su efecto depende de las interacciones paramétricas. MCF también lo clasificó como relevante en la transición entre fases, aunque con menor peso que  $K$ . Sobol mostró sensibilidad intermedia, en línea con lo observado por (24), donde la tasa de crecimiento explica parte significativa de la varianza en modelos biológicos, aunque no domina en fases estabilizadas.

El parámetro  $P_0$  (población inicial) tuvo un impacto limitado, restringido a las primeras etapas del modelo. Sobol lo situó como el de menor influencia, en coherencia con Savatorova(25), quienes reportan que la importancia de las condiciones iniciales decrece con el tiempo en modelos logísticos. Morris detectó una variabilidad moderada en  $P_0$ , indicando interacciones tempranas, pero MCF mostró que no contribuye significativamente a la clasificación de aceptabilidad.

Cada método de análisis aportó perspectivas complementarias. Sobol permitió descomponer la varianza de forma detallada, siendo útil cuando se busca precisión cuantitativa. Morris fue computacionalmente eficiente, capturando tanto magnitud como variabilidad de los efectos, ideal para estudios exploratorios. MCF, aunque más limitado en términos cuantitativos, fue útil para evaluar escenarios críticos y decisiones binarias, alineado con enfoques de riesgo en salud pública. Como señalan (26), combinar métodos de ASG permite una comprensión más integral del modelo, como se evidencia en este estudio.

En resumen, los hallazgos coinciden con la literatura sobre análisis de sensibilidad en modelos dinámicos no lineales y validan la utilidad de aplicar múltiples métodos de forma integrada para caracterizar la sensibilidad de parámetros en horizontes temporales. Este enfoque proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas en epidemiología.

## CONCLUSIONES

El análisis de sensibilidad evidenció que la influencia de los parámetros del modelo logístico varía en el tiempo. La capacidad de carga ( $K$ ) se consolidó como el factor más determinante en la estabilidad a largo plazo, mientras que la tasa de crecimiento ( $r$ ) desempeñó un rol crítico en la



fase de expansión. La población inicial ( $P_0$ ), por su parte, fue relevante únicamente en las primeras etapas, perdiendo impacto conforme el sistema se estabilizaba. Esta evolución temporal es clave para comprender el comportamiento del modelo frente a escenarios epidemiológicos reales.

Cada técnica empleada ofreció perspectivas complementarias. Sobol permitió cuantificar con precisión los efectos principales e interacciones entre parámetros; Morris destacó por su eficiencia computacional y su capacidad para reflejar la variabilidad temporal; mientras que Monte Carlo Filtering (MCF) permitió una clasificación binaria robusta de escenarios aceptables según criterios epidemiológicos. La normalización comparativa aplicada en este estudio facilitó la interpretación entre métodos, superando las diferencias estructurales en sus métricas.

La integración metodológica permitió una evaluación robusta del modelo logístico aplicado a la meningitis en Ecuador. Más allá de sus aportes teóricos, el enfoque propuesto constituye una herramienta práctica para la calibración de modelos en contextos reales y la toma de decisiones en salud pública. Su capacidad para identificar qué parámetros son críticos, en qué momento, y en qué condiciones, lo hace especialmente útil en entornos donde la disponibilidad de datos es limitada y la planificación debe ser oportuna y bien fundamentada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Minni Jain, Prajwal Kumar Bhati, Pranav Kataria, Rohit Kumar. Modelling Logistic Growth Model for COVID-19 Pandemic in India. IEEE. 2020;
2. Reyné B, Richard Q, Selinger C, Sofonea MT, Djidjou-Demassee R, Alizon S. Non-Markovian modelling highlights the importance of age structure on Covid-19 epidemiological dynamics. *Math Model Nat Phenom.* 2022;17.
3. Chiogna G, Marcolini G, Engel M, Wohlmuth B. Sensitivity analysis in the wavelet domain: a comparison study. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment.* 2024 Apr 1;38(4):1669–84.
4. Tarantola S, Ferretti F, Lo Piano S, Kozlova M, Lachi A, Rosati R, et al. An annotated timeline of sensitivity analysis. *Environmental Modelling and Software.* 2024 Mar 1;174.
5. Saltelli A, Tarantola S, Campolongo F, Ratto M. *Sensitivity Analysis in Practice : A Guide to Assessing Scientific Models.* Wiley J, editor. Italy: Hohn Wilwy & Sons Ltd.; 2004. 1–232 p.
6. Zhang Z, Gul R, Zeb A. Global sensitivity analysis of COVID-19 mathematical model. *Alexandria Engineering Journal.* 2021 Feb 1;60(1):565–72.
7. Li J, Cheng Z. Global Sensitivity Analysis of Binary Response Model Based on Shapley Value. In: *Proceedings - 2024 10th International Symposium on System Security, Safety, and Reliability, ISSSR 2024.* Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2024. p. 303–9.



8. Liu D, Li L, Rostami-Hodjegan A, Bois FY, Jamei M. Considerations and Caveats when Applying Global Sensitivity Analysis Methods to Physiologically Based Pharmacokinetic Models. *AAPS Journal*. 2020 Sep 1;22(5).
9. Tajuddeen I, Rodrigues E. A Morris sensitivity analysis of an office building's thermal design parameters under climate change in sub-Saharan Africa. *Build Environ*. 2024 Aug 15;262.
10. Puy A, Saltelli A, Piano S Lo, Levin SA. sensobol: An R Package to Compute Variance-Based Sensitivity Indices. *J Stat Softw*. 2022;102(5).
11. Herman J, Usher W. SALib: An open-source Python library for Sensitivity Analysis. *The Journal of Open Source Software*. 2022 Mar;2.
12. Tosin M, Cortes A, Cunha Americo. A Tutorial on Sobol' Global Sensitivity Analysis Applied to Biological Models. HAL open science [Internet]. 2020 Oct 14;10. Available from: <https://hal.science/hal-02967410v1>
13. Saloni Dattani. How are causes of death registered around the world. *Our World in Data*. 2023;
14. Saltelli Andrea, Ratto Marco, Andres Terry, Campolongo Francesca, Cariboni Jessica, Gatelli Debora, et al. *Global Sensitivity Analysis. The Primer*. England; 2008.
15. Lovric M. *International Encyclopedia of Statistical Science*. 1st edition. Lovric M, editor. Springer Berlin, Heidelberg; 2011. CLXXI, 1671.
16. Sysoev A. Sensitivity Analysis of Mathematical Models. *Computation*. 2023 Aug 1;11(8).
17. Saltelli A, Aleksankina K, Becker W, Fennell P, Ferretti F, Holst N, et al. Why so many published sensitivity analyses are false: A systematic review of sensitivity analysis practices. *Environmental Modelling and Software*. 2019 Apr 1;114:29–39.
18. Chen L, Xu Z, Huang D, Chen Z. An Improved Sobol Sensitivity Analysis Method. In: *Journal of Physics: Conference Series*. Institute of Physics; 2024.
19. Shonkwiler RW, Mendivil F. *Explorations in Monte Carlo Methods* [Internet]. New York, NY: Springer New York; 2009. (Undergraduate Texts in Mathematics). Available from: <https://link.springer.com/10.1007/978-0-387-87837-9>
20. Tuffin B, L'ecuyer Editors P. *Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo Methods* [Internet]. Tuffin B, L'ecuyer Editors P, editors. Vol. 324. 2018. Available from: <http://www.springer.com/series/10533>
21. 'Carmona A "Cabrer", 'Muñoz, C. University of Florida. 2024. Notebook 3: Monte Carlo Filtering (MCF): Design of interventions.



22. Dai H, Liu Y, Guadagnini A, Yuan S, Yang J, Ye M. Comparative Assessment of Two Global Sensitivity Approaches Considering Model and Parameter Uncertainty. *Water Resour Res.* 2024 Feb 1;60(2).
23. Pianosi F, Sarrazin F, Wagener T. A Matlab toolbox for Global Sensitivity Analysis. *Environmental Modelling and Software.* 2015 Aug 1;70:80–5.
24. Lamboni MM and MHH and MD. Multivariate sensitivity analysis to measure global contribution of input factors in dynamic models. *Reliab Eng Syst Saf.* 2011;96:450–9.
25. Savatorova V. Exploring Parameter Sensitivity Analysis in Mathematical Modeling with Ordinary Differential Equations [Internet]. Vol. 16, CODEE Journal. 2023. Available from: <https://scholarship.claremont.edu/codee> Available at: <https://scholarship.claremont.edu/codee/vol16/iss1/4>
26. de Rocquigny EDNTS. *Uncertainty in Industrial Practice: A Guide to Quantitative Uncertainty Management.* Chichester, UK: Wiley; 2008. 1–432 p.



# QUIMIOLUMINISCENCIA PARA DETERMINAR LA PRESENCIA ORIENTATIVA DE MANCHAS DE FLUIDOS: UNA REVISIÓN NARRATIVA

## CHEMILUMINESCENCE TO DETERMINE THE ORIENTATIONAL PRESENCE OF FLUID STAINS: A NARRATIVE REVIEW

Lady Fernanda Arias Garófalo<sup>1</sup>, Francisco Javier Ustáriz Fajardo<sup>2</sup>

{lady.arias@unach.edu.ec<sup>1</sup>, francisco.ustariz@unach.edu.ec<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 01/05/2025 / Fecha de aceptación: 21/05/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** La quimioluminiscencia se ha establecido como una técnica analítica de alta sensibilidad, basada en la emisión de luz visible generada por reacciones químicas catalizadas. Su aplicación ha revolucionado múltiples campos, desde el médico, alimenticio hasta el ambiental. En la investigación forense, esta técnica se destaca por detectar trazas de analitos de fluidos biológicos y analizar su presencia en escenas del crimen, ofreciendo resultados rápidos, económicos con eficiencia y calidad, consolidándola como una herramienta esencial en la labor investigativa forense. Razones por las cuales, resulta importante recopilar información sobre los avances y las aplicaciones de la quimioluminiscencia para determinar la presencia orientativa de manchas de fluidos en la investigación forense. La investigación es de diseño documental con alcance exploratorio descriptivo y retrospectivo, a partir de artículos científicos relacionados con las aplicaciones y avances de las pruebas de quimioluminiscencia para determinar la presencia orientativa de manchas de fluidos en la investigación forense. La investigación permitió la identificación de las técnicas quimioluminiscentes y su destacado aporte en el análisis orientativo efectivo de fluidos en el campo de la investigación forense. Por tanto, La quimioluminiscencia ofrece alta sensibilidad y bajo costo en la detección in situ de fluidos biológicos mediante la emisión de luz catalizada, siendo fundamental en el rastreo forense. Reactivos como Luminol y Bluestar revelan evidencias invisibles al ojo humano, aunque pueden producir falsos positivos y requerir confirmación con métodos adicionales.

**Palabras clave:** quimioluminiscencia, luminol, bluestar, hematología forense, fluidos biológicos, sangre

**ABSTRACT:** Chemiluminescence has established itself as a highly sensitive analytical technique based on the emission of visible light generated by catalyzed chemical reactions. Its application has revolutionized multiple fields, from medical, food to environmental. In forensic investigation, this technique stands out for detecting traces of analytes from biological fluids and analyzing their presence at crime scenes, offering fast, economical results with efficiency and quality, consolidating it as an essential tool in forensic

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0009-0004-7560-7445>.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0002-6423-9067>.



**investigative work. For these reasons, it is important to gather information on the advances and applications of chemiluminescence to determine the indicative presence of fluid stains in forensic investigation. Reasons why it is important to gather information on the advances and applications of chemiluminescence to determine the orientative presence of fluid stains in forensic investigation. The research is of documentary design with a descriptive and retrospective exploratory scope, based on scientific articles related to the applications and advances of chemiluminescence tests to determine the orientative presence of fluid stains in forensic investigation. The research allowed the identification of chemiluminescent techniques and their outstanding contribution in the effective orientative analysis of fluids in the field of forensic investigation. Therefore, chemiluminescence offers high sensitivity and low cost in the in situ detection of biological fluids through the emission of catalyzed light, being fundamental in forensic tracing. Reagents such as Luminol and Bluestar reveal evidence invisible to the human eye, although they may produce false positives and require confirmation by additional methods.**

***Keywords: chemiluminescence; Luminol; Bluestar; forensic hematology; biological fluids; blood***

## INTRODUCCIÓN

La luminiscencia consiste en la emisión de fotones que se producen cuando los electrones de una molécula o átomo, previamente excitados, cuando recobran al estado fundamental. Este fenómeno se debe a que, al recibir energía externa, independientemente del tipo, los electrones adquieren energía y pasan a un estado excitado, lo que conlleva un cambio de orbital. La molécula o el átomo busca su estado más estable, por lo que el electrón vuelve al estado fundamental emitiendo luz (1). Este fenómeno, ha sido estudiado ampliamente en los últimos años, lo que ha permitido observar un aumento en el número de nuevas luciferasas, luciferinas y herramientas relacionadas disponibles para la obtención de imágenes de bioluminiscencia (2). Muchas se desarrollaron utilizando métodos clásicos de diseño e ingeniería de sondas ópticas. Los avances recientes más destacados en el descubrimiento y desarrollo de herramientas bioluminiscentes, incluyen aplicaciones en células, tejidos y organismos. Estas herramientas están mejorando las capacidades de obtención de imágenes in vivo e impulsando nuevas líneas de investigación (2). Las sondas bioluminiscentes y quimioluminiscentes se utilizan ampliamente en aplicaciones de imagenología no invasiva debido a su alta sensibilidad y la simplicidad del equipo necesario para realizar la medición 3). En la actualidad, se disponen de sondas sintéticas análogas a la luciferina con un rendimiento de imagenología in vivo superior al obtenido con la luciferina. Además, las sondas bioluminogénicas basadas en luciferina enjaulada se han convertido en una herramienta general para la visualización de diferentes enzimas y analitos in vivo (3).

El fenómeno inicia en el instante en que un agente activador aporta energía y esta es absorbida por la molécula o átomo, lo que produce una transición electrónica desde el estado fundamental ( $S_0$ ) a un estado excitado ( $S_1$ ), para luego sufrir una conversión interna rápida



hacia el estado excitado más bajo ( $S_1$ ). Por tanto, en función del orbital al que acceda el electrón, se dan estados excitados diferentes.

En la fluorescencia, el electrón pasará desde el estado  $S_1$  al  $S_0$  para disipar la energía, emitiendo un fotón con una longitud de onda más larga y energía más corta (4). En este proceso, la absorción de la energía se produce a la vez que la emisión de la luz. El tiempo de duración de la fluorescencia es de  $10^{-8}$  segundos. Desde un punto de vista físico, para que la luminiscencia tenga lugar es necesario que el sólido en cuestión (molécula o átomo) haya absorbido energía (que no necesariamente ha de ser energía de radiación) y que puede ser de varios tipos (4) como se observa en la (Tabla1).

**Tabla 1. Tipos de fluorescencia producidos por moléculas o átomos según origen de la energía absorbida**

<i>Tipo de fluorescencia</i>	<i>Origen de la energía de activación</i>
<i>Fotoluminiscencia</i>	<i>Electromagnético</i>
<i>Electroluminiscencia</i>	<i>Corrientes eléctrica.</i>
<i>Catodoluminiscencia</i>	<i>Haz de electrones acelerados</i>
<i>Luminiscencia ópticamente estimulada</i>	<i>Luz visible o infrarroja.</i>
<i>Radioluminiscencia</i>	<i>Irradiación con rayos <math>\alpha</math>, <math>\beta</math> o <math>\gamma</math>.</i>
<i>Triboluminiscencia</i>	<i>Energía mecánica</i>
<i>Sonoluminiscencia</i>	<i>Ondas sonoras</i>
<i>Termoluminiscencia</i>	<i>Temperatura inferior a la de incandescencia</i>
<i>Ionoluminiscencia</i>	<i>Impacto de iones en el material</i>
<i>Quimiluminiscencia</i>	<i>Reacciones químicas</i>

**Nota.** Basado en (1).

La quimioluminiscencia consiste en la emisión de luz visible resultante de reacciones químicas, donde los reactivos, son oxidados por agentes químicos que producen fotones de luz. Sin embargo, esta oxidación no es espontánea pues requiere de la participación de un catalizador(5). A partir de finales de los años setenta la quimioluminiscencia se ha desarrollado como técnica analítica con innumerables ventajas, ya que es, una técnica de alta sensibilidad de detección. Su aplicabilidad abarca el campo de la química y la biología, y los métodos derivados son consideradas potentes herramientas para la detección in vitro e in vivo de una amplia gama de analitos (6).



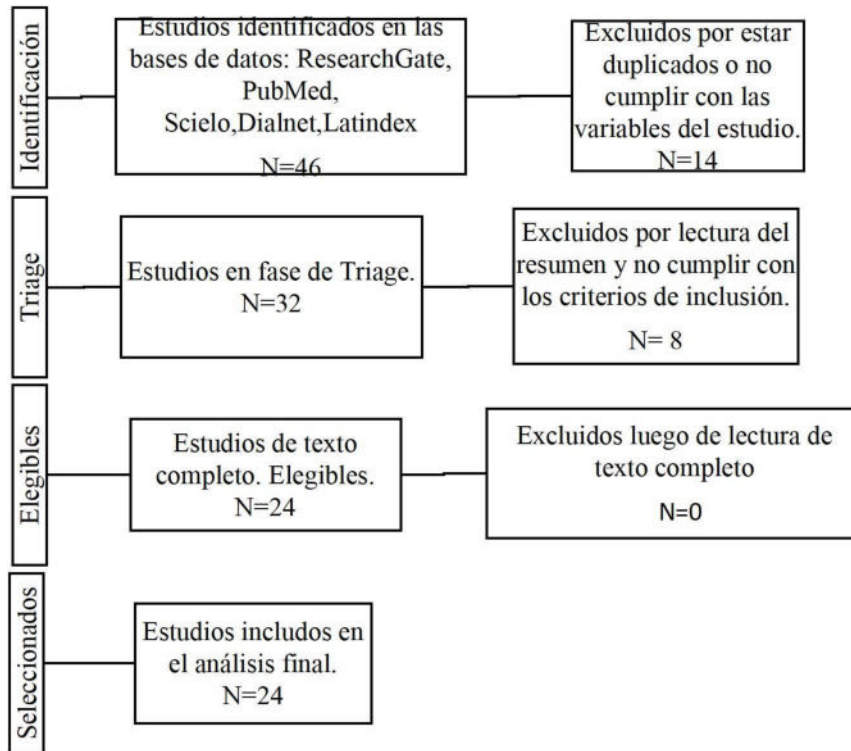
En las últimas décadas se han desarrollado sistemas automatizados para realizar diferentes determinaciones analíticas; con lo cual, básicamente se pretende abaratar costos, con eficiencia y calidad de resultados (7). La quimioluminiscencia y los tipos de pruebas basadas en este principio resultan cruciales para procesos que engloban diagnósticos médicos, control de calidad de alimentos y aguas de consumo, control de contaminación ambiental o técnicas de investigación forense (8). Con base en los antes mencionado, este estudio de revisión bibliográfica tiene como objetivo establecer las aplicaciones de la quimioluminiscencia para determinar la presencia orientativa de manchas de fluidos en la investigación forense.

## METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación es tipo documental, retrospectivo y descriptivo, fundamentado metodológicamente en la búsqueda de literatura en cinco (05) bases de datos en línea: ResearchGate, PubMed, Scielo, Dialnet, Latindex según los ítems propuestos por *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (9), que incluyen la identificación, selección e inclusión de la literatura consultada con la finalidad de obtener datos científicos relevantes sobre aplicaciones de la quimioluminiscencia para determinar la presencia orientativa de manchas de fluidos.

En el estudio se incluyó artículos y material en español, inglés y portugués del periodo comprendido entre 2015-2025 seleccionados mediante términos de búsqueda o descriptores; sin embargo, se incluyeron artículos y material bibliográfico de años previos por su aporte teórico fundamental para el desarrollo de la temática en estudio. Los descriptores utilizados fueron: luminiscencia, quimioluminiscencia, investigación forense, quimioluminiscencia y investigación forense, aplicación de la quimioluminiscencia en investigación forense, compuestos químicos luminiscentes en investigación forense, compuestos químicos quimioluminiscentes en investigación forense, quimioluminiscencia en la determinación de manchas de fluidos en investigación forense, quimioluminiscencia en la determinación de sangre en investigación forense.

Los artículos se seleccionaron teniendo bajo los siguientes criterios de inclusión: estudios sobre la aplicación de técnicas de quimioluminiscencia para determinar la presencia orientativa de manchas de fluidos de diversa naturaleza. En la revisión se identificaron un total de 46 artículos científicos los cuales se evaluaron por a través de la lectura de los títulos y resúmenes. Luego se procedió a descartar los artículos duplicados o que no cumplieran con los requerimientos establecidos. Se seleccionaron 32 artículos los cuales fueron sometidos a revisión de texto completo. Basados en los criterios de inclusión y exclusión, se incluyeron finalmente los 24 artículos científicos. Los resultados la revisión, análisis y síntesis se exponen en diferentes secciones que incluyen: los avances y las aplicaciones de la quimioluminiscencia para determinar la presencia orientativa de manchas de fluidos en la investigación forense.



**Figura 1.** Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección

*Fuente:* (9).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Quimioluminiscencia

Aun cuando, se han publicado muchos reportes sobre la historia de la medicina legal o forense no hay muchas evidencias sobre la evolución del análisis de fluidos biológicos, especialmente la sangre en un contexto forense y médico legal. Los primeros reportes que se tienen sobre el análisis de sangre se remontan a 1250 A.C. en el libro Hsi Yuan Lu o “Tratado para los forenses”, el cual fue compilado en China. En este documento se menciona la posibilidad de detectar una mancha de sangre vieja depositada sobre un cuchillo al calentar la mancha y tratarla con vinagre, observándose una mancha marrón como resultado de la formación de cristales de hematina por la reacción de la hemoglobina presente en la sangre con el ácido acético del vinagre. Aunque estos métodos no se considerarían confiables bajo los estándares actuales, constituyen los primeros antecedentes de pruebas para el estudio de fluidos biológicos, especialmente la sangre, y están basados en los mismos fenómenos que se emplean en la actualidad en algunas pruebas presuntivas o confirmatorias de sangre (10).

La quimioluminiscencia como método de lectura que se basa en el principio de emisión luminosa a través de una reacción (Enzima-Sustrato). Los laboratorios de investigación que han desarrollado los ensayos de quimioluminiscencia han permitido demostrar la excelente



evaluación con los ensayos de referencia, como el radioinmunoanálisis, destacándose la precisión, baja reactividad cruzada, gran sensibilidad analítica incluso con diez veces más sensibilidad que la mayoría de los ensayos disponibles (7).

Por otra parte, los ensayos de quimioluminiscencia, además de gran especificidad también se caracteriza por su sensibilidad; ya que, se puede determinar una reacción antígeno-anticuerpo del orden de los picogramos y con un mínimo de desnaturalización. Recientemente, se han desarrollado sistemas automatizados para realizar diferentes determinaciones analíticas; con lo cual, básicamente se pretende abaratar costos, con eficiencia y calidad de resultados. Igualmente, el uso de Inmunoensayos basados en la emisión de luz asociada con la energía (Quimioluminiscencia), es una tecnología con importantes ventajas, donde su ejecución no requiere del marcaje con isótopos radioactivos (7).

La perspectiva es disponer de tecnología de vanguardia, que utiliza determinaciones inmunológicas más sencillas, con la ecuanimidad en la determinación y que admite realizar diferentes determinaciones en casi todas las áreas del Laboratorio Clínico tales como: Endocrinología, Inmunología, Virología, Epidemiología, Hematología, Bioquímica Clínica, etc., (7).

Igualmente, se han el desarrollo de sistemas de quimioluminiscencia y equipos analíticos avanzados con alta resolución como tubo fotomultiplicador y dispositivo de carga acoplada (CCD), tecnología de imágenes de quimioluminiscencia se ha vuelto atractiva en aplicaciones *in vitro* e *in vivo*. La alta sensibilidad y alta resolución de estos dispositivos hace que la aplicación de imágenes de quimioluminiscencia sea más amplia. Es fácil medir señales de fotones en microarreglos para lograr análisis simultáneos de sustancias multicomponentes, en el que las cantidades de las muestras se reducen considerablemente (6).

Hasta ahora, la tecnología de imágenes de quimioluminiscencia se ha aplicado para detectar una amplia gama de analitos en el campo del análisis bioquímico, incluyendo ácidos nucleicos, proteínas, enzimas, pequeñas moléculas biológicas e incluso células (6). Recientemente, se han llevado al desarrollo de sondas quimioluminiscentes de alta eficiencia y gran luminosidad en condiciones fisiológicas. La quimioluminiscencia está a punto de alcanzar su potencial como una valiosa herramienta para la imagenología en sistemas vivos (3). Las reacciones químicas que emiten luz (quimioluminiscencia) y las reacciones biológicas tienen un diverso rango de aplicaciones, pero muchas no han sido adoptadas para la rutina de los laboratorios clínicos (7).

Las ventajas de la quimioluminiscencia en los ensayos incluyen a parte de excelente sensibilidad (límites de detección de moles, nanogramos, picogramos), velocidad (señal generada en unos pocos segundos y en algunos casos estable por varias horas), sin residuos peligrosos, y procedimientos simples. En estos casos, la mayoría de las aplicaciones son en inmunoensayos, marcaje de proteínas, ensayos en moléculas de ADN. Las moléculas quimioluminiscentes investigadas marcadas incluyen el luminol, isoluminol, ésteres de acridina, tioésteres y sulfamidas, y ésteres de fenantreno (7).



## Quimioluminiscencia en Hematología Forense

Entre los indicios biológicos que pueden hallarse se encuentran distintos fluidos corporales como la sangre, el semen, la saliva, la orina y el vómito, además de restos óseos como huesos, dientes, osamentas, así como otros materiales biológicos, incluyendo tejidos y órganos. La disciplina de la Ciencia Forense que se ocupa del análisis de estos fluidos y componentes biológicos es la Hematología y la Serología Forense. Esta área permite abordar interrogantes como: ¿Se trata de un fluido biológico de interés forense?; ¿Es de origen humano?; ¿Cómo se depositó el fluido en el lugar de investigación o escena del crimen?; todas ellas esenciales para decidir si deben aplicarse métodos más avanzados dirigidos a resolver la pregunta fundamental: ¿A quién pertenece dicho fluido biológico? Cada uno de estos cuestionamientos puede resolverse mediante diferentes pruebas y análisis, como las pruebas presuntivas, que permiten estimar la probabilidad de que una muestra corresponda a un fluido biológico de interés forense, y las pruebas confirmatorias, que verifican dicha correspondencia (10).

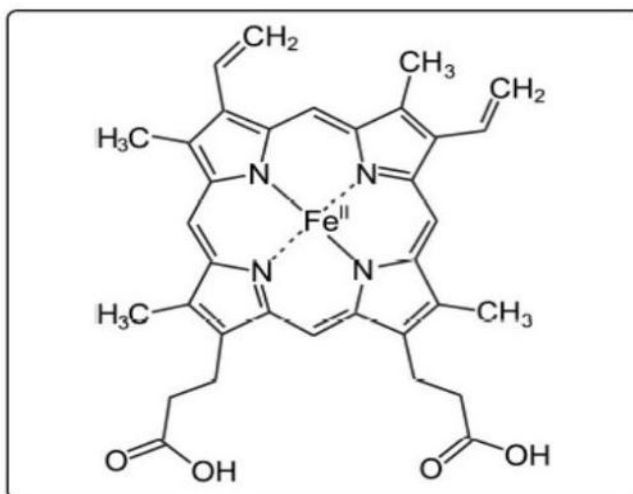
La hematología forense se considera como aquella aplicación de los conocimientos hematológicos, biológicos, médicos y criminalísticos al campo forense, fundamentado en el estudio de la morfología, serología y bioquímica de la sangre; así como sus requisitos legales en la colecta, preservación y análisis de las evidencias. Por lo cual, dentro del contexto forense sus dos grandes líneas de investigación son: 1) aspecto rector según la morfología de las manchas de naturaleza hemática y 2) aspecto identificador en el terreno policial, penal y civil; en este último campo con el apoyo de la genética resuelve problemas principalmente en los casos de identificación humana, filiación y paternidad (11).

La hematología de reconstrucción consiste en el estudio de las manchas hemáticas, permiten deducir la dinámica o violencia que haya presidido a su formación o depósito. Es decir, si las manchas se formaron por mecanismos de proyección, escurrimiento, contacto, impregnación o limpieza. Por ejemplo, una mancha alargada significa que la sangre cayó en ángulo, indicando mediante su cola la dirección de formación (ascendente, descendente, de izquierda a derecha o viceversas). El estudio se puede realizar en el sitio del suceso, en la morgue sobre el cuerpo humano sin vida o en el laboratorio criminalístico. Como resultado, se establecen como se han producido los hechos: posible arma empleada, ubicación de la víctima y victimario, movimientos realizados, volumen, patrones y morfologías, número y vínculo de las manchas con un sitio del suceso, entre otros aspectos de interés criminalísticos (11).

Por otra parte, la hematología de identificación, se lleva a cabo en el laboratorio biológico para el análisis mediante procedimientos metodológicos efectivos de la inmunología, bioquímica y física, determinando la naturaleza de la mancha (humana o animal), a través de, métodos de orientación y certeza (10). En las ciencias forenses, el análisis de patrones de manchas de sangre puede contribuir de múltiples maneras al esclarecimiento de estos casos. Igualmente, a través de la hematología forense, se puede detectar el sistema de clasificación (ABO / Rh), realizar el análisis genético, para la obtención de un perfil de ADN de los sospechosos y las víctimas, además de, descifrar el sitio de origen, dónde se ha cometido el crimen, la cantidad de fuerza requerida en las punciones y el número de los mismos (12).

La sangre es un componente del tejido conjuntivo y desempeña diversas funciones esenciales para la supervivencia, como el intercambio de gases, la protección frente a agentes infecciosos y la distribución de nutrientes en el organismo. Está compuesta por una fase líquida, conocida como plasma, y una fracción sólida integrada por los elementos formes: glóbulos rojos o eritrocitos, glóbulos blancos y plaquetas o trombocitos. Dentro del ámbito forense, una de las moléculas más significativas para la identificación de sangre es el grupo hemo (figura 1), que constituye el grupo prostético de la proteína hemoglobina, encargada del transporte de oxígeno y dióxido de carbono (10).

Estructuralmente, el grupo hemo está compuesto por un átomo de hierro y un anillo orgánico heterocíclico de gran tamaño denominado porfirina, es decir un tetrapirrol cíclico en el que los 4 anillos de pirrol están unidos por enlaces metileno (=CH-) y en el centro de este anillo se encuentra el átomo de hierro (II), (13).



**Figura 2.** Estructura del grupo hemo, se puede observar cuatro anillos pirrólicos y átomo de hierro ferroso al centro

**Fuente:** (13).

## Quimioluminiscencia – Hematología forense de identificación

### **Pruebas de orientación**

El examen de los indicios recolectados constituye el fundamento de la investigación forense, ya que puede permitir la identificación del presunto autor del delito, proporcionar elementos probatorios sobre la ocurrencia del hecho y facilitar la reconstrucción de los acontecimientos. Todo ello con el objetivo de emplear el indicio como medio de prueba en audiencia, y así alcanzar una conclusión objetiva y verificable respecto a los hechos que son objeto de imputación (10).

Las pruebas de orientación o presuntivas permiten obtener una guía, que encamina la investigación en un mismo sentido, ya que solo presume y orienta la existencia probable de un elemento o una sustancia. Aunque cuando, estas pruebas pueden llegar a ser muy sensibles,

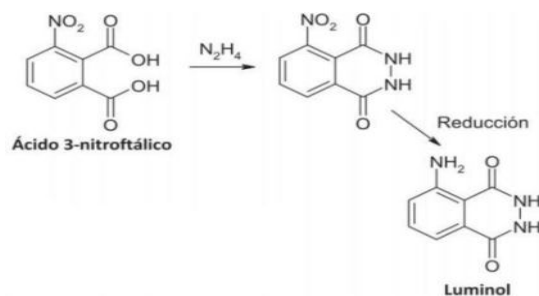


son poco específicas. En ocasiones, las muestras pueden estar muy diluidas, pero, aun así, a partir de ellas se pueden obtener resultados positivos, ya que, permiten su utilización en análisis posteriores (11). Sin embargo, son pocas específicas porque además de la sangre hay otras sustancias capaces de reaccionar con estos reactivos, dando como resultado un falso positivo. Es decir, aquel resultado teóricamente confirmatorio de un proceso o suceso obtenido tras la correcta aplicación de una técnica de laboratorio, pero erróneo debido a contaminantes, enmascaramiento o existencia de productos que despistan (11).

Las pruebas de orientación o presuntivas se dividen en dos categorías principales: pruebas luminosas (quimioluminiscentes y fluorescentes) y pruebas coloridas, según el modo en que se percibe o detecta el resultado positivo. Dentro de las coloridas se incluyen la prueba de Adler, que emplea Bencidina como indicador y agente donador de electrones, y la prueba de Kastle-Mayer, basada en el uso de fenolftaleína. Desde hace unas tres décadas, el fenómeno de la luminiscencia ha sido incorporado como una subdisciplina de la espectrometría aplicada en el campo de la química analítica. La quimioluminiscencia se define como la emisión de luz resultante de la liberación de energía por una sustancia que se encuentra en un estado electrónicamente excitado. La hemoglobina, en su forma oxigenada (oxihemoglobina), presenta bandas de absorción en el espectro visible (575 y 540 nm), asociadas a los compuestos porfirínicos, cercanas a la región del ultravioleta (UV), (10).

Para detectar vestigios de sangre, semen o saliva en estado líquido o seco, bien sea en el sitio, como en cadáveres, vestimentas, incluso en personas asociadas con el hecho que se investiga, los peritos realizan el rastreo de fluidos biológicos, con la técnica denominada búsqueda con luz forense. Esta técnica utiliza luz ultravioleta que permite detectar manchas fluorescentes y se fundamenta en que algunos fluidos biológicos, como el semen y la sangre poseen fluorescencia intrínseca. No obstante, la fluorescencia intrínseca depende de la antigüedad de la muestra, y de la concentración de la misma. Es por ello, que se emplean reactivos como el Luminol y el Bluestar<sup>®</sup>, que al oxidarse, exhiben quimioluminiscencia, por lo que, son utilizados en las pruebas luminosas (10).

La prueba de luminol es una de las técnicas bioquímicas forenses más utilizadas en la investigación forense para detectar trazas de sangre en una escena del crimen (14). El Luminol ( $C_8H_7N_3O_2$ ) es un derivado del ácido ftálico, sólido a temperatura ambiente, de color amarillo pálido, soluble en la mayoría de solventes orgánicos y ligeramente soluble en agua. Es una molécula sencilla sin centros asimétricos, que se prepara comercialmente a partir del ácido 3-nitroftálico mediante la condensación de este ácido con hidracina ( $N_2H_4$ ). La reducción del grupo nitro a la amina primaria correspondiente permite la síntesis del Luminol (figura 3), (15).

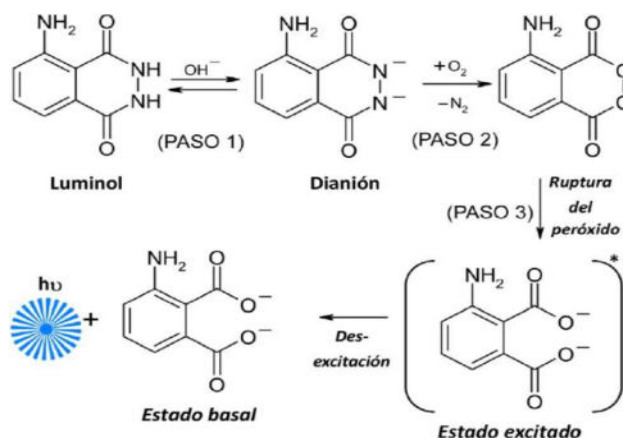


**Figura 2.** Síntesis de Luminol a partir del ácido 3-nitroftálico

**Fuente:** (15).

Inicialmente, el luminol no tenía uso en Medicina Forense, de hecho, la aplicación directa de este no produce la luminiscencia. Para que la luminiscencia ocurra, es necesario la excitación del Luminol y esto sucede cuando se prepara una solución acuosa del luminol junto con un agente oxidante, como el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), y un hidróxido que proporcione un medio básico. Cuando se encuentran presentes determinadas sustancias, la oxidación del luminol se produce de forma lenta a través de una serie de reacciones; sin embargo, este proceso se acelera significativamente en presencia de hierro (Fe). En este contexto, el hierro contenido en la sangre funciona como catalizador de la reacción (16).

Durante la oxidación, el luminol atraviesa un estado intermedio inestable con un nivel de energía superior al luminol no excitado, lo que da lugar a la emisión de quimioluminiscencia en forma de luz visible de tonalidad azul (17,18). En el caso específico de la sangre, el hierro presente en la molécula de hemoglobina acelera la reacción, lo que provoca que la emisión luminosa ocurra casi de manera instantánea al entrar en contacto con dicha sustancia (16).



**Figura 4.** Mecanismo propuesto para la quimioluminiscencia del luminol

**Fuente:** (15).



La aplicación del reactivo (luminol) en el área a examinar, no produce *per se* luminiscencia, para que esto ocurra es necesario oxidar al Luminol añadiendo durante la preparación del reactivo de trabajo un agente oxidante, específicamente agua oxigenada ( $H_2O_2$ ) en un medio básico. La actividad peroxidasa del grupo hemo de la hemoglobina cataliza la oxidación del Luminol concomitante a la reducción del  $H_2O_2$  a agua (10).

El Luminol presenta una serie de ventajas y desventajas ya que permite analizar pequeñas trazas de sangre, incluso si estas no son fáciles de visualizar. Si la sangre es seca y degradada, el Luminol reacciona frente a esta en forma más intensa y duradera que con la sangre fresca y se ha demostrado que puede extraerse ADN de muestras tratadas con Luminol sin interferencias. Finalmente, si la luminiscencia desaparece, puede volver a reproducirse añadiendo una nueva disolución de luminol-peróxido de hidrógeno (16).

El principal inconveniente del Luminol es su efecto destructivo sobre las muestras, especialmente cuando se aplica ácido clorhídrico al 2% para desnaturalizar la hemoglobina y mejorar la reacción, lo cual debe hacerse solo tras recoger otras evidencias. Requiere oscuridad total para su observación y puede generar falsos positivos ante la presencia de cobre, compuestos que lo contengan o blanqueadores como la lejía, provocando una luminiscencia uniforme que puede ocultar restos reales de sangre (10,16).

Otro falso positivo puede producirse por productos alimenticios derivados del rábano o por partículas de humos residuales (humo de tabaco). El Luminol puede detectar pequeñas cantidades de sangre encontradas en la orina, por lo que el resultado podría verse distorsionado. También reacciona con la materia fecal, causando el mismo brillo que produce la sangre. A pesar de que puede dar lugar a falsos positivos, es posible concluir que el Luminol tiene una gran importancia en el área criminalística, ya que es una de las herramientas principales para la resolución de casos en los que aparecen sangre, además de ser un método de fácil obtención y preparación (16).

Sin embargo, una de las principales ventajas de las pruebas presuntivas luminosas radica en la implementación de instrumentación básica y sencilla, esencialmente una lámpara luz en la región de ultravioleta. El procedimiento implica rociar el reactivo (Luminol o Bluestar®) sobre la superficie que se desea evaluar y posteriormente se enfoca la lámpara UV procurando que el espacio se encuentre en total oscuridad para poder apreciar la luminiscencia (10). No obstante, las ventajas y desventajas del Luminol como ensayo orientativo se realiza en el lugar del hecho, para identificar la presencia de manchas hemáticas; ya que solo se puede valorar un resultado negativo como fehaciente; no así, el resultado positivo (14).

En el año 2000, Loic Blum, Ph.D., descubrió una nueva fórmula a base de Luminol que posteriormente fue llamado Bluestar Forensic. La sensibilidad de Bluestar Forensic, según su es de hasta 1:10,000; pero según estudios en diferentes soportes inertes realizados por la misma empresa demuestra una sensibilidad es de hasta 1: 1,000,000. No es toxico, gracias a la ausencia del perborato de sodio. Bluestar tiene una luminiscencia más fuerte y duradera que no requiere oscuridad absoluta para ser visible y con un pH reacción de 11,5 no altera el ADN y permite análisis subsecuentes de ADN y serología forense de rutina (19).



La reacción de quimioluminiscencia Bluestar ocurre cuando la urea (base nitrogenada) y una sustancia fuertemente alcalina como el peróxido de hidrogeno, en presencia de agentes oxido reductores como el hierro de la sangre, peroxidasa y/o catalasas, hacen que se libere oxígeno del álcali más agua libera el nitrógeno de la urea, por ser estos muy inestables ( $N_2$ ) formando fotones que se puede observar en la oscuridad mediante la emisión de luz azul brillante. Cuando no existe agentes oxido reductores en esta reacción, no se produce la emisión de luz azul brillante. En otras palabras, una mezcla de Bluestar Forensic + un agente oxidante + un medio alcalino en contacto con los agentes oxido reductores, peroxidasa y/o catalasas emiten luz azul brillante (20).

Sin embargo, en el estudio realizado para la determinación del efecto del sustrato sobre las pruebas de orientación (Bluestar Forensic y Luminol) en la detección de restos hemáticos, en el Laboratorio de Biología Forense del Departamento De Criminalística (DEPCRI); utilizando como muestra sangre humana diluida con agua desionizada estéril en concentraciones de (1/500, 1/10.000, 1/25.000, 1/1.000 000, 1/500 000), la muestra se colocó en soportes de madera barnizada, monedas de latón, monedas de alpaca, vidrio, loza cerámica y telas naturales de algodón para conocer su reacción y su comportamiento en los diferentes sustratos (20).

Los resultados obtenidos en este estudio, referentes a la sensibilidad y especificidad, muestran datos estadísticos basados en tablas de contingencia como herramienta de análisis, estos resultados se tabularon en las casillas: (a) positivos, (b) Falsos positivos, (c) Falsos negativos y (d) negativos, datos con los cuales se calculó la sensibilidad, especificidad e índice de Kappa para las dos pruebas; además, del tiempo de duración de la quimioluminiscencia producida desde el momento de agregado los reactivos hasta la finalización de la misma (21).

La evaluación de la intensidad se categorizo en; 4+ (alta), 3+ (mediano), 2+ (baja), 1+ (muy baja) y - (negativo) según fueron observadas. Con base a los resultados obtenidos se pudo concluir que las técnicas de Bluestar Forensic y Luminol poseen diferencias altamente significativas influenciadas por el tipo de sustrato y concentración de la muestra, que interfieren con la intensidad, sensibilidad, especificidad, así como también, el tiempo de luminiscencia, siendo el Luminol la prueba de orientación más sensible y con una luminiscencia más prolongada que el Bluestar (21).

Por otra parte, en el estudio realizado por Sarrini (2020), se plantea una interrogante clave: ¿un resultado negativo en la prueba con Luminol puede considerarse verdaderamente concluyente? Esta cuestión pone en duda la fiabilidad absoluta de la técnica, sugiriendo la necesidad de una interpretación cuidadosa de los resultados obtenidos. Por lo cual, se procedió a estudiar si existe algún tipo de pintura que pueda ocultar la presencia de sangre de la reacción del Luminol, independientemente de si la muestra ha sido o no limpiada. Para ello, se procedió a tomar muestras de sangre y aplicarlas en una pared blanca. Se dividió la superficie en dos columnas identificadas como A y B, y filas 1, 2, 3 y 4, reservando la fila 5 como muestra testigo. A continuación, se procedió a limpiar la columna A y dejar las muestras de la columna B con sus manchas de sangre tipo proyección.



Por último, se aplicaron 4 (cuatro) tipos de pinturas diferentes en cada fila. Luego de un tiempo de espera para el secado de la pintura, se realiza la prueba de luminol. Los resultados obtenidos, permitieron afirmar la hipótesis de investigación planteada Sarrini (2020); es decir, hay pinturas que pueden alterar el resultado de la prueba del Luminol; produciendo un falso negativo (20).

Las características físicas y los resultados de diferentes técnicas aplicadas para identificar manchas de sangre no autorizan responder con certeza si una mancha está constituida por sangre, ya que las reacciones químicas son reacciones de posibilidad, probabilidad u orientación; por esta razón se deben complementar los resultados con técnicas cristalográficas cuyas especificidades complementan la sensibilidad de pruebas de orientación obteniéndose resultados de mayor confiabilidad. Ejemplos: La prueba Confirmativa de Takayama es una técnica de cristalización basada en la existencia de cierto derivado de la hemoglobina que tiene la tendencia de cristalizar en hemocromógeno (21).

El reactivo de cristalización se compone de una base nitrogenada, generalmente la piridina, de un agente hematinizante, el hidróxido de sodio y un agente reductor la glucosa que, al colocarse en contacto con la mancha de sangre a analizar, presenta en el microscopio cristales de forma arborescente como las hojas de un pino de color naranja. La decisión final sobre el resultado de esta prueba se debe hacer por comparación de la sustancia desconocida con una sustancia de referencia o control bajo las mismas condiciones de temperatura, humedad y ambiente (21).

El análisis de identificación de sangre en manchas secas utilizando el método cristalográfico de Teichmann como soporte a las pruebas colorimétricas de orientación en la labor pericial de los laboratorios de Biología Forenses del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses; debido a su sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo, valor predictivo negativo, límite de detección, índice de concordancia e índice de Kappa según las distintas condiciones de temperatura, soporte y medio en el cual se encuentren(22).

Determinación del grupo sanguíneo A, B, AB, O, y su factor Rh (+ o -) certeza que es de origen hemático, perteneciente a la especie humana [10]. Finalmente, la Genética Forense es el área del conocimiento que se ocupa de la utilización del conocimiento científico, técnicas de genética y biología molecular, para coadyuvar a la justicia en la resolución de casos entre civiles y delitos contra las personas. Actualmente, la identificación humana a través del ADN forense es aceptada en procesos legales alrededor del mundo, permitiendo localizar personas, vivas o muertas, a partir de diversas muestras biológicas colectadas para investigaciones de laboratorio (23,24).

## CONCLUSIONES

El análisis de indicios es esencial en la investigación forense, ya que permite establecer la verdad de los hechos y la responsabilidad penal mediante evidencias objetivas. En este ámbito, la quimioluminiscencia se consolida como una herramienta altamente eficaz para la presencia orientativa de manchas de fluidos por su sensibilidad, bajo costo y facilidad de uso en el lugar del crimen. Su aplicación, especialmente a través de reactivos como el Luminol y Bluestar®, ha



revolucionado la detección de fluidos biológicos, como la sangre, incluso en condiciones desfavorables.

Aunque, la quimioluminiscencia presenta limitaciones como la posibilidad de falsos positivos y la alteración de muestras, su integración con métodos confirmatorios asegura la fiabilidad del proceso investigativo. Así, que esta técnica fortalece tanto la reconstrucción de los hechos como la preservación de la cadena de custodia, consolidándose como un recurso técnico y científico de gran valor en la criminalística moderna.

### **Declaración de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en relación con el presente artículo.

### **Contribuciones de los autores**

Los autores contribuyeron mancomunadamente en cada una de las fases del proceso de elaboración del presente artículo.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Correcher V, García-Guinea J. Técnicas Luminiscentes. En: María Isabel Rucandio Sáez, Virgilio Correcher, Editores. Curso: Análisis químico mediante técnicas espectroscópicas moleculares. Madrid: Editorial: EDITORIAL CIEMAT; 2015.5-34.  
[https://www.researchgate.net/publication/284837661\\_Tecnicas\\_Luminiscentes#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/284837661_Tecnicas_Luminiscentes#fullTextFileContent)
2. Yao Z, Zhang BS, Prescher JA. Advances in bioluminescence imaging: new probes from old recipes. *Curr Opin Chem Biol.* 2018 Aug;45: 148-156. DOI:10.1016/j.cbpa.2018.05.009.
3. Hananya N, Shabat D. A Glowing Trajectory between Bio- and Chemiluminescence: From Luciferin-Based Probes to Triggerable Dioxetanes. *Angew Chem Int Ed Engl.* 2017 Dec 22;56(52):16454-16463. doi: 10.1002/anie.201706969.
4. Feng G, Zhang GQ, Ding D. Design of superior phototheranostic agents guided by Jablonski diagrams. *Chem Soc Rev.* 2020; 49(22): 8179-8234. DOI:10.1039/D0CS00671H
5. Analuisa K, Arregui- Almeida D, Guzmán-Cárdenas K, Parra D. Quimioluminiscencia: ¿la sangre humana como catalizador?. *infoANALÍTICA.* 2021;9(1):190-19. [https://www.researchgate.net/publication/349607521\\_quimioluminiscencia\\_la\\_sangre\\_humana\\_como\\_catalizador/citations#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/349607521_quimioluminiscencia_la_sangre_humana_como_catalizador/citations#fullTextFileContent)
6. Yan Y, Shi P, Song W, Bi S. Chemiluminescence and Bioluminescence Imaging for Biosensing and Therapy: In Vitro and In Vivo Perspectives. *Theranostics.* 2019; 9(14): 4047- 4065. DOI: 10.7150/thno.33228.



7. García Rodríguez C, Martínez Maldonado I. Ventajas del método de quimioluminiscencia frente al de radioinmunoanálisis (RIA). *Vis scienti*. [online]. 2009;1(2):60-68. [http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2222-43612009000100010&lng=en&nrm=iso](http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2222-43612009000100010&lng=en&nrm=iso)
8. Márquez Noriego B, Hernanz Vila María, Jara Palacios, MJ. Aplicaciones de la quimioluminiscencia [Grado en Óptica y Optometría] Sevilla: Universidad de Sevilla;2022. <https://hdl.handle.net/11441/143481>
9. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Moher D. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic reviews*. 2021[Citado 2024 octubre 22]; 10(1): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
10. Figueroa Martínez F, Martínez Romero V, Villavicencio Queijeiro A. Pruebas presuntivas y confirmatorias de sangre: enseñanza de la química en la hematología forense. *Educación Química*. 2022; 33 (Número especial Ciencias forenses): 85-95. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.4.8353791>
11. Nuñez, J. Aporte de La Hematología Al Campo Forense: Pruebas de Orientación y Certeza. *Rev. Skopein* 2016, 4 (13), 32–40. <https://skopein.org/ojs/index.php/1/article/view/88>
12. Sniegovski, M.; Bortolato, J.; Formolo, F. Manchas de Sangre: El Análisis de Su Patrón En La Escena Del Crimen. *Rev. Skopein* 2016, 5 (14), 6–18. <https://skopein.org/ojs/index.php/1/article/view/94>
13. Villavicencio-Queijeiro A. La mitocondria como fábrica de cofactores: biosíntesis de grupo hemo, centros Fe-S y nucleótidos de flavina (FMN/FAD). *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*.2012; 15(2):116-132. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1405888X2012000200005&lng=es&nrm=iso](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405888X2012000200005&lng=es&nrm=iso)
14. Quispe- Mayta S. Detección de manchas de sangre mediante la Prueba de Luminol en la investigación forense. *Revista Con-Ciencia*.2014; 1 (2):81-90.[https://www.academia.edu/100858354/Detecci%C3%B3n\\_de\\_manchas\\_de\\_sangre\\_mediante\\_la\\_Prueba\\_de\\_Luminol\\_en\\_la\\_investigaci%C3%B3n\\_forense](https://www.academia.edu/100858354/Detecci%C3%B3n_de_manchas_de_sangre_mediante_la_Prueba_de_Luminol_en_la_investigaci%C3%B3n_forense)
15. Cedrón J C. El luminol. *Revista de Química*. 2011: 25(1-2): 13-14. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/4606>
16. Bermúdez T A. Luminol, El Compuesto Químico que arroja luz sobre la escena del crimen. *Rev. Ciencias la Univ. Pablo Olavide* 2020, No. 36, 31–32. <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero36/Numero-36.pdf>



17. Barni F, Lewis SW, Berti A, Miskelly GM, Lago G. Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection. *Talanta*. 2007 May 15;72(3):896-913. DOI: 10.1016/j.talanta.2006.12.045.
18. Hayashi S, Kakizaki E, Sonoda A, Shinkawa N, Shiragami T, Yukawa N. Acceleration effect of the forensic luminol reaction induced by visible light irradiation of whole human blood aqueous solutions. *Forensic Sci Int*. 2019 Jun; 299:208-214. DOI: 10.1016/j.forsciint.2019.04.007.
19. Mendoza Ramos D, Santos Lovaton J, Paredes Fernandez W. Efecto del sustrato sobre las pruebas de orientación quimioluminiscentes (Bluestar forensic y Luminol) en la detección de restos hemáticos. *Revista Postgrado Scientiarvm*. 2017;3(2): 59 - 65. DOI: 10.26696/sci.epg.0061
20. Sarrini R, Sánchez M. Sangre: Ocultamiento de evidencia con pintura y alteración de los resultados del Luminol [Tecnatura en Criminalística] Mar del Plata. Universidad FASTA;2023. [http://redi.ufasta.edu.ar:8082/jspui/bitstream/123456789/2595/1/SarriniS%C3%A1nchez\\_TC\\_R\\_2023%20%281%29.pdf](http://redi.ufasta.edu.ar:8082/jspui/bitstream/123456789/2595/1/SarriniS%C3%A1nchez_TC_R_2023%20%281%29.pdf)
21. Castillo Rodríguez N, Cortés-Osorio J. Validation of The Takayama Confirmatory Test for Blood Identification in Stains. *Scientia Et Technica*, 2019; 24(1): 140-145. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6888656>
22. Castillo N, Martínez S. TEICHMANN Prueba Confirmativa Para Identificación de Sangre En Manchas. *Sci. Tech*. 2020; 25 (1): 158–163. <https://doi.org/10.22517/23447214.22301>.
23. Silva G A. Importância Do Biomédico Na Biologia Molecular e Hematologia Forense. *Atas Ciências da Saúde*. 2020; 10 : 166–175. <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/ACIS/article/view/2271/1639>
24. Villalobos, H. Las Pruebas de ADN en el contexto forense. *Ciencias Forenses de Honduras*. 2017; 3 (2): 28–38. <http://www.bvs.hn/RCFH/pdf/2017/pdf/RCFH3-2-2017-8.pdf>.



# INFECCIONES POR ENTEROBACTERIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS EN HOSPITALES DE AMÉRICA LATINA: UN PROBLEMA DE SALUD PUBLICA

## INFECTIONS DUE TO ANTIBIOTIC-RESISTANT ENTEROBACTERIA IN HOSPITALS IN LATIN AMERICA: A PUBLIC HEALTH PROBLEM

Diego Angel Jara Gallegos<sup>1</sup>, Jairo Rene Lucas Lucas<sup>2</sup>, Andrea Carolina Vega Insuasti<sup>3</sup>, Jhon Bryan Mina Ortiz<sup>4</sup>

{jara-diego5820@gmail.com<sup>1</sup>, lucas-jairo0204@unesum.edu.ec<sup>2</sup>, vega-andrea3733@unesum.edu.ec<sup>3</sup>, jhon.mina@unesum.edu.ec<sup>4</sup>}

Fecha de recepción: 19/03/2025 / Fecha de aceptación: 28/05/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** Las enterobacterias, tales como *Escherichia coli*, *Klebsiella spp.* y *Enterobacter spp.*, son responsables de infecciones comunes en el ámbito de la atención primaria y representan un riesgo significativo en entornos hospitalarios. Realizamos un análisis exploratorio-descriptivo del perfil general de las enterobacterias y sus patrones de resistencia a las diferentes clases de antibióticos en los hospitales y de manera agregada por países; así como el estudio de posibles factores de riesgo asociados a infección por enterobacterias resistentes en cada país. Reconocer patógenos y resistencias emergentes que aún no hayan sido examinados utilizando técnicas moleculares o métodos de tipificación más avanzados y que requieran un enfoque particular, asegurando así una cobertura adecuada para los pacientes hospitalizados. Esta situación pone de manifiesto deficiencias en la gestión del tratamiento en entornos hospitalarios y un aumento en el riesgo de infecciones graves. Se ha brindado prioridad a la conservación de la eficacia de los antimicrobianos, lo que ha conllevado a una reducción en el uso de cefalosporinas de tercera generación por vías no parenterales; sin embargo, se ha observado un incremento en la incidencia de infecciones por *Escherichia coli* resistente, lo que podría estar relacionado con la tolerancia inmunológica exhibida por los pacientes. Se exportarán los resultados de la búsqueda a un gestor de referencias bibliográficas para su organización y análisis. Se eliminarán los duplicados y se evaluarán los títulos, resúmenes y palabras clave de los estudios para identificar aquellos potencialmente relevantes. Se realizará un análisis descriptivo de los datos extraídos, incluyendo frecuencias, medidas de tendencia central y dispersión, según el tipo de variable. En el otro extremo, se presenta el escenario de la Después de analizar la bibliografía seleccionada, se puede afirmar que Infecciones por enterobacterias resistentes a antibióticos

<sup>1</sup>Universidad Estatal del Sur de Manabí, <https://orcid.org/0000-0002-3736-2684> +593967347351.

<sup>2</sup>Universidad Estatal del Sur de Manabí, <https://orcid.org/0009-0002-3832-4476>, +593998576615.

<sup>3</sup>Universidad Estatal del Sur de Manabí, <https://orcid.org/0009-0008-8123-4226>, +593999261418.

<sup>4</sup>Universidad Estatal del Sur de Manabí, <https://orcid.org/0000-0002-3455-2503>, + 593991728862.



en hospitales de América Latina, resulta esencial desarrollar estrategias efectivas de monitoreo y salud preventiva.

*Palabras clave: hospitalario, patógenos, técnicas moleculares, inmunología, salud*

**ABSTRACT:** Enterobacteriaceae, such as *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., and *Enterobacter* spp., are responsible for common infections in primary care settings and pose a significant risk in hospital settings. We performed an exploratory-descriptive analysis of the general profile of Enterobacteriaceae and their resistance patterns to different classes of antibiotics in hospitals and in an aggregated manner by country; as well as the study of possible risk factors associated with infection by resistant Enterobacteriaceae in each country. To recognize emerging pathogens and resistances that have not yet been examined using molecular techniques or more advanced typing methods and that require a particular approach, thus ensuring adequate coverage for hospitalized patients. This situation highlights deficiencies in treatment management in hospital settings and an increased risk of serious infections. Priority has been given to maintaining the efficacy of antimicrobials, which has led to a reduction in the use of third-generation cephalosporins by non-parenteral routes; However, an increase in the incidence of *Escherichia coli* infections has been observed. resistant, which could be related to the immunological tolerance exhibited by patients. The search results will be exported to a bibliographic reference manager for organization and analysis. Duplicates will be eliminated, and the titles, abstracts, and keywords of the studies will be evaluated to identify those that are potentially relevant. A descriptive analysis of the extracted data will be performed, including frequencies, measures of central tendency, and dispersion, according to the type of variable. At the other extreme, the scenario of the After analyzing the selected bibliography, it can be stated that Infections due to antibiotic-resistant Enterobacteriaceae in hospitals in Latin America, it is essential to develop effective monitoring and preventive health strategies.

*Keywords: hospital, pathognomonic, molecular techniques, immunology, health*

## INTRODUCCIÓN

Persisten, de manera alarmante y preocupante, una notable y crecientemente llamativa escasez de datos que están relacionados de forma crítica con la resistencia de las enterobacterias en diversas instituciones médicas de gran prominencia.

Reducir la incidencia de infecciones por enterobacterias resistente a antibióticos en hospitales de América Latina, mediante la implementación de medidas efectivas de prevención y control, para mejorar la salud y bienestar de la población, y promover un uso sostenible y responsable de los antibióticos dentro de los entornos hospitalarios. Las infecciones causadas por estas bacterias patógenas son responsables, frecuentemente, de generar complicaciones



significativas y potencialmente peligrosas en hospitales que están atendiendo a pacientes vulnerables, así como a aquellos que tienen sistemas inmunológicos comprometidos. Por esta razón, se referirán de aquí en adelante, simplemente, como enterobacterias, facilitando así una comunicación clara y efectiva sobre su impacto en la salud pública.

Las infecciones estrechamente relacionadas con estas enterobacterias han evidenciado un incremento alarmante en la aparición de cepas que son resistentes a diversos grupos de importantes fármacos antimicrobianos, lo que plantea serios riesgos y desafíos considerables para la salud y el bienestar de los pacientes en dichas instituciones médicas (1) y (2).

Un número creciente de brotes infecciosos que se registran actualmente en los hospitales modernos están íntimamente relacionados con cepas resistentes a medicamentos, tales como la de *Klebsiella pneumoniae* productora de betalactamasas tipo carbapenemasas. Estas cepas han demostrado ser multirresistentes a los antimicrobianos que se encuentran actualmente disponibles, lo cual restringe las opciones de tratamiento efectivo y satisfactorio, complicando así la labor esencial de los profesionales de la salud. Este alarmante fenómeno de resistencia entre las enterobacterias plantea retos cada vez más complejos y difíciles en el contexto específico de las infecciones nosocomiales, lo cual complica enormemente la labor diaria de los profesionales de la salud y dificulta significativamente el manejo de tratamientos eficaces y seguros para sus pacientes en condiciones delicadas y críticas. Cada decisión tomada en estos entornos puede tener repercusiones significativas para la salud de los pacientes (3) y (4).

En términos generales, el conocimiento existente acerca de las infecciones que ocurren en los hospitales, junto con sus agentes etiológicos y la correspondiente resistencia y sensibilidad a los antibacterianos utilizados, se origina principalmente en los laboratorios hospitalarios o en centros especializados de referencia que son consultados para confirmar diagnósticos de manera descentralizada y sistemática.

Esta crítica situación, junto con la creciente y especialmente preocupante falta de datos específicos y actualizados, representa un obstáculo importante que complica la toma de decisiones informadas adecuadamente respecto a las intervenciones que son necesarias, así como el manejo apropiado de las infecciones nosocomiales. Todo esto crea un constante, arduo y difícil reto para la salud pública en general, que debe ser abordado con urgencia. Esto permite, por lo tanto, que la presentación de datos confiables y precisos se alinee de manera efectiva con las inquietudes y problemáticas más actuales de salud pública, así como también con la debida y responsable administración del tratamiento para los pacientes.

Realizamos un análisis exploratorio-descriptivo del perfil general de las enterobacterias y sus patrones de resistencia a las diferentes clases de antibióticos en los hospitales y de manera agregada por países; así como el estudio de posibles factores de riesgo asociados a infección por enterobacterias resistentes en cada país. que requieren atención médica urgente y especializada en el contexto hospitalario. Es en este entorno crítico y rápido donde el tiempo y las decisiones correctas son absolutamente cruciales para garantizar la recuperación y el



bienestar de los afectados, puesto que cada segunda cuenta y puede hacer la diferencia en situaciones de emergencia médica. Por lo tanto, es necesario que se implementen programas de vigilancia más efectivos y actualizados, capaces de monitorear la evolución de la resistencia bacteriana, estableciendo además estrategias de tratamiento que sean adecuadas para garantizar una respuesta e intervención eficiente ante los crecientes desafíos que presentan las infecciones relacionadas con enterobacterias en los hospitales contemporáneos (5), (6) y (7).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un análisis descriptivo para determinar la prevalencia incidencia y características de las infecciones por enterobacterias que abarcó un total de 11 hospitales distribuidos en diferentes países de América Latina, específicamente en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, Ecuador, México, Paraguay, Uruguay y Perú. Estos hospitales fueron seleccionados cuidadosamente por el hecho de contar con microbiología de buen rendimiento y adecuada disponibilidad para participar activamente en el proyecto. La fecha de inicio del estudio fue variable según la rapidez en el reclutamiento de los hospitales participantes, teniendo como fecha final un cierre aproximado alrededor del 20 de julio de 2019, lo que permitió una recolección adecuada de datos en un tiempo razonable. Los pacientes que fueron incluidos en el estudio tuvieron que ser hospitalizados y presentar infección documentada por enterobacterias, mostrando además una sensibilidad reducida para al menos una de las siguientes drogas: ceftriaxona, cefotaxima, ceftazidima, Se realizará un análisis descriptivo de los datos extraídos, incluyendo frecuencias, de medidas de tendencia central y dispersión, según el tipo de variable.

Se sintetizarán los hallazgos de los estudios, agrupándolos por temas y subtemas relevantes. cefepime, aztreonam, ertapenem, imipenem, meropenem, colistina y/o tigeciclina. Fue importante excluir del estudio a aquellos pacientes que presentaban una colonización urinaria asintomática. Asimismo, se solicitó que los datos clínicos y microbiológicos de los pacientes que presentaron fiebre de origen desconocido fueran revisados minuciosamente por un comité clínico compuesto por expertos hospitalarios, para así asegurarse de que solo aquellos con infección confirmada fueran seleccionados.

Los datos que se recopilaron con el propósito de describir de manera detallada a los pacientes incluidos en este estudio fueron varios, entre ellos se registraron la edad, el sexo, el hospital donde se encontraban, la fecha en la que comenzaron a presentar síntomas, el riesgo de mortalidad de los pacientes según el puntaje de Apache II y el origen de la infección, según el diagnóstico proporcionado por los clínicos que estaban a cargo del tratamiento de cada caso. El tratamiento prescrito a cada uno de los pacientes fue aquel que fue seleccionado por el equipo clínico que tuvo a su cargo el cuidado de los pacientes; no se legisló ni se impuso ningún tratamiento específico dentro de los protocolos del estudio. Sin embargo, se solicitó que las drogas escogidas fuesen las máximas posologías permitidas y que estuviesen autorizadas por las agencias de medicamentos nacionales pertinentes. La recolección de datos también abarcó información relativa a la infección que motivó la inclusión del paciente, lo cual incluía la entidad



tipo de infección, como, por ejemplo, si se trataba de neumonía, corriente sanguínea o abdominal. También se evaluó la evolución clínica de los pacientes durante los primeros 30 días posteriores a su inclusión en el estudio, la selección de terapias utilizadas y el impacto que tanto la infección como los tratamientos tuvieron en los diferentes resultados observados a corto y mediano plazo en los pacientes, tales como la duración de la estancia en el hospital, la duración y resultados de la terapia, la necesidad absoluta de ingreso en cuidados intensivos, así como la mortalidad durante la hospitalización.

## Métodos:

### 1. Búsqueda y selección de estudios:

- Se realizará una búsqueda sistemática en las bases de datos bibliográficas seleccionadas, utilizando las palabras clave y los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos.
- Se exportarán los resultados de la búsqueda a un gestor de referencias bibliográficas para su organización y análisis.
- Se eliminarán los duplicados y se evaluarán los títulos, resúmenes y palabras clave de los estudios para identificar aquellos potencialmente relevantes.
- Se procederá a la lectura completa de los estudios seleccionados para verificar que cumplan con los criterios de inclusión y extraer los datos relevantes.

### 2. Extracción de datos:

- Se diseñará un formato de extracción de datos que incluirá información sobre los autores, título del estudio, año de publicación, país de origen, diseño de investigación, tamaño de la muestra, características de los participantes, variables estudiadas, resultados principales y conclusiones.
- Se extraerán los datos de manera precisa y sistemática, utilizando el formato diseñado.

### 3. Análisis de datos:

- Se realizará un análisis descriptivo de los datos como PubMed, Scopus y Lilacs utilizando palabras claves como enterobacterias, infecciones nosocomiales, América latina y hospitales, se incluyeron estudios publicados en español e inglés.
- Se sintetizarán los hallazgos de los estudios, agrupándolos por temas y subtemas relevantes.
- Se identificarán las coincidencias y discrepancias entre los estudios, evaluando la calidad de la evidencia y la fortaleza de las asociaciones observadas.



- Se elaborarán tablas y gráficos para ilustrar los resultados de la revisión.
- Se discutirán los resultados de la revisión bibliográfica en el contexto de la literatura científica actual sobre las Infecciones por enterobacterias resistentes a antibióticos en hospitales de América Latina.
- Se destacarán los hallazgos más relevantes y se identificarán las fortalezas y limitaciones de la revisión.
- Se pondrán direcciones futuras para la investigación en este campo.

Esta revisión bibliográfica proporcionará una síntesis actualizada y rigurosa Infecciones por enterobacterias resistentes a antibióticos en hospitales de América Latina, considerando estudios publicados desde el año 2015. Los resultados de esta revisión permitirán comprender mejor los beneficios de la Infecciones por enterobacterias resistentes a antibióticos en hospitales de América Latina para el desarrollo y bienestar, contribuirán a informar políticas públicas y prácticas clínicas esencial para la salud pública.

## RESULTADOS

En el presente y exhaustivo estudio detallado y riguroso que hemos llevado a cabo, se aisló y analizó un total altamente significativo de hasta 91 infecciones comunes de gran relevancia clínica y epidemiológica, las cuales se destacan de manera rotunda por su impacto significativo en el ámbito crucial de la salud pública y la medicina clínica contemporánea, lo que resalta de forma contundente y clara la urgente necesidad de atención médica profesional y especializada, particularmente en el contexto actual de creciente preocupación sanitaria.

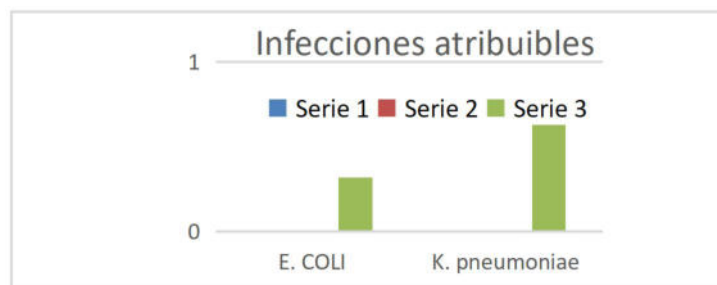
La especie *E. coli*, en particular, representó el alarmante y preocupante 52 % de tal manera que se identificaron en diferentes estudios que cumplieron con los criterios de inclusión lo que resumen todos los resultados de todos los casos identificados, subrayando una prevalencia alarmante y preocupante entre la población analizada, lo que refleja la inminente necesidad de atención médica adecuada y tratamientos específicos fundamentales para su erradicación efectiva, lo que requiere un enfoque concertado y sistemático por parte de los servicios de salud correspondientes.

En contraposición, *Klebsiella pneumoniae* alcanzó un preocupante 30 % en la distribución de los aislamientos observados, mientras que *K. ozaenae* fue responsable del 15 % de las infecciones documentadas, lo que también resalta profundamente la diversidad de patógenos en circulación en el entorno clínico exhaustivo y diverso exigiendo un monitoreo constante y minucioso de estos microorganismos en el contexto de la salud pública. De los 92 pacientes que fueron incluidos en un detallado análisis profundo y exhaustivo, se observó un alarmante promedio de hasta 8 días hasta el trágico fallecimiento tras la detección de la infección, lo cual evidencia de manera contundente la gravedad pronóstica de estas condiciones infecciosas en un contexto de salud pública que ciertamente merece atención prioritaria y urgente en la

respuesta clínica y médica, destacando la necesidad de intervenciones inmediatas y efectivas. Todos los aislamientos de *E. coli* y *K. pneumoniae* fueron confirmados como productores de betalactamasa de espectro extendido (BLEE), mostrando, además, una notable resistencia a medicamentos comunes tales como la ciprofloxacina, que se utilizan frecuentemente en el tratamiento de estas infecciones que presentan múltiples y graves desafíos y complicaciones de manera crítica y preocupante. En relación con las infecciones causadas por *K. ozaenae*, se documentó una considerable variabilidad en los casos observados; se registraron dos episodios de bacteriemia que evidenciaron resistencia a la ciprofloxacina y ocho aislamientos que demostraron resistencia a cefalosporinas de primera, segunda y tercera generación, incluso antes de la notificación oficial del brote de *K. ozaenae*, lo que plantea serias y preocupantes inquietudes en cuanto a la salud pública, lo que indica la urgencia de implementar medidas de control.

Posteriormente, se documentaron un total de 30 aislados con resistencia a cefalosporinas de diversas clases después de la declaración formal del brote; entre ellos, se identificaron tres que mostraron resistencia completa a todas las cefalosporinas disponibles en ese momento, lo que agrava significativamente la situación clínica de los pacientes en riesgo crítico y con condiciones de salud precarias, resaltando la necesidad de desarrollar nuevos enfoques terapéuticos. En un análisis minucioso y meticuloso de las 78 infecciones atribuibles a *E. coli*, se encontró que 27 (35 %) de ellas no mostraron susceptibilidad a cefalosporinas de tercera generación, lo cual resulta alarmante, dado que 62 (80 %) resultaron no susceptibles a quinolonas, presentándose ambos tipos de resistencia en el 32 % de los casos estudiados, mostrando la complejidad del manejo clínico y la atención requerida de manera urgente en este escenario complicado y heterogéneo.

En cuanto a las 66 infecciones atribuidas a *K. pneumoniae*, la situación es igualmente preocupante y alarmante: 57 (86 %) fueron clasificadas como no susceptibles a cefalosporinas de tercera generación, mientras que 58 (88 %) mostraron resistencia a cefalosporinas de cuarta generación y, alarmantemente, un 63 % del total demostró resistencia a carbapenemes, lo que complica de manera seria y considerable la posibilidad de tratamiento efectivo para los pacientes afectados en condiciones extremas y críticas, sugiriendo una revisión de las pautas de tratamiento actuales. Adicionalmente, un total de 12 casos revelaron resistencia a aminoglucósidos, lo que intensifica aún más la inquietud en el manejo de estas infecciones difíciles de tratar en contextos de salud pública crítica y vulnerable, lo que exige un rediseño de las estrategias terapéuticas utilizadas.





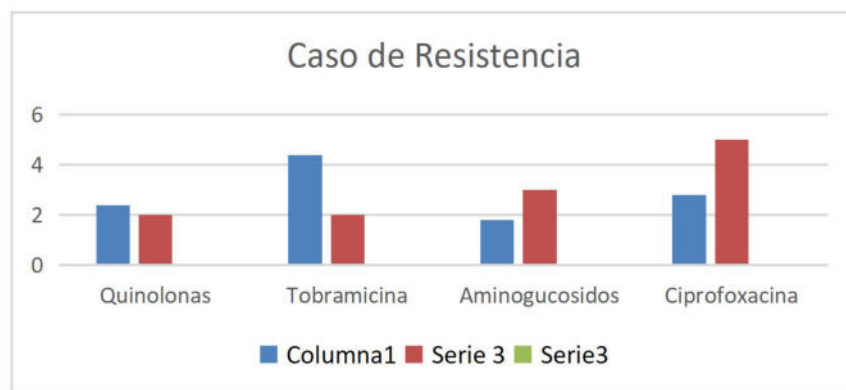
### **Figura 1. Infecciones atribuibles**

De igual forma, 61 (90 %) de los aislados resultaron no susceptibles a quinolonas y 40 (61 %) a tobramicina, lo que mermó aún más las opciones terapéuticas disponibles y viables para estas complicaciones que presentan un tratamiento desafiante y que requiere atención inmediata. En el análisis detallado de otros aislados que no mostraron susceptibilidad, se registraron 24 casos (30 %) resistentes a amikacina, 21 (28 %) para otros aminoglucósidos, 20 (25 %) para ciprofloxacina, 16 (20 %) para cefalosporinas, y 2 aislados que presentaron resistencia a cefalosporinas de primera o segunda generación, lo que agrava y enreda aún más la falta de opciones terapéuticas viables para condiciones ya complejas y difíciles de manejar en este escenario crítico de salud pública, lo que pone de relieve la urgencia de buscar soluciones innovadoras.

Es muy relevante señalar que 10 (15 %) de los aislados manifestaron resistencia a un metaloide, uno (2 %) estuvo asociado a un *Enterobacter* que no era susceptible, y se identificaron dos (3 %) que mostraron resistencia a todos los antimicrobianos evaluados durante el riguroso estudio, lo que plantea serias y preocupaciones sobre el futuro del manejo de estas infecciones multidimensionales y complicadas en la atención médica, lo que resalta la necesidad de colaboración entre instituciones médicas.

En este contexto crítico y alarmante, es pertinente mencionar que tres infecciones específicas relacionadas con *E. coli* y *K. pneumoniae* presentaron resistencia a los mismos antimicrobianos, lo que acentúa aún más la urgente necesidad de un enfoque multidisciplinario en el tratamiento, involucrando a varios especialistas en la lucha contra estas infecciones resistentes y complicadas que amenazan la salud pública de manera general. De manera destacada y significativa, las tasas de hospitalización por infecciones originadas en *E. coli* y *K. pneumoniae*, en comparación con los organismos colonizadores comunes, mostraron un aumento significativo del 150 % y del 50 %, respectivamente, desde la aparición de la enfermedad, lo que enfatiza de manera crucial la importancia de estos hallazgos en el manejo clínico de las infecciones y la urgencia de actuar con celeridad y decisión para contener el avance de estas patologías resistentes y complejas que vulneran la salud pública en general, subrayando así la necesidad de acción urgente.

Estos resultados ponen de manifiesto de manera crítica la necesidad de implementar medidas efectivas y rápidas para el control, seguimiento y tratamiento de estas infecciones resistentes a múltiples terapias, orientando futuras investigaciones hacia estrategias que garanticen una mejor atención y manejo de estas patologías emergentes y su profundo impacto en la salud pública de la población en general, reiterando la importancia indiscutible de la acción coordinada y efectiva en este ámbito crucial de la salud.



**Figura 2. Caso de resistencia**

A continuación, se detalla la tabla Antimicrobiana Betalactámicos.

**Tabla 1. Antimicrobianos Betalactámicos**

Grupo	Antimicrobianos representativos
Penicilinas	Penicilina G, Penicilina V, Ampicilina, Amoxicilina, Carbenicilina, Ticarcilina, Piperacilina, Mezlocilina
Cefalosporinas	Primera Generación: Cefazolina, Cefalotina
	Segunda Generación: Cefuroxima, Cefoxitina, Cefotetana, Cefaclor, Cefamandol
	Tercera Generación: Cefotaxima, Ceftriaxona, Ceftazidima, Cefixima Cefpodoxima.
	Cuarta Generación: Cefepima, Cefpiroma
	Quinta Generación: Ceftarolina Fosamil, Ceftobipro, Medocaril, Ceftolozano
Monobactámicos	Aztreonam
Carbapenemes	Imipenem, Meropenem, Ertapenem, Doripenem

**Fuente.** (21), (22), (23), y (24)



## **Betalactamasas**

Es la agrupación de enzimas con la facultad de hidrolizar el anillo betalactámico, generadas por bacterias capaces de resistir dichos fármacos. Estas enzimas fueron identificadas por primera vez en 1940, pero realmente llegaron a representar un problema de salud pública después de un uso indiscriminado de la penicilina en 1941 dando lugar a la primera betalactamasa, la penicilinasas, resultando en la necesidad de nuevos antimicrobianos de mayor espectro (25).

## **Principales bacterias con resistencia a antimicrobianos en Latinoamérica**

Las bacterias son capaces de sobrevivir en entornos extremos y en los países latinoamericanos al poseer un entorno cálido y húmedo son perfectos para su proliferación. Entre todas las bacterias que pueden crecer en este entorno, existen tres grupos bacterianos con mayor importancia clínica (26).

### **Bacterias Gram positivas**

*Staphylococcus aureus*

*Estreptococos: Streptococcus pneumoniae, Estreptococos betahemolíticos*

*Enterococos*

*Bacilos Gram negativos*

*Enterobacteriaceae*

*Bacilos Gram negativos no fermentadores*

*Acinetobacter spp: Acinetobacter baumannii*

*Pseudomonas aeruginosa*



**Tabla 2. Enterobacterias resistentes a antibióticos betalactámicos en países Latinoamericanos**

Título	Autor	Año de publicación	País	Bacteria	Aislados	Betalactámico Resistente		
	Organización Panamericana de la Salud	2015	Argentina	<i>E. coli</i>	1857	AMP (77%), AMC (28%), CEP (42%), TZP (5%), C3G (25%), FOX (3%), FEP (10%), IMP (0,1%), MEM (0,1%)		
				<i>K. pneumoniae</i>		AMC (53%), CEP (69%), TZP (28%), C3G (59%), FOX (9%), FEP (35%), IMP (9%), MEM (8%)		
				<i>E. cloacae</i>		TZP (21%), CTX (53%), CAZ (47%), FEP (16%), IMP (1%), MEM (1)		
						<i>E. coli</i>		AMP (96%), AMC (83%), CEP (91%), CTX (82 %), FOX (16%), CAZ (82%), FEP (22%)
				2015	Bolivia	<i>K. pneumoniae</i>		AMC (88%), CEP (88%), CTX (84%), FOX (15%), CAZ (84%), TZP (10%), IMP (3%), FEP (60%)
						<i>Enterobacter</i>		CTX (83%), FOX (87%), CAZ (85%), IMP (3%), MEM (5%), FEP (50%)
						<i>SPP</i>		
						<i>E. coli</i>		AMP (84%), AMC (14%), CTX (44%), CAZ (45%), TZP (6%), IMP (0,3%),
				2015	El Salvador	<i>K. pneumoniae</i>		AMC (22%), CTX (53%), CAZ (52%), TZP (23%), IMP (0,4%), MEM (0,5%), FEP (54%)
						<i>Enterobacter</i>		CTX (75 %), CAZ (75%), TZP (9%)
		<i>SPP</i>				IMP (2%), MEM (2,3%), FEP (54%)		
						AMP (69%), AMC (55%), CEP (30%), CTX (3%), FOX (20%), CAZ (56%), TZP (10%), IMP		



Informe Anual de la Red de Monitoreo/Vigilancia de la Resistencia a los Antibióticos	2015	Brasil	<i>E. coli</i>	(13%), MEM (8%), FEP (64%)
			<i>K. pneumoniae</i>	AMP (72%), AMC (61%), CEP (29%), CTX (54.5%), FOX (55%), CAZ (47%), TZP (58%), IMP (46%), MEM (42%), FEP (85%)
			<i>Enterobacter</i>	AMP (70%), AMC (64%), CEP (24.5%), CTX (39%), FOX (64%), CAZ (43%), TZP (36%), IMP (32%), MEM (20%), FEP (60%)
			SPP	
	2015	Ecuador	<i>E. coli</i>	AMP (80%), AMC (31%), CEP (50%), CTX (55%), FOX (42%), CAZ (45%), TZP (13%), IMP (1%), MEM (2%), FEP (50%)
			<i>K. pneumoniae</i>	AMP (97%), AMC (40%), CEP (70%), CTX (76%), FOX (70%), CAZ (74%), TZP (40%), IMP (15%), MEM (14%), FEP (79%)
			<i>Enterobacter</i>	CTX (35%) FOX (93%), CAZ (43%), TZP (16%), IMP (2%), MEM (2%), FEP (30%)
			SPP	

**Fuente:** Instituto de Patología Tropical y Salud Pública (27)

Amoxicilina-Ac. Clavulánico (AMC); Ampicilina (AMP); Cefalotina (CEP); Cefalosporinas de tercera generación (C3G); Cefepime (FEP); Cefotaxima (CTX); Ceftazidima (CAZ); Cefoxitina (FOX); Imipenem (IPM); Meropenem (MEM); Piperacilina-tazobactam (TZP).


**Tabla 3. Enterobacterias con betalactamasas con mayor incidencia en Latinoamérica**

Título	Autor	Año de publicación	Tipo de estudio	Aislados	Bacteria	Mecanismo de resistencia	País	Cita bibliográfica
Infección comunitaria del tracto urinario por <i>Escherichia coli</i> en la era de resistencia antibiótica en Ecuador	María Belén Solís	2022	Longitudinal y prospectivo	3341	<i>E. coli</i>	BLEE	Ecuador	(28)
Genes involucrados con resistencia antimicrobiana en hospitales del Ecuador	Victor Rafael Tamayo Trujillo	2022	Descripción retrospectiva  no experimental	-	<i>K. pneumoniae</i>  <i>E. coli</i>	bla KPC  bla NDM	Ecuador	(29)
Caracterización molecular de $\beta$ -lactamasa de espectro extendido en cepas de <i>Escherichia coli</i> causantes de infección urinaria en pacientes inmunocomprometidos	Pereyra Marcia	2019	Longitudinal y prospectivo	35	<i>K. pneumoniae</i>	bla CTX-M	Bolivia	(30)
Caracterización molecular de <i>Klebsiella pneumoniae</i> multiresistente perteneciente al CC258 aislada de pacientes ambulatorios con infección del tracto urinario en Brasil	Paola Aparecida	2019	Experimental	48	<i>K. pneumoniae</i>	bla KPC	Brasil	(31)
Identificación de bacterias resistentes a antibióticos carbapenémicos en hospitales de El Salvador	Villatoro Esmeralda	2018	Transversal y prospectivo	97	<i>K. pneumoniae</i>	bla OXA-48 <sup>El</sup>	El Salvador	(32)
Caracterización clínica, epidemiológica y microbiológica de bacteriemias producidas por enterobacterias resistentes a carbapenémicos en un hospital universitario de Córdoba, Argentina.	Flavio G. Lipari	2020	Retrospectivo, observacional y descriptivo	84	<i>K. pneumoniae</i>	bla KPC	Argentina	(33)



**En la Tabla 2**, Se puede observar las enterobacterias más frecuentes de origen hospitalario en países latinoamericanos, donde *E. coli* es la bacteria predominante seguida de *K. pneumoniae* y *Enterobacter spp*, siendo Ampicilina el antibiótico al cual más resistencia presentan estas bacterias. Luego está Cefepime, el antibiótico que se presenta en todos los países y posee una eficacia variada, dando a conocer que debe ser empleado con más cuidado. Finalmente está Imipenem y Meropenem, los cuales son los antibióticos más eficientes frente a estas enterobacterias productoras de betalactamasas.

**En la Tabla 3**, se encuentran datos provenientes de artículos realizados en los mismos países que la Tabla 2, demostrando que la bacteria *E. coli* aun predomina a nivel intrahospitalario seguido de *K. pneumoniae* a pesar de los años que han transcurrido, también se resalta el hecho de que en todos los artículos se presentan mecanismos de resistencia pertenecientes a Betalactamasas, las cuales degradan el anillo betalactámico volviendo ineficaz a este grupo de antibióticos, de los cuales el más importante son los carbapenémicos (última línea para combatir estas bacterias), pero la diseminación de genes como bla KPC, bla NDM, bla OXA-48, provocan que este medicamento sea cada vez más ineficaz.

## DISCUSIÓN

Debido a que las instituciones de cuidados intensivos constituyen un espacio altamente especializado donde se comparten tecnologías de última generación, se genera un estrecho y constante contacto, la problemática de las infecciones por enterobacterias resistentes a antibióticos en hospitales de América Latina es un tema complejo y multifacético. Es un problema creciente en todo el mundo, América Latina no es la excepción, las causas más comunes exceso inadecuado de antibióticos, falta de política de control de infecciones, limitaciones en las áreas epidemiológicas, seguimiento y supervisión mucho más minucioso y efectivo de las condiciones de salud de los pacientes en estado crítico. Estas instituciones presentan, además, una mayor interacción con múltiples servicios dentro del hospital, tales como emergencias y cirugía, así como una exposición intrahospitalaria intensificada a una serie de diversos patógenos, lo que complica aún más la situación en la que se encuentran los pacientes ingresados.

Cabe resaltar que la coincidencia que se ha encontrado en estudios es que, en las instituciones de cuidados intensivos, el riesgo de adquisición de microorganismos multirresistentes es considerablemente mayor. Este riesgo es tanto para microorganismos que presentan resistencia a los carbapenémicos, a los aminoglucósidos y al cotrimoxazol. También se ha documentado de manera reiterada la presencia conjunta de diarrea e infección respiratoria, así como de bacteriemia y choque séptico intrahospitalario, además de la coexistencia de infecciones adquiridas hospitalariamente, que, entre otros problemas de salud, complican aún más la situación de los pacientes que se encuentran en estas unidades (13) y (14).



La situación actual de las infecciones por microorganismos resistentes es, probablemente, un reflejo directo de la movilización intrahospitalaria y de las inadecuadas condiciones de aislamiento que debe tener el paciente portador de estos microorganismos. Esta condición puede manifestarse tanto de forma intrahospitalaria como en un hospital específico después de haber ocurrido un contagio en otra institución. Las resistencias de este tipo de microorganismos han llegado a situarse como un excelente biomarcador que puede indicar la presencia de otros factores de riesgo, como la propia administración de antimicrobianos, o el uso excesivo de estos medicamentos.

Esto se debe a que, en las unidades de cuidados intensivos, se administra una alta cantidad de estos agentes, lo que también incrementa el riesgo de complicaciones severas, generando un panorama cada vez más preocupante y alarmante para la salud de los pacientes que reciben atención en estas unidades críticas y complejas, donde el manejo de infecciones se considera uno de los aspectos más desafiantes en el cuidado moderno de la salud (15).

## CONCLUSIONES

La magnitud real del problema de las infecciones causadas por enterobacterias resistentes a antibióticos en América Latina continúa siendo un enigma que persiste en las sombras de la atención sanitaria, lo cual hace que sea absolutamente imprescindible e ineludible establecer sistemas de vigilancia efectiva. Estos sistemas deben permitir, no solo documentar la tasa de infecciones, sino también las tasas de colonización y de infección invasiva que se manifiestan en diversas áreas de la región. Es esencial que estos sistemas establezcan puntos de corte que sean útiles y precisos. Estos puntos de corte son cruciales para identificar aquellas áreas o servicios donde se presentan tasas anómalas y preocupantes en relación con las infecciones. Esto incluye el análisis meticuloso y detallado de las proporciones de infecciones nosocomiales y comunitarias, así como las tasas de resistencia a diversos antimicrobianos y la frecuencia de adquisición de resistencias en pacientes específicos, que es un problema sobre todo en los servicios de terapia intensiva donde la situación podría tornarse más crítica y delicada.

En el contexto actual, no se cuentan con suficientes datos que faciliten una evaluación precisa y comparativa del alarmante auge de las infecciones por enterobacterias resistentes a antimicrobianos en los distintos países que conforman América Latina. Esta falta de datos precisos dificulta significativamente la formulación de estrategias efectivas que puedan mitigar esta preocupante situación. A pesar de estas limitaciones en la información que se encuentra disponible, es evidente y claro que el problema de las infecciones por enterobacterias resistentes a antimicrobianos en América Latina es un fenómeno que definitivamente merece atención prioritaria. Esto implica la necesidad ineludible de llevar a cabo estudios colaborativos que incluyan las experiencias y los datos de diferentes regiones y hospitales, permitiendo así un abordaje integral y en profundidad del tema en cuestión, lo que brindaría la oportunidad de alcanzar un mejor entendimiento del mismo.

Los costos estimados para el tratamiento de las infecciones nosocomiales alcanzan cifras alarmantes e insoportables. Un evento puede costar hasta 6,076 dólares americanos, lo que resulta ser una cifra que es considerablemente mayor que el costo de tratar únicamente la colonización por estos patógenos resistentes. Los antibióticos que son capaces de actuar eficazmente frente a estos microorganismos son limitados en número y, además, son considerablemente costosos y escasos, lo que agrava aún más la situación crítica que enfrentamos. Por todo lo expuesto anteriormente, el pilar fundamental para lograr un control exitoso y efectivo de estas infecciones es la creación e integración de un comité de control hospitalario de infecciones. Este comité debe estar compuesto por un equipo profesional multidisciplinario, motivado, debidamente actualizado y capacitado. Es crucial que estos profesionales trabajen en estrecha colaboración con toda la comunidad hospitalaria, abarcando desde médicos hasta enfermeras y otros profesionales de la salud. El objetivo primordial debe ser implementar prácticas eficaces de prevención y gestión de infecciones, teniendo como meta la reducción de la incidencia de estas infecciones tan preocupantes que afectan y amenazan seriamente la salud pública de América Latina.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Oliva Falcón A. Resistencia bacteriana y detección de  $\beta$ -lactamasas en niños ingresados por infección del tracto urinario. Revista Cubana de Pediatría. 2024. sld.cu
2. Gamboa YL, Pellicier YG, Cantillo YR, Yanez YL. Resistencia microbiana a los antibióticos: un problema de salud creciente. Revista Científica Hallazgos21. 2022;7(1):103-14. uniriioja.es
3. Morales-Parra GI, Yaneth-Giovanetti MC, Fragoso-Amaya EM. Patrones de resistencia a antibióticos de uropatógenos bacterianos aislados en un hospital colombiano. Revista Habanera de Ciencias Médicas. 2023 Feb;22(1). sld.cu
4. Poyón LW, Mux RE, de León EM, Ortega KD, Callejas AA, Alcázar EJ, Imeri SA, Molina FA. Resistencia bacteriana a los antibióticos de amplio espectro en el Hospital Nacional de San Marcos. Revista Científica Internacional. 2024 Nov 17;7(1):287-308. revista-cientifica-internacional.org
5. Goyes-Baca MJ, Sacon-Espinoza MR, Poveda-Paredes FX. Manejo del sistema de salud de Ecuador frente a la resistencia antimicrobiana. Revista Información Científica. 2023;102. sld.cu
6. Montesdeoca MA, Guayta CA, Moina MI, Yancha WO, Haro LE. Resistencia Antibiótica en Infecciones Bacterianas Pediátricas. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. 2024 Oct 25;8(5):3480-94. ciencialatina.org
7. González DDD. NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LOS PROFESIONALES DE SALUD ACERCA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS EN EL CENTRO DE .... Revista Científica UPAP. 2024. upap.edu.py
8. Ancka-Iglesias CV, Flores-Albino YA, Calizaya-Milla YE, Saintila J. Características sociodemográficas y consumo de alimentos ultra procesados en vegetarianos y no-vegetarianos: Un estudio transversal en la población peruana. Nutrición clínica y dietética hospitalaria. 2022 Apr 24;42(01). nutricion.org
9. Melgarejo-Vásquez ME, Trujillo-Osorio SA, Arévalo-Ramírez MD. Relación entre ansiedad y consumo de alcohol en médicos residentes: estudio transversal en un hospital general de zona



- de la región centro-sur de México. Revista Médica de la Universidad Autónoma de Sinaloa REVMEDUAS. 2024 Dec 13;14(3):200-9. medigraphic.com
10. Fernández JJ, Forero JE, González JP. Hipertensión arterial y riesgo cardiovascular. Revista Repertorio de Medicina y Cirugía. 2022 Nov 15;31(3):230-41. fucsalud.edu.co
  11. Ortega Romero JA, Millones Gómez P, Cabezas Nieves RW, Inche Arce E, Mejía Verástegui FA, Meza Orihuela JL, Pascual Serna AC. Revisión bibliométrica de la producción científica de salud bucal en América Latina y el Caribe durante la pandemia de COVID-19. Revista Cubana de Estomatología. 2023 Mar;60(1). sld.cu
  12. Alba KG. El enigma bacteriano: «Escherichia coli y su impacto en las infecciones del tracto urinario». Orbis Tertius-UPAL. 2024. upal.edu.bo
  13. Valencia Meneses GD. Determinación de resistencia de Salmonella spp., a partir de huevos de gallinas que se comercializan en los mercados del cantón Latacunga.. 2022. utc.edu.ec
  14. Cina JPM. ... orgánicos y compuestos mayoritarios de las partes aéreas de Buddleja perfoliata sobre el crecimiento de Staphylococcus aureus y Bacillus cereus, cepas resistentes .... 2023. uaq.mx
  15. EXCMO SR EL, NAVARRO AR. LOS AVANCES MÉDICOS DE LA INVESTIGACIÓN TRASLACIONAL A PARTIR DE LA CIRUGÍA EXPERIMENTAL. REAL ACADEMIA DE CIENCIAS VETERINARIAS DE ESPAÑA. 2022;30:165-203. racve.es
  16. Arcenales Torres R, Flores Flores JA. Estudio del impacto ambiental para la construcción del malecón lineal de la ciudad de Huaquillas-provincia de El Oro, Ecuador. 2022. upse.edu.ec
  17. Algarín-Lara H, Guevara-Romero E, Osorio-Rodríguez E, Patiño-Patiño J, García VF, de Jesús Tuesca R, Aldana-Roa M, Arciniegas-Vergel YS, Rodado-Villa R. Factores relacionados con la neumonía bacteriana en pacientes con COVID-19 en una unidad de cuidados intensivos de Barranquilla, Colombia. Acta Colombiana de Cuidado Intensivo. 2022 Jun 1;22:S28-35. nih.gov
  18. Torrel Páez KM. Factores relacionados a prevalencia de infecciones asociadas a la atención de salud en la unidad de cuidados intensivos EsSalud Tumbes, 2020-2022. 2024. untumbes.edu.pe
  19. Pestaña MÍ, Pérez-García A, Abad RF. Infecciones relacionadas con cuidados sanitarios. Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado. 2022 May 1;13(56):3267-76. [HTML]
  20. Valls Martí M. Resistoma de comunidades bacterianas procedentes de cultivos ecológicos y convencionales. 2023. upv.es
  21. Del Arco J. Antibióticos: situación actual. Farmacia Profesional [Internet]. el 1 de septiembre de 2014;28(5):29–33. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-antibioticos-situacion-actual-X0213932414516605>
  22. Suárez C, Gudiol F. Antibióticos betalactámicos. Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica [Internet]. el 1 de febrero de 2009;27(2):116–29. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-enfermedades-infecciosas-microbiologia-clinica-28-articulo-antibioticos-betalactamicos-S0213005X08000323>
  23. Patiño NM. Penicilina. Revista de la Facultad de Medicina UNAM [Internet]. 2006;49(4):169–71. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2006/un064j.pdf>



24. Morales PAH, Bastos JLG, Marín DG, Londoño LM, Tamayo AH, Cárdenas PAU, et al. Reacciones adversas a betalactámicos: una revisión de tema. Medicina UPB [Internet]. 2021;40(1):55–64. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=159066047016>
25. Astocondor-Salazar L. Betalactamasas: La evolución del problema. Revista Peruana de Investigación en Salud [Internet]. 2018;2(2)42–9. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/100/100308007/html/>
26. Casellas JM. Resistencia a los antibacterianos en América Latina: consecuencias para la infectología. Revista Panamericana de Salud Pública [Internet]. 2011;30(6):519–28. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/9428>
27. Instituto de Patología Tropical y Salud Pública/UFG, OPS. Informe Anual de la Red de Monitoreo / Vigilancia de la Resistencia a los Antibióticos y de Infecciones Asociadas a la Atención de la Salud – 2014. Revista de Patología Tropical [Internet]. 2014;43(2). Disponible en: <https://www.paho.org/es/documentos/informe-anual-red-monitoreovigilancia-resistencia-antibioticos-2014>
28. Solís MB, Romo S, Granja M, Sarasti JJ, Miño AP y, Zurita J. Infección comunitaria del tracto urinario por Escherichia coli en la era de resistencia antibiótica en Ecuador. Metro Ciencia [Internet]. el 31 de marzo 2022;30(1):37–48. Disponible en: <https://www.revistametrociencia.com.ec/index.php/revista/article/view/321>
29. Espinosa AKZ, Trujillo VRT, Ramírez APG, Ullauri SAC, Cruz EAP, Pozo VAR. Genes involucrados con resistencia antimicrobiana en hospitales del Ecuador. Revista Médica-Científica Cambios HECAM [Internet]. el 30 de diciembre de 2022;21(2). Disponible en: <https://revistahcam.iess.gob.ec/index.php/cambios/article/view/863>
30. Pereyra M, Ruiz R, Baez J, Valenzuela N, Araya J, Silva J, et al. Caracterización molecular de  $\beta$ -lactamasas de espectro extendido en cepas de Escherichia coli causantes de infección urinaria en pacientes inmunocromprometidos. Revista Médica La Paz [Internet]. 2019;25(2):10–8. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S172689582019000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172689582019000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
31. Azevedo PAA, Furlan JPR, Gonçalves GB, Gomes CN, Goulart R da S, Stehling EG, et al. Molecular characterization of multidrug-resistant Klebsiella pneumoniae belonging to CC258 isolated from outpatients with urinary tract infection in Brazil. Journal of Global Antimicrobial Resistance [Internet]. el 1 de septiembre de 2019; 18:74–9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213716519300323>
32. Villatoro E, Cardoza R, Fuentes Z de, Hernández CE. Identificación de bacterias resistentes a antibióticos carbapenémicos en hospitales de El Salvador. Alerta, Revista científica del Instituto Nacional de Salud [Internet]. el 19 de diciembre de 2018;1(2):8–15. Disponible en: <https://camjol.info/index.php/alerta/article/view/7135>
33. Lipari FG, Hernández D, Vilaró M, Caeiro JP, Saka HA, Lipari FG, et al. Caracterización clínica, epidemiológica y microbiológica de bacteriemias producidas por enterobacterias resistentes a carbapenems en un hospital universitario de Córdoba, Argentina. Revista chilena de infectología [Internet]. agosto de 2020;37(4):362–70. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S071610182020000400362&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S071610182020000400362&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
1. Jiménez-Corona AE, Hernández-Lara R, Olivares-Palacios E, del Carmen



Zavaleta-Chi I. Influencia del estado nutrimental materno sobre la lactancia materna exclusiva: Revisión de la literatura. Ciencia Huasteca Boletín Científico de la Escuela Superior de Huejutla. 2022 Jul 5;10(20):9-19. uaeh.edu.mx.



# CONOCIMIENTO SOBRE SALUD BUCAL EN DOCENTES Y PADRES DEL NIVEL INICIAL EN UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA DE RIOBAMBA

## ORAL HEALTH KNOWLEDGE AMONG TEACHERS AND PARENTS AT THE PRE-SCHOOL LEVEL IN AN EDUCATIONAL INSTITUTION IN RIOBAMBA

Carmen Juliana Ávila Molina<sup>1</sup>, Fátima Monserrath Quinzo Montenegro<sup>2</sup>, Daniel Enrique Anilema Yuquilema<sup>3</sup>, Katherine Mishell Arias Caiza<sup>4</sup>, Nali Fernanda Vivas Portocarrero<sup>5</sup>

{c.avila@sangabrielriobamba.edu.ec<sup>1</sup>, fquinzo@sangabrielriobamba.edu.ec<sup>2</sup>, bassdan.19562@gmail.com<sup>3</sup>, katherinemishell02@gmail.com<sup>4</sup>, vivasfernanda583@gmail.com<sup>5</sup>}

Fecha de recepción: 22/05/2025 / Fecha de aceptación: 02/06/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** El presente estudio de tipo transversal con enfoque cuantitativo, aborda la salud bucodental en niños de edad preescolar, un componente esencial del bienestar infantil que influye en su desarrollo integral, calidad de vida y desempeño escolar. Se justifica por la alta prevalencia de caries en Ecuador, especialmente en provincias como Chimborazo, donde el acceso a servicios odontológicos y a programas preventivos es limitado. Identificar el nivel de conocimiento de padres y docentes permite orientar estrategias educativas efectivas desde los primeros años de vida. El objetivo principal fue evaluar y comparar el nivel de conocimiento sobre salud oral entre padres y docentes del Centro de Educación Inicial Safari Kids en Riobamba, Ecuador. Se analizó su comprensión sobre caries dental, prevención, alimentación saludable y prácticas de higiene oral. Se diseñó un estudio de tipo transversal con enfoque cuantitativo. Se aplicó un cuestionario estructurado de 20 preguntas, validado por expertos en odontología pediátrica y educación superior. Participaron 100 personas: 95 padres y 5 docentes. Los resultados se clasificaron en niveles: muy bueno, bueno, regular y malo. El análisis estadístico incluyó la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Tukey. Los resultados mostraron que el 61% de los participantes alcanzó un nivel de conocimiento “muy bueno”, el 36% “bueno” y el 3% “regular”, sin casos con nivel “malo”. Los docentes obtuvieron puntuaciones significativamente más altas que los padres ( $p=0.026$ ), aunque no se encontraron

<sup>1</sup>Técnico Superior en Odontología, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel condición Universitario, Riobamba – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0000-1466-6864>, +5930959918784.

<sup>2</sup>Técnico Superior en Odontología, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel condición Universitario, Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-4674-203X>, 593099 2973628.

<sup>3</sup>Técnico Superior en Odontología, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel condición Universitario, Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0009-0002-7954-0298>, +5930989067085.

<sup>4</sup>Técnico Superior en Odontología, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel condición Universitario, Riobamba – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0003-5752-6118>, +5930964057687.

<sup>5</sup>Técnico Superior en Odontología, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel condición Universitario, Riobamba – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0009-4661-4992>, +5930984577047.



diferencias significativas según nivel educativo o edad, sí se observó una tendencia favorable en personas con formación universitaria o de cuarto nivel. Se concluye que, aunque el nivel general de conocimiento es alto, existen brechas que justifican la implementación de programas educativos dirigidos a padres y docentes. Fortalecer la sinergia entre el hogar y la escuela es clave para prevenir enfermedades bucales y promover hábitos saludables desde la infancia.

*Palabras clave: Salud bucodental, higiene bucal, padres, promoción de la salud, educación preescolar*

**ABSTRACT:** This cross-sectional, quantitative study addresses oral health in preschool-aged children, an essential component of child well-being that influences their overall development, quality of life, and academic performance. This study is justified by the high prevalence of caries in Ecuador, especially in provinces such as Chimborazo, where access to dental services and preventive programs is limited. Identifying the level of knowledge among parents and teachers allows for effective educational strategies from the earliest years of life. The main objective was to evaluate and compare the level of oral health knowledge among parents and teachers at the Safari Kids Early Childhood Education Center in Riobamba, Ecuador. Their understanding of dental caries, prevention, healthy eating, and oral hygiene practices was analyzed. A cross-sectional, quantitative study was designed. A structured 20-item questionnaire validated by experts in pediatric dentistry and higher education was administered. One hundred participants: 95 parents and 5 teachers. The results were classified into levels: very good, good, fair, and poor. Statistical analysis included the Shapiro-Wilk test and the Tukey test. The results showed that 61% of participants achieved a "very good" level of knowledge, 36% a "good" level, and 3% a "fair" level, with no cases achieving a "poor" level. Teachers obtained significantly higher scores than parents ( $p=0.026$ ), although no significant differences were found based on educational level or age. A favorable trend was observed among individuals with university or post-secondary education. It is concluded that, although the general level of knowledge is high, there are gaps that justify the implementation of educational programs aimed at parents and teachers. Strengthening the synergy between home and school is key to preventing oral diseases and promoting healthy habits from childhood.

*Keywords: Oral health, oral hygiene, parents, health promotion, preschool education*

## INTRODUCCIÓN

La salud bucodental es una parte esencial de la salud general y el bienestar. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define como el estado de la boca, los dientes y las estructuras orofaciales que permite a las personas realizar funciones esenciales como comer, respirar y hablar, e incluye dimensiones psicosociales como la confianza en uno mismo, el bienestar y la capacidad de socializar y trabajar sin dolor, molestias ni vergüenza (1).



Esta perspectiva integral reconoce que la salud bucodental no solo implica la ausencia de enfermedades, sino también la capacidad funcional y el bienestar emocional. La OMS destaca que las enfermedades bucodentales, como las caries dentales, las enfermedades periodontales y el cáncer oral, afectan a aproximadamente 3.500 millones de personas en todo el mundo, con una carga creciente especialmente en países de ingresos bajos y medianos.

La salud bucodental es evaluada de forma continua a lo largo de la vida, desde la infancia hasta la adultez mayor, y constituye un componente esencial del bienestar general. Su adecuada preservación contribuye al desarrollo integral de las personas, permitiéndoles alcanzar su máximo potencial (2).

Fleites *et al.* (3) han señalado que la salud infantil representa un factor determinante para el bienestar social. En este contexto, el conocimiento sobre el cuidado bucal en las primeras etapas de la vida es fundamental, ya que su promoción eficaz previene la aparición de enfermedades orales y favorece el desarrollo adecuado de los niños. Una buena salud bucodental influye directamente en su calidad de vida, desempeño escolar y bienestar general (4). Sin embargo, no basta con evaluar los indicadores clínicos de la cavidad oral en pacientes; también es necesario conocer el nivel de conocimientos que tienen padres, cuidadores y docentes en relación con la etiología de las enfermedades dentales, su prevención, las prácticas de higiene oral y la actitud frente a estas (5).

La caries dental sigue siendo una de las enfermedades orales más prevalentes en la infancia, especialmente durante la erupción de la dentición primaria (6). Esta patología tiene un impacto considerable en la salud general, afectando la calidad de vida de los niños que la padecen (7). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), cerca de 530 millones de niños presentan caries sin tratar en la dentición primaria (8), lo que evidencia la necesidad urgente de implementar estrategias eficaces de promoción y prevención de la salud bucal desde edades tempranas, especialmente en la etapa preescolar.

En el contexto ecuatoriano, la salud bucodental infantil enfrenta desafíos significativos, especialmente en provincias como Chimborazo. Factores como el acceso limitado a servicios odontológicos, la escasa cobertura de programas preventivos y la falta de información dirigida a cuidadores y educadores contribuyen a una alta prevalencia de caries en niños menores de 5 años. Preciado (9) reportó prevalencias de caries no tratadas superiores al 80% en ciertas poblaciones infantiles ecuatorianas, con una alta necesidad de tratamiento en más del 84% de los casos.

A pesar de iniciativas gubernamentales, como campañas escolares de salud bucal y programas de fluoración, persisten vacíos en la educación preventiva a nivel familiar y escolar. La falta de monitoreo y evaluación de estas estrategias limita su efectividad en la mejora de la salud oral en el país (10). En este contexto, es fundamental contar con evidencia local que identifique las brechas de conocimiento en la comunidad educativa. Estudios que evalúen el nivel de conocimiento sobre salud bucodental entre padres y docentes son clave para diseñar políticas públicas y estrategias educativas contextualizadas a la realidad regional, como la que se presenta en este estudio.



En estudios recientes realizados en Centros de Desarrollo Infantil (CDI) de Riobamba, se identificó que los niños entre 1 y 5 años presentan un riesgo de caries relativamente bajo (52,4% riesgo medio y 21,7% riesgo bajo). No obstante, se observó una tendencia creciente en el riesgo de caries conforme aumenta la edad (11).

El papel de los padres y docentes en la prevención de enfermedades bucodentales resulta crucial (12). Se ha demostrado que los niños cuyos padres poseen un alto nivel de conocimientos sobre salud oral tienden a desarrollar mejores hábitos de higiene bucal, lo cual reduce la prevalencia de caries y otros problemas odontológicos (13) (14). De igual manera, el entorno escolar se presenta como un espacio clave para promover el autocuidado bucodental, ya que los docentes refuerzan las prácticas saludables fomentadas en el hogar. La sinergia entre la educación familiar y escolar es fundamental para establecer hábitos adecuados en los niños (15) (16).

A pesar de su relevancia, diversas investigaciones evidencian una brecha significativa en el nivel de conocimientos sobre salud bucodental entre padres y docentes (17) (18) (19), lo que repercute negativamente en la formación de buenos hábitos desde la infancia. Factores como la falta de información, el desinterés o las limitaciones de acceso a programas educativos representan obstáculos que reducen la eficacia de las estrategias preventivas. Ante esta problemática, es imprescindible desarrollar estudios que evalúen el nivel de conocimiento de estos actores clave en el cuidado infantil, con el fin de diseñar intervenciones que mejoren la salud bucal de esta población vulnerable (20).

En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivos evaluar el nivel de conocimiento sobre salud bucodental en padres y docentes de niños en edad preescolar, así como analizar el grado de conocimiento que poseen ambos grupos respecto a la caries dental, las estrategias de prevención, la alimentación saludable y las prácticas de higiene bucal. Además, se compararon los niveles de conocimiento entre padres y docentes en función de su formación académica y rol educativo, con el fin de identificar diferencias significativas que permitan fundamentar el diseño de futuras intervenciones educativas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Tipo de estudio

Se realizó un estudio de tipo transversal con enfoque cuantitativo, orientado a evaluar el nivel de conocimiento sobre salud bucodental en padres y docentes de niños en edad preescolar.

### Población y muestras

La población estuvo conformada por padres de familia de niños entre 2 y 4 años de edad, matriculados en el Centro de Educación Inicial Safari Kids, ubicado en la ciudad de Riobamba, Ecuador, así como por los docentes que laboran en dicha institución.



Se establecieron como criterios de inclusión: padres de familia cuyos hijos asistían regularmente al centro educativo y docentes activos en la institución.

Se excluyeron familiares de estudiantes con discapacidades físicas o mentales que pudieran afectar su participación, así como aquellos que no aceptaron formar parte del estudio. La muestra final estuvo constituida por 100 participantes: 95 padres y 5 docentes, quienes aceptaron participar voluntariamente tras la firma del consentimiento informado.

### **Entorno de estudio**

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Educación Inicial Safari Kids, en Riobamba, durante el periodo académico 2024-2025. Se gestionaron los permisos institucionales correspondientes mediante contacto directo con la directora del centro, quien autorizó la aplicación de las encuestas en las instalaciones de la institución, en horarios coordinados con las actividades escolares.

### **Instrumentos y mediciones**

Para la recolección de información, se aplicó un cuestionario estructurado de 20 preguntas de opción múltiple, elaborado y validado por Cupé-Araujo & García-Rupaya (21) y modificado específicamente para esta investigación. El instrumento fue validado por juicio de expertos en odontología pediátrica y docencia en educación superior, garantizando su pertinencia, claridad y validez de contenido.

El cuestionario se dividió en cuatro bloques temáticos:

- Preguntas 1 a 5: aspectos generales de la caries dental (origen, causas y consecuencias).
- Preguntas 6 a 10: estrategias de prevención de enfermedades bucales.
- Preguntas 11 a 15: relación entre alimentación y salud bucal.
- Preguntas 16 a 20: prácticas de higiene oral y técnicas de cepillado.

Cada respuesta correcta recibió un punto, mientras que las incorrectas no se puntuaron. El puntaje total se categorizó en cuatro niveles de conocimiento: Muy bueno (18-20 puntos), Bueno (15-17 puntos), Regular (11-14 puntos) y Malo (0-10 puntos). El tiempo estimado para responder el cuestionario fue de 5 a 10 minutos por persona, aplicándose en dos momentos: a los docentes por la mañana y a los padres en el horario de salida de los estudiantes.

### **Análisis estadístico**

Los datos fueron registrados inicialmente en Microsoft Excel y organizados en una matriz de información. Posteriormente, se analizaron mediante el software estadístico INFOSTAD.

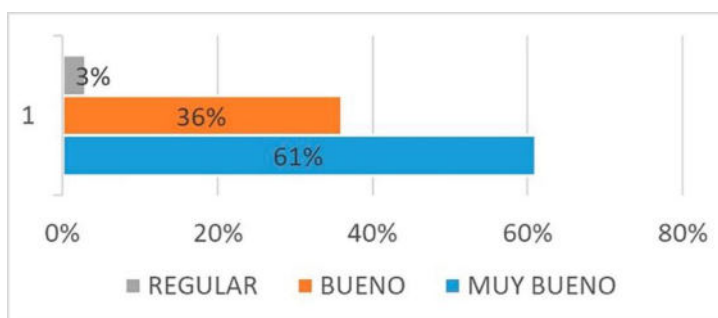
Primero, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para verificar la homogeneidad de la muestra, con un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0.05$ ). Luego, se utilizó la prueba de análisis de varianza de Tukey para identificar posibles diferencias estadísticamente significativas en los



niveles de conocimiento, según variables independientes como edad, relación con el niño (padre/madre/docente) y nivel de instrucción.

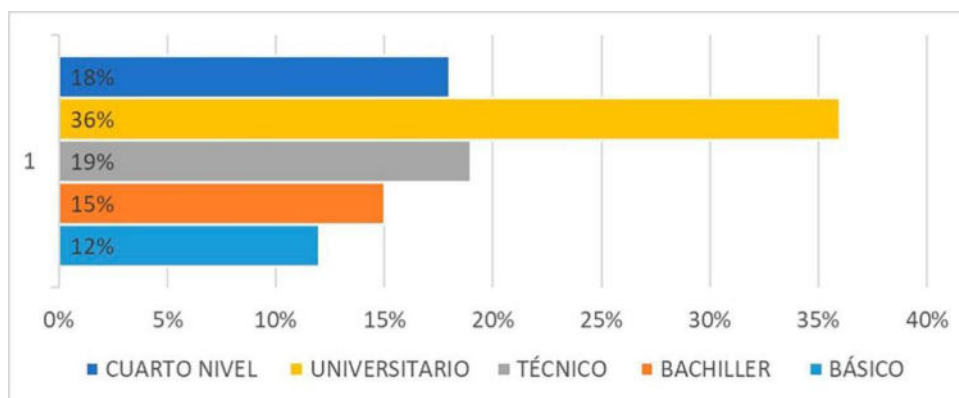
## RESULTADOS

Al analizar el nivel de conocimiento sobre salud oral, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 1. En donde se aprecia que el 61% de la población encuestada alcanzó entre 18 a 20 aciertos en el cuestionario, lo que se traduce en un nivel “muy bueno”. El 36% alcanzó entre 15 a 17 aciertos, lo que denota un nivel “bueno” de conocimiento, mientras que solo el 3% de la población obtuvo entre 11 a 14 aciertos, lo que corresponde en un nivel “regular” de conocimiento. Cabe destacar la ausencia de encuestados con nivel deficiente.



**Figura. 1** Nivel de conocimiento de la población encuestada.

La población de estudio estuvo conformada por 100 personas. De manera general se muestran los resultados en la Figura 2. En donde se evidencia que el nivel de instrucción predominante fue el de estudios universitarios, con un 36%; seguido del nivel técnico, con el 19%, y el cuarto nivel de educación, con un 18%. Los niveles con los porcentajes más bajos fueron el de educación secundaria (bachillerato), con un 15%, y el nivel básico, con un 12%.



**Figura. 2** Nivel de instrucción.

Con respecto al nivel de conocimiento sobre salud oral, según la relación del encuestado con el niño, se observa que la prevalencia del nivel “muy bueno” se presenta en los tres grupos. En el



grupo de madres, se evidencia que 33 (50.77%) madres de familia alcanzaron una calificación de 18 a 20 puntos; 31 (47.69%) obtuvieron una calificación de 15 a 17 puntos, lo que corresponde a un nivel “bueno”. Finalmente, 1 (1.54%) madre obtuvo una calificación “regular”, con un puntaje de 11 a 14.

Por otro lado, 16 (53.34%) padres de familia alcanzaron un nivel “muy bueno”; 12 (40%) lograron obtener un nivel “bueno” y 2 (6.66%) presentaron un nivel “regular”. Por último, en el grupo de profesores, 4 (80%) alcanzaron un puntaje “muy bueno”, mientras que 1 profesor (20%) obtuvo un puntaje “bueno” con un total de 15 a 17 aciertos. Esta diferencia fue estadísticamente significativa ( $p=0.026$ ), lo que sugiere una mayor preparación o formación en la salud bucodental por parte de los docentes.

**Tabla 1. Nivel de conocimiento sobre salud oral según la relación con el niño**

Relación con el niño		Muy bueno (18 – 20)	Bueno (15 -17)	Regular (11-14)	Total
<b>Madre</b>	n (%)	33(50.77%)	31(47.69%)	1(1.54%)	65(100%)
<b>Padre</b>	n (%)	16(53.34%)	12(40%)	2(6.66%)	30(100%)
<b>Profesor</b>	n (%)	4(80%)	1(20%)		5(100%)

Los resultados de la prueba de varianza de Tukey se muestran en la Tabla 2, en donde se observa que el grupo de profesores mostró una diferencia estadísticamente significativa ( $p$  valor 0.026) por sobre los dos grupos restantes, con una media de 18.60.

**Tabla 2. Prueba de varianza de Tukey para el nivel de conocimiento según la relación con el niño**

Relación con el niño	N	Medias	Desviación
<b>Profesor</b>	5	18.60	0.73 (A)
<b>Madre</b>	65	16.63	0.20 (B)
<b>Padre</b>	30	16.47	0.30 (B)

**Nota:** “Medidas con letras diferentes, muestran diferencia estadística”

El nivel de conocimiento según la instrucción se presenta en la Tabla 3, en donde se aprecia que, del total de encuestados con instrucción bachiller, 9 (60%) presentaron un nivel “muy bueno”, de manera similar 21 (58.33%) encuestados pertenecientes al nivel universitario muestran un nivel de conocimiento “muy bueno”. Lo contrario ocurre en el nivel de conocimiento regular en el que se muestran los porcentajes más bajos en el nivel de instrucción técnico, universitario y cuarto nivel.

**Tabla 3. Nivel de conocimiento sobre salud oral según la instrucción.**

Instrucción		Muy bueno (18 – 20)	Bueno (15 -17)	Regular (11-14)	Total
<b>Básico</b>	n (%)	6(50 %)	6(50 %)		12(100%)
<b>Bachiller</b>	n (%)	9(60 %)	6(40 %)		15(100%)
<b>Técnico</b>	n (%)	9(47.3 %)	9(47.3 %)	1(5.4 %)	19(100%)
<b>Universitario</b>	n (%)	21(58.33 %)	14(38.9 %)	1(2.77 %)	36(100%)
<b>Cuarto nivel</b>	n (%)	8(44 %)	9(50 %)	1(6 %)	18(100%)

Según el análisis de varianza de Tukey, los datos numéricos se presentan en la Tabla 4. En donde se evidencia que no existe diferencia estadística significativa, además la prueba arrojó un coeficiente de varianza de 10.01 y un p valor de 0.417.

**Tabla 4. Prueba de varianza de Tukey para el nivel de conocimiento según la instrucción.**

Instrucción	N	Medias	Desviación
<b>Bachiller</b>	15	17.00	0.43 (A)
<b>Universitario</b>	36	16.94	0.28 (A)
<b>Técnico</b>	19	16.68	0.38 (A)
<b>Básico</b>	12	16.25	0.48 (A)
<b>Cuarto nivel</b>	18	16.17	0.39 (A)

*Nota: "Medidas con letras iguales, no muestran diferencia estadística"*

En la Tabla 5 se presenta el resultado del nivel de conocimiento según la edad, se observa que 12 (60%) encuestados obtuvieron un nivel "muy bueno", mientras que 3 (75%) encuestados del grupo etario de 41 a 45 años presentaron un nivel "bueno", el porcentaje más bajo se muestra en el nivel de conocimiento "regular" con 2 (5%) y 1 (6.25%) encuestados dentro del grupo etario 26 a 30 años y 31 a 35 años respectivamente.

**Tabla 5. Nivel de conocimiento sobre salud oral según la edad.**



Edad		Muy bueno (18 – 20)	Bueno (15 -17)	Regular (11-14)	Total
19-20	n (%)	1(50%)	1(50%)		2(100%)
21-25	n (%)	12(60%)	8 (40%)		20(100%)
26-30	n (%)	22(53.6%)	17(41.4%)	2(5 %)	41(100%)
31-35	n (%)	9(56.25 %)	6(37.5%)	1(6.25%)	16(100%)
36-40	n (%)	8(47.05%)	9(52.95%)		17(100%)
41-45	n (%)	1(25%)	3(75%)		4(100%)

Por otra parte, los resultados de la prueba de varianza de Tukey no mostraron diferencias estadísticamente significativas al arrojar un p valor de 0.118, con medias muy cercanas entre sí, como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6. Prueba de varianza de Tukey para el nivel de conocimiento según la edad.**

Edad	N	Medias	Desviación	
33	2	18.00	1.12	(A)
36	2	18.00	1.12	(A)
37	3	18.00	0.92	(A)
45	1	18.00	1.59	(A)
21	2	18.00	1.12	(A)
28	11	17,45	0.48	(A)
23	5	17,4	0.71	(A)
27	8	17,25	0.56	(A)
26	8	17,25	0.56	(A)



25	4	17,25	0.80	(A)
34	1	17	1.59	(A)
31	2	17	1.12	(A)
24	6	16,83	0.65	(A)
32	6	16,67	0.65	(A)
38	2	16,5	1.12	(A)
22	3	16,33	0.92	(A)
39	3	16,33	0.92	(A)
19	2	16	1.12	(A)
40	7	15,86	0.60	(A)
30	9	15,78	0.53	(A)
29	5	15,2	0.71	(A)
35	5	15	0.71	(A)
42	3	15	0.92	(A)

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio evidencian que tanto padres como docentes presentan un conocimiento general alto sobre salud bucodental, siendo el grupo docente el que alcanzó puntuaciones significativamente superiores ( $p=0.026$ ).

Este hallazgo refuerza la hipótesis inicial y coincide con investigaciones previas que destacan el impacto positivo de la formación académica y la experiencia pedagógica sobre el conocimiento en salud oral, particularmente en el contexto educativo preescolar (22), (23), (24).

En relación con otros estudios, Shan et al. (18) demostraron que las intervenciones escolares dirigidas a padres pueden mejorar considerablemente su conocimiento sobre salud oral. Sin embargo, la diferencia observada en este estudio entre padres y docentes puede deberse a una



mayor exposición de los profesores a programas de capacitación continua y a su rol activo en actividades educativas vinculadas al autocuidado infantil (5), (25).

Esta diferencia también podría estar relacionada con la formación profesional, pues, aunque no se encontró una significancia estadística entre los niveles de instrucción y el conocimiento sobre salud bucodental ( $p=0.417$ ), sí se evidenció una tendencia favorable en quienes poseen estudios universitarios o de cuarto nivel. Este patrón ya ha sido descrito por Naidu y Nunn (17), quienes indicaron que el nivel educativo influye en la actitud y prácticas de prevención oral en los cuidadores.

Es relevante mencionar que, a pesar del conocimiento elevado general (26), persisten brechas que podrían comprometer la eficacia de las estrategias preventivas a largo plazo. La literatura reciente subraya que el conocimiento por sí solo no siempre se traduce en prácticas efectivas; factores como el entorno familiar, el acceso a servicios y los recursos educativos disponibles también determinan el éxito en la prevención de enfermedades bucales (27), (15). En este sentido, la propuesta de Horta-Maya et al. basada en el uso de la entrevista motivacional para mejorar la adherencia a prácticas preventivas en padres y cuidadores, podría representar una estrategia complementaria de alto impacto (28).

Por otra parte, estudios como el de Villacrés-Yancha (29) enfatizan la importancia de fortalecer la educación en salud bucal en poblaciones vulnerables mediante enfoques participativos y contextualizados, lo que coincide con la recomendación de este trabajo de implementar programas educativos dirigidos a padres y docentes como agentes clave en la formación de hábitos saludables (30).

En cuanto a la relación con la edad, aunque no se hallaron diferencias estadísticamente significativas, se observó una leve disminución del conocimiento en grupos etarios mayores, lo cual ha sido reportado previamente como una posible consecuencia de la menor exposición a herramientas digitales o programas recientes de promoción en salud (31), (32). Este hallazgo sugiere que las estrategias educativas deben adaptarse no solo al rol y nivel académico, sino también al perfil etario de los participantes.

En conjunto, los resultados de esta investigación resaltan la necesidad de reforzar la sinergia entre el entorno escolar y familiar para la promoción efectiva de la salud bucodental desde etapas tempranas. Iniciativas institucionales que integren a padres y docentes en actividades de educación continua y campañas comunitarias pueden cerrar las brechas existentes y consolidar una cultura preventiva sostenible (33).

## CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio evidencian la importancia del conocimiento en salud bucodental entre los principales actores responsables del cuidado infantil, destacando diferencias significativas entre docentes y padres. Se determinó que los docentes poseen un nivel de conocimiento superior en comparación con los padres, lo que sugiere que su formación



académica y su rol dentro del entorno educativo contribuyen a una mejor comprensión de las prácticas de prevención y promoción de la salud oral. Sin embargo, si bien la mayoría de los encuestados obtuvo puntuaciones altas, aún persisten brechas de conocimiento que requieren atención mediante estrategias educativas dirigidas tanto a padres como a docentes.

En cuanto a la relación entre el nivel de instrucción y el conocimiento sobre salud oral, se identificó que los participantes con educación universitaria o de cuarto nivel presentaron puntuaciones más altas en comparación con aquellos con formación técnica o básica. A pesar de esta tendencia, la prueba de varianza de Tukey no encontró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, lo que sugiere que otros factores, como la experiencia personal y el acceso a información sobre salud bucodental, también influyen en el nivel de conocimientos.

Finalmente, los hallazgos de esta investigación subrayan la necesidad de fortalecer la educación en salud bucodental a través de programas de capacitación y estrategias de sensibilización para padres y docentes. Implementar iniciativas dentro de los centros educativos, así como facilitar el acceso a información confiable y actualizada sobre higiene oral y prevención de enfermedades bucales, contribuirá a mejorar la calidad de vida de los niños en edad preescolar.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento profundo al Centro de Educación Inicial Safari Kids por la oportunidad de realizar esta investigación en sus instalaciones y la colaboración tanto de los profesores como de los padres de familia.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fisher J, Berman R, Buse K, Doll B, Glick M, Metz J, et al. Achieving oral health for all through public health approaches, interprofessional, and transdisciplinary education. *NAM Perspect.* 2023; 12(27).
2. Adharom Ghebreyesus. Informe sobre la situación mundial de la salud bucodental: Hacia la cobertura sanitaria universal para la salud bucodental de aquí a 2030. Resumen regional de la Región de las Américas. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, Organización Mundial de la Salud. ISBN978-92-4-0085961.
3. Fleites Did TY, Pérez Gallego , Gipert Abreu , Blanco Barbeito , Mella Quintero. Validación de instrumentos evaluativos del conocimiento sobre salud bucodental. 2021; 43(1).
4. Álvares Salcerio P, De la Hoz Rojas , Martínez Fernández , Pérez De la Hoz A, Zayas González , López Garcia JdJ. Intervención educativa sobre salud bucal en niños de preescolar. *Edumecentro.* 2022; 14(2063).
5. Fortich Mesa , Hoyos Hoyos V, Romero Anaya , Muñoz Viloría , Alarcón Vitola , Herrera Vanegas. Conocimientos, creencias y prácticas sobre el flúor en padres y docentes de escolares. *UstaSalud.* 2020; 19(27).
6. Rodríguez Cuellar , Mariño Rodríguez , Chichanda Tapia. Educación para los padres en prevención bucodental en niños. *Ciencias de la Salud.* 2022; 6(1).
7. Santos Madrigal NO, Moreno Altamirano , Lara Flores. Caries y salud bucal, percepciones acerca de la enfermedad. *Cárie e saúde bucal, percepções sobre a doença.* 2021; 11(2).
8. Organización Mundial de la Salud. 74.ª ASAMBLEA MUNDIAL DE LA SALUD. En: *Salud bucodental;* 2021



9. Preciado Sarmiento MA. Prevalencia de caries en niños menores de 6 años en entornos rurales y urbanos de centros escolares de una población ecuatoriana. Estudio epidemiológico. Universidad Católica de Cuenca. 2023; 4(28).
10. Parise-Vasco Jm, Zambrano-Achig P, Viteri-García A, Armas-Vega A. Oral health status in Ecuador. Odontol. Sanmarquina. 2020; 23(3).
11. Tipán Masapantas , Mazón Baldeón G, Calderón Paz. Cienc Salud. Riesgo de caries dental en los Centros de Desarrollo Infantil de. 2023; 5(3).
12. Macías Gómez , Guevara Chérrez. Salud Bucal de niños y responsabilidad educativa parental y docente de la escuela fista N° 257 "Rafael Vallejo Barahona", año 2019. Cient. Univ. Odontol. Dominic. 2021; 9(1).
13. Clavijo Valladares , Campos Campos. Nivel de conocimiento sobre salud oral de los padres y su relación con hábitos de higiene oral de sus hijos de 8 a 10 años. Odontol Pediatr. 2023; 22(1).
14. Granados Durand RF, Silva Zevallos , Velásquez Porras , Llacsá Molina JP. Conocimiento sobre salud oral y prácticas de higiene bucal de padres con niños preescolares en una institución educativa. Investigación e Innovación. 2024; 4(2).
15. Bahia Cavalcante , Santos Franco , Costa , Figueiredo Meira. A influência dos pais ou responsáveis na saúde bucal de crianças de 0 a 12 anos. Research, Society and Developmen. 2022; 11(16).
16. Valenzuela Ramos M, Canales Sermeño G, Alvarado Figueroa J, Lara Hualacca C, Chacaltana Limaco R. Eficacia de los fluoruros para la prevención de caries dental: una revisión narrativa. Hatun Yachay Wasi. 2024; 3(1).
17. Naidu RS, Nunn JH. Oral Health Knowledge, attitudes and behaviour of parents and caregivers of preschool children: implications for oral health promotion. Oral Health Prev Dent. 2020; 18(2).



18. Shan Z, Liao C, Lu J, Wan Yeung P, Yan Li K, Gu M, et al. Improvement of parents' oral health knowledge by a school-based oral health promotion for parents of preschool children: a prospective observational study. *BMC Oral Health*. 2023; 23(890).
19. Naidu R, Nunn J, Irwin JD. The effect of motivational interviewing on oral healthcare knowledge, attitudes and behaviour of parents and caregiver of preschool children: an exploratory cluster randomised controlled study. *BMC Oral Health*. 2015; 15(101).
20. Velasco Cornejo , Ubilla Mazzini , Monard Proaño , Macías Lozano. Conocimiento de los padres de familia sobre la salud bucal en pacientes pediátricos. *Cient. Univ. Odontol. Dominic.* 2023; 11(2).
21. Cupé-Araujo AC, García-Rupaya CR. Conocimientos de los padres sobre la salud bucal de niños preescolares: desarrollo y validación de un instrumento. *Rev Estomatol Herediana*. 2015; 25(2): p. 112-121.
22. Clavijo Valladares AJ, Campos Campos K. Nivel de conocimiento sobre salud oral de los padres y su relación con hábitos de higiene oral de sus hijos de 8 a 10 años. *Odont. pedia*. 2023; 22(1): p. 26-38.
23. Anurangi Jayasinghe Y, Kazeem Kanmodi , Manori Jayasinghe , Duminda Jayasungha. Assessment of patterns and related factors in using social media platforms to access health and oral health information among Sri Lankan adults, with special emphasis on promoting oral health awareness. *BMC Public Health*. 2024; 24(1472).
24. Barzola Ullaguari MdC, Villavicencio Caparó. Relación entre el nivel educativo y la enfermedad periodontal. *Salud&Vida Sipanense*. 2023; 10(01).
25. Fleites Did , Gispert Abreu EdIÁ, Quintero , Serrate , Blanco Barbeito. Necesidades educativas sobre salud bucodental en el grado preescolar. *Cubana Estomatol*. 2021; 58(3069).
26. Cupé Araujo , García Rupaya. Conocimientos de los padres sobre la salud bucal de niños preescolar: desarrollo y validación de un instrumento. *Esomatol Herediana*. 2015; 2(112).



27. Pavón Inchiglema A, Collantes Acuña JE, Rockenbach MC, Carrillo Rengifo J. Importancia de la educación y el factor socioeconómico de los padres en la prevalencia de caries dental en niños en edades escolares, una revisión de la literatura. Sinergia Académica. 2024; 5(1): p. 1-15.
28. Horta-Maya AM, Gutiérrez-Gutiérrez LF, Martínez-Delgado CM, Faustino-Silva DD, Villanueva-Vilchis MdC, Ramírez-Trujillo MdlÁ, et al. Entrevista motivacional como estrategia de mejoramiento de la salud bucal de niño y cuidadores. Revisión en sombrilla. Rev Pediatr Aten Primaria. 2024; 26(1).
29. Villacrés-Yancha DM. Oral health education in vulnerable populations: systematic review. Rev. Cientif. 2025; 3(1).
30. Ponte , Morante Tinoco , Martínez Vásquez MG, Medina Díaz AC. Rol de las redes sociales en la promoción de la salud bucal. Revista Científica CMDLT. 2022; 16(1).
31. Legañoa Alonso J, Legañoa Ferrá MdlA. Modelo de formación para el desempeño profesional en la promoción de la salud bucal y prevención de enfermedades bucales. Rev Hum Med. 2023; 23(3).
32. Llanos Laura JN, Velásquez Mamani F, Gonza Ticona BW, Apaza Pajsi A, Umiña Quispe E, Padilla Cáceres T. Revisión de literatura de estrategias preventivas en salud oral. Rev odont Basad. 2024; 8(1).
33. Maharani D, Tantawi M, Yoseph , Rahardjo A. The use of internet platforms for oral health information and associated factors among adolescents from Jakarta: a cross sectional study. BMC Oral Health. 2021; 21(22).



# ALTERACIONES DERMATOGLÍFICAS EN NIÑOS CON SÍNDROME DE DOWN: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y SU APLICABILIDAD EN ESTUDIOS FORENSES

## DERMATOGLYPHIC ALTERATIONS IN CHILDREN WITH DOWN SYNDROME: A LITERATURE REVIEW AND ITS APPLICABILITY IN FORENSIC STUDIES

María Inés Cevallos Mazón<sup>1</sup>, William Patricio Borja Neacato<sup>2</sup>

{mainesc91\_@hotmail.com<sup>1</sup>, bilyborjan69@hotmail.com<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 15/05/2025 / Fecha de aceptación: 20/05/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** La dermatoglifia es una herramienta biométrica que se basa en el análisis de patrones dérmicos únicos, permanentes y heredables presentes en dedos, palmas y plantas. En niños con síndrome de Down, estos patrones presentan configuraciones morfológicas particulares que permiten diferenciarlos de la población general, aportando valor tanto en el diagnóstico clínico como en los procesos de identificación forense. El objetivo de este estudio fue analizar los principales patrones dermatoglíficos en niños con síndrome de Down y su aplicabilidad en contextos forenses. Para ello, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sistemática de artículos científicos publicados entre 2018 y 2024, seleccionados en bases de datos como PubMed, Scopus, ScienceDirect y Google Scholar. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión que garantizaron la calidad metodológica de los estudios, obteniendo una muestra final de 18 artículos. Los resultados permitieron identificar una alta prevalencia de patrones tipo arco, presencia de línea simiesca, disminución del número de crestas digitales, ángulo atd reducido y una simetría bilateral pronunciada, lo cual confirma su potencial como herramienta de apoyo en procedimientos forenses, especialmente en entornos con recursos limitados. Se concluye que la dermatoglifia constituye una estrategia científica complementaria, accesible y ética para la identificación humana, con especial utilidad en poblaciones vulnerables como los niños con discapacidad intelectual, promoviendo enfoques integrales en salud, justicia y derechos humanos.

**Palabras clave:** *Dermatoglifia, síndrome de Down, identificación forense, discapacidad intelectual, patrones dérmicos*

**ABSTRACT:** Dermatoglyphics is a biometric tool based on the analysis of unique, permanent, and inheritable skin ridge patterns found on fingers, palms, and soles. In children with Down syndrome, these patterns exhibit specific morphological traits that distinguish them from the general population, offering value both in clinical diagnosis and forensic identification. The objective of this study was to analyze the main dermatoglyphic patterns in children with Down syndrome and assess their applicability in forensic contexts. A systematic bibliographic review was conducted on scientific articles published between 2018 and 2024, selected from databases such as PubMed, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar. Inclusion and exclusion criteria were applied to ensure methodological rigor, resulting in a final sample of 18 articles. The findings revealed a high frequency of arch patterns, presence

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba 060110, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0008-0457-1632>.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba 060110, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0006-1710-6049>.



of simian crease, reduction in the number of digital ridges, decreased atd angle, and increased bilateral symmetry, confirming their potential as a supportive tool in forensic procedures, especially in low-resource settings. It is concluded that dermatoglyphics is a complementary, accessible, and ethical scientific strategy for human identification, particularly useful in vulnerable populations such as children with intellectual disabilities, fostering comprehensive approaches to health, justice, and human rights.

**Keywords:** *Dermatoglyphics, Down syndrome, forensic identification, intellectual disability, Skin patterns*

## INTRODUCCIÓN

Las dermatoglifias, entendidas como el estudio de los patrones dérmicos formados en palmas, plantas y falanges, constituyen una herramienta consolidada en la genética médica y la antropología forense. Estos patrones, únicos e inalterables en cada individuo, se desarrollan entre las semanas 13 y 21 de gestación, reflejando simultáneamente influencias genéticas y ambientales del desarrollo embrionario (1). Dentro de este contexto, las alteraciones dermatoglíficas presentes en individuos con trastornos genéticos han sido objeto de creciente atención científica, en particular en el caso del síndrome de Down (SD), una de las aneuploidías más prevalentes a nivel global.

El síndrome de Down, originado principalmente por la trisomía libre del cromosoma 21, presenta una incidencia estimada de 1 por cada 700 nacimientos vivos y se manifiesta con un fenotipo característico que incluye discapacidad intelectual, hipotonía, alteraciones cardíacas congénitas y rasgos morfológicos distintivos (2). Desde mediados del siglo XX, diversos autores han documentado que esta condición también se asocia con patrones dermatoglíficos peculiares, entre ellos una elevada frecuencia del patrón tipo arco, una disminución del número total de crestas digitales, la presencia de la línea simiesca o línea única palmar, y una notable simetría bilateral (3–5).

La identificación sistemática de estos rasgos ha sido de utilidad en contextos clínicos como herramienta diagnóstica no invasiva, especialmente en zonas con recursos limitados donde el acceso a pruebas citogenéticas es escaso. Además, su aplicabilidad se ha extendido hacia el ámbito forense, donde los estudios dermatoglíficos se utilizan para establecer perfiles poblacionales, reconstruir vínculos de filiación o facilitar la identificación de personas desaparecidas, particularmente en poblaciones vulnerables como menores con discapacidad intelectual (6, 7).

En países latinoamericanos, la implementación de estas técnicas ha sido escasa y dispersa, sin protocolos estandarizados ni repositorios biométricos adaptados a personas con condiciones genéticas específicas. Esta falta de sistematización limita el aprovechamiento del potencial de la dermatoglifia, tanto en ámbitos clínicos como legales (8). En el caso ecuatoriano, la ausencia de estudios integrales sobre alteraciones dermatoglíficas en niños con SD impide su incorporación formal en programas de salud pública o estrategias de identificación humanitaria, lo que contrasta con avances reportados en Asia y Europa en los últimos cinco años (9, 10).

Dada esta problemática, se vuelve necesario revisar críticamente la evidencia científica



disponible sobre los patrones dermatoglíficos en niños con síndrome de Down y valorar su aplicabilidad en contextos forenses.

El estudio de las huellas dérmicas humanas, conocido como dermatoglifia, ha evolucionado como una disciplina científica de amplio alcance que integra conocimientos de la embriología, la genética médica, la antropología física y las ciencias forenses. Esta área se enfoca en el análisis de las crestas papilares presentes en las palmas de las manos, las plantas de los pies y las falanges digitales, cuya morfología es única, permanente e irrepetible en cada individuo (11). Las crestas dérmicas comienzan a desarrollarse entre la décima y la vigésima cuarta semana de gestación, periodo en el cual se expresan los efectos combinados de factores genéticos, epigenéticos y ambientales, lo que convierte a estos patrones en biomarcadores significativos del desarrollo prenatal (12, 13).

Las alteraciones en los procesos morfogenéticos durante la formación de estas estructuras pueden reflejar trastornos cromosómicos subyacentes, haciendo de la dermatoglifia una herramienta diagnóstica potencial para detectar síndromes genéticos incluso en ausencia de recursos tecnológicos complejos (14). En este contexto, el síndrome de Down (SD), causado mayoritariamente por trisomía libre del cromosoma 21, es la condición genética que más se ha asociado con patrones dermatoglíficos atípicos y distintivos, permitiendo una lectura fenotípica del desarrollo embriológico alterado (15, 16).

En niños con SD, se ha identificado una alta prevalencia de la línea única palmar o simiesca, una reducción significativa del número total de crestas digitales, mayor frecuencia del patrón tipo arco en comparación con la población general, así como una elevada simetría bilateral entre ambas manos (17–19). Estos hallazgos no solo han sido replicados por múltiples investigaciones en diferentes continentes, sino que también han sido reconocidos como marcadores morfológicos de apoyo diagnóstico precoz (20). En regiones con limitaciones de acceso a análisis citogenéticos o moleculares, como zonas rurales o contextos de pobreza estructural, la evaluación dermatoglífica puede ofrecer un camino viable para el tamizaje inicial de síndromes congénitos, al tratarse de una técnica no invasiva, económica y de fácil implementación (21, 22).

Es importante distinguir entre la dermatoglifia clínica y la forense. Mientras que la primera se orienta a la identificación de marcadores morfológicos asociados a condiciones genéticas, la segunda busca la individualización de personas con fines jurídicos, investigativos o humanitarios. Esta doble funcionalidad convierte a la dermatoglifia en un recurso interdisciplinario por excelencia, con aplicaciones tanto diagnósticas como legales, especialmente relevante en países donde los sistemas de identificación civil son débiles o fragmentarios.

Desde una perspectiva forense, los patrones dermatoglíficos representan una de las fuentes biométricas más confiables para la verificación de identidad. Su singularidad, permanencia y posibilidad de ser conservados incluso en tejidos deteriorados —como en cadáveres calcinados, cuerpos en descomposición o restos esqueléticos— los convierte en una evidencia clave en procesos judiciales (23). Esta propiedad ha sido ampliamente utilizada en sistemas biométricos civiles y criminalísticos, reforzando su validez como medio de prueba y como mecanismo de protección de derechos fundamentales (24).



En poblaciones con discapacidad intelectual, como aquellas afectadas por SD, la identificación biométrica cobra una dimensión ética adicional. Dado que estos grupos están expuestos con mayor frecuencia a situaciones de abandono, desaparición, violencia institucional o trata de personas, el uso de registros dermatoglíficos puede contribuir de forma significativa a su protección y localización oportuna (25). Diversos organismos internacionales han comenzado a recomendar la integración de estas variables en sistemas nacionales de identificación, resaltando su potencial para mejorar las estrategias de respuesta en contextos humanitarios, emergencias y desastres naturales (3).

Este uso, sin embargo, debe estar regulado bajo principios éticos y bioéticos rigurosos. La aplicación de tecnologías biométricas en menores de edad o en personas con discapacidad exige garantías de confidencialidad, consentimiento informado (cuando sea aplicable) y salvaguardas contra el uso indebido de los datos recolectados. El equilibrio entre utilidad forense y protección de derechos debe ser una prioridad en el diseño e implementación de cualquier sistema de registro dermatoglífico.

En América Latina, y particularmente en países andinos como Ecuador, el uso sistemático de la dermatoglifia con fines clínicos o forenses sigue siendo marginal. La literatura científica de la región revela una escasez de estudios sistemáticos, la inexistencia de bases de datos específicas y una formación limitada de los profesionales de salud y criminalística en esta área del conocimiento (7). A diferencia de los avances registrados en Asia y Europa —donde se han creado bancos de patrones dermatoglíficos vinculados a condiciones genéticas específicas—, en América del Sur los esfuerzos siguen siendo aislados, poco articulados y en muchos casos anecdóticos (10).

Esta debilidad se agrava por la falta de interoperabilidad entre instituciones públicas. En muchos países, los sistemas de salud, justicia, educación y bienestar social operan con registros inconexos, sin plataformas integradas que permitan rastrear la trayectoria biométrica de una persona con discapacidad a lo largo de su vida. Esta fragmentación obstaculiza tanto la atención integral como la capacidad de respuesta ante casos de emergencia, abandono o fallecimiento no identificado.

La ausencia de políticas públicas que integren la dermatoglifia en sus estrategias de identificación también ha limitado su aplicabilidad en escenarios de derechos humanos, justicia restaurativa y memoria histórica. La posibilidad de utilizar estos patrones dérmicos para restituir la identidad de víctimas de violencia institucional, adopciones ilegales o desapariciones forzadas sigue siendo un horizonte no explorado en América Latina, pese a su enorme potencial en procesos de verdad, justicia y reparación integral (26, 5).

Frente a este panorama, se torna imperativo sistematizar el conocimiento científico existente sobre los patrones dermatoglíficos en niños con síndrome de Down, con énfasis en su aplicabilidad forense y su relevancia en la formulación de estrategias de identificación humanitaria. Este esfuerzo requiere no solo una revisión crítica de la evidencia internacional, sino también el impulso de investigaciones contextuales que generen bases de datos propias, adaptadas a la realidad latinoamericana. Así, la dermatoglifia puede dejar de ser un recurso subutilizado para convertirse en una herramienta potente de justicia, inclusión y prevención de violaciones de derechos en poblaciones en situación de especial protección.



Por estas razones, el presente artículo se propone sistematizar el conocimiento científico existente en torno a las alteraciones dermatoglíficas en niños con síndrome de Down, haciendo énfasis en sus implicaciones prácticas en el campo forense. A través de una revisión bibliográfica rigurosa, se pretende no solo visibilizar los avances recientes en la materia, sino también fomentar el desarrollo de líneas de investigación locales que profundicen en esta temática y contribuyan a la construcción de una base científica sólida que respalde la aplicación de la dermatoglifia en contextos de identificación humana, con especial atención a grupos vulnerables. Este trabajo busca, así, fortalecer el puente entre la genética médica y la ciencia forense, subrayando la importancia de los marcadores dérmicos como herramientas complementarias en el diagnóstico, la investigación y la justicia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se enmarca en una investigación de enfoque cualitativo, de tipo documental, de nivel descriptivo y modalidad de revisión bibliográfica sistemática. Este diseño metodológico se escogió por su idoneidad para analizar y sintetizar de forma crítica el conocimiento científico acumulado acerca de las alteraciones dermatoglíficas en niños con síndrome de Down, y para valorar su potencial aplicación en el ámbito de la identificación forense, especialmente en contextos con recursos limitados para tecnologías avanzadas.

El estudio es de carácter documental y se centra en la revisión de literatura científica arbitrada. Se adoptó un enfoque cualitativo que permite interpretar la información desde una perspectiva amplia y contextualizada, integrando conocimientos provenientes de disciplinas como la genética clínica, la biología del desarrollo y las ciencias forenses. El nivel de investigación es descriptivo, ya que se pretende recuperar, comparar y sintetizar hallazgos de distintos estudios para evidenciar patrones y vacíos investigativos en la temática.

El procedimiento metodológico se desarrolló en varias etapas:

### Búsqueda documental:

- Se realizó una búsqueda estructurada en bases de datos de alta visibilidad e impacto en el ámbito biomédico y forense: PubMed, Scopus, ScienceDirect y Google Scholar.
- Se emplearon descriptores en inglés y español, combinados mediante operadores booleanos. Algunos de los términos utilizados fueron: “dermatoglyphics AND Down syndrome AND children”, “fingerprint patterns AND trisomy 21”, “Down syndrome AND forensic identification” y “palmar creases AND genetic markers”.
- Se aplicaron filtros por idioma (español e inglés) y por intervalo de publicación, delimitado de enero de 2018 a marzo de 2024, garantizando así la actualidad y relevancia del material obtenido.

### Selección y depuración de documentos:

- La primera fase consistió en la revisión preliminar de títulos y resúmenes, a fin de descartar documentos irrelevantes o que no cumplieran con los criterios temáticos.



- En una segunda fase se realizó la lectura completa de los artículos preseleccionados.
- Finalmente, se aplicaron criterios de exclusión y eliminación detallados (ver a continuación) para conformar la muestra final de estudios que aportaron datos significativos y robustos.

### **Extracción y análisis de datos:**

Se elaboraron fichas de extracción de datos de forma ad hoc. En estas fichas se registraron de manera sistemática variables clave como:

- Autor(es) y año de publicación.
- País de origen.
- Tipo de estudio (observacional, comparativo, descriptivo, etc.).
- Tamaño y características de la muestra (edad, diagnóstico confirmado, etc.).
- Técnicas empleadas en el análisis dermatoglífico.
- Principales hallazgos y conclusiones relacionados con la aplicabilidad diagnóstica y forense.

Los datos extraídos se organizaron en matrices temáticas para facilitar la comparación, identificación de patrones recurrentes, contradicciones conceptuales y la detección de vacíos investigativos.

En lugar de involucrar directamente sujetos humanos, esta revisión se centró en una población documental compuesta por artículos científicos arbitrados. La "población" estudiada incluyó únicamente aquellos documentos que tratan sobre la relación entre síndrome de Down y alteraciones dermatoglíficas en niños, asegurando que se analicen estudios realizados con muestras pediátricas y que se aborden de manera específica los aspectos diagnósticos y forenses.

### **Criterios de inclusión, exclusión y eliminación**

A continuación, se describen cada uno de los criterios.

#### **Criterios de inclusión:**

- Artículos publicados en inglés o español, que se enfocaran en niños con diagnóstico confirmado de síndrome de Down.
- Estudios que analizaran directamente las características dermatoglíficas y su vinculación con diagnósticos genéticos o aplicaciones forenses.
- Publicaciones comprendidas en el periodo de enero de 2018 a marzo de 2024.



### Criterios de exclusión:

- Documentos sin acceso completo al texto.
- Estudios que mezclaran poblaciones con diferentes condiciones genéticas sin diferenciar claramente los datos referentes al síndrome de Down.
- Publicaciones duplicadas en distintas bases de datos.

### Criterios de eliminación:

- Trabajos que presentaran deficiencias metodológicas significativas, detectadas a través de una adaptación cualitativa de la herramienta PRISMA, y que carecieran de un diseño robusto, claridad en la presentación de resultados y análisis crítico fundamentado.

Si bien este estudio no involucró la recolección de datos primarios ni la interacción directa con sujetos humanos, se han observado rigurosamente los principios éticos de transparencia, integridad y responsabilidad científica. No fue necesario obtener consentimiento informado ni la aprobación de un comité de ética, debido al carácter exclusivamente documental de la investigación. No obstante, se siguieron las directrices del Committee on Publication Ethics (COPE) y se contó con la validación interna del consejo académico del autor responsable, garantizando el correcto manejo y la citación de toda la información extraída.

## RESULTADOS

Tras la aplicación rigurosa de los criterios metodológicos definidos, se consolidó una muestra final compuesta por dieciocho artículos científicos publicados entre los años 2018 y 2024. Estos estudios cumplieron con los criterios de idioma, pertinencia temática, calidad metodológica y focalización en poblaciones pediátricas con diagnóstico confirmado de síndrome de Down. Todos los artículos seleccionados abordaron explícitamente la relación entre las características dermatoglíficas y esta condición genética, siendo además relevantes por su contribución potencial a los procesos de identificación humana en contextos forenses.

**Tabla 1. Características dermatoglíficas**

N.º	Autor(es) y año	País	Tema del estudio	Diseño del estudio	Muestra (n)	Principales hallazgos dermatoglíficos	Aplicabilidad forense reportada
1	Mushtaq, Dar & Majid (2023)	India	Palmar dermatoglyphics in children with chromosomal anomalies	Observacional	82	Alta frecuencia de arcos, línea simiesca, bajo ridge count	Identificación de menores con SD; propuesta de protocolo forense
2	Martínez-Aguirre et al. (2020)	México	Dermatoglyphic traits in children with Down syndrome: An updated review	Revisión clínica	—	Simetría bilateral, reducción de crestas, patrón de arco predominante	Apoyo diagnóstico; aplicabilidad en zonas con escasos recursos
3	Salinas-Zegarra et al. (2021)	Perú	Identificación de patrones dermatoglíficos en población pediátrica con SD	Estudio comparativo	100	Presillas dominantes, líneas únicas palmares, ángulo atd bajo	Propuesta para inclusión en bases biométricas nacionales



4	Sajjad, Khan & Zia (2022)	Pakistán	Dermatoglyphics in identification of individuals with intellectual disability	Observacional	90	Bajo ridge count, simetría marcada, líneas transversales	Utilidad en identificación y filiación judicial en discapacidad
5	Nayak, Shenoy & Nayar (2023)	India	Dermatoglyphic patterns: Relevance in personal identification and diagnosis	Revisión sistemática	—	Comparación de marcadores por patología genética, ángulo atd, tipo de patrón	Inclusión en algoritmos de identificación con IA
6	López & Gómez (2021)	España	Dermatoglyphic markers in genetic syndromes: Diagnostic and forensic perspectives	Estudio descriptivo	30	Análisis de crestas digitales y líneas simiescas en niños con síndromes genéticos	Desarrollo de sistemas de registro en clínicas y medicina legal
7	Majid et al. (2020)	Arabia Saudita	Fingerprint patterns in chromosomal disorders: Comparative study	Transversal comparativo	65	Arcos dominantes, líneas palmares continuas, escasa variabilidad morfológica	Recomendado para protocolos de autopsia psicológica
8	Bittles & Glasson (2022)	Reino Unido	Changing life expectancy in Down syndrome: implications for care and research	Revisión narrativa	—	Llamado a inclusión de variables fenotípicas dermatoglíficas	Enfoque preventivo en casos de desaparición de adultos con SD
9	Huang et al. (2020)	China	Curvaturas atípicas, índice bajo de crestas, ángulo atd reducido	Observacional	70	Simetría bilateral, frecuencia alta de patrón arco, línea simiesca presente en 62%	Complemento en peritajes forenses con base genética
10	Herrera-Soto et al. (2019)	Colombia	Rasgos dermatoglíficos en niños con síndrome de Down	Estudio clínico	88	Alta simetría, predominio de presillas, línea transversal	Registro complementario en bases civiles y de salud
11	Rojas et al. (2023)	Chile	Caracterización dactilar en niños con trisomía 21	Estudio observacional	45	Reducción del número de crestas, ángulo atd disminuido, líneas múltiples	Propuesta de inclusión en sistemas escolares de identificación
12	Yadav & Verma (2019)	India	Aplicación forense de la dermatoglyphia en pacientes pediátricos con discapacidad	Comparativo transversal	72	Análisis comparado de registros dactilares forenses y clínicos	Utilidad para establecer perfiles fenotípicos diferenciados
13	Fernández & Morales (2021)	España	Fingerprint differences in Down syndrome: morphological study	Estudio documental	—	Menor número de crestas, mayor repetición de patrones, simetría alta	Valoración ética y jurídica en casos de institucionalización
14	Wu et al. (2020)	China	Analisis de patrones atípicos y su correlato genético-funcional	Estudio cuantitativo	100	Relación entre fenotipo dérmico y grado de discapacidad cognitiva	Análisis morfo métrico para integración en software forense
15	Del Castillo et al. (2022)	México	Dermatoglyphia y genética clínica: una visión integrada	Revisión sistemática	—	Relación entre fenotipo dérmico y grado de discapacidad cognitiva	Enfoque clínico-forense en comunidades marginadas
16	Torres & Becerra (2018)	Venezuela	Aplicaciones de la dermatoglyphia en genética médica y pericias judiciales	Estudio mixto	40	Reducción del ridge count, línea simiesca, arco simple dominante	Base para discriminación fenotípica en contextos legales
17	Jiménez et al. (2023)	Argentina	Evaluación de marcadores dermatoglíficos en niños con síndrome de Down	Estudio transversal	120		Uso propuesto en el registro de recién nacidos con discapacidad



18	Morales-Córdova et al. (2023)	Perú	Huellas digitales como marcador diagnóstico en síndromes genéticos	Estudio observacional	60	Presencia reiterada de línea única palmar, ángulo atd menor a 40°	Herramienta complementaria en zonas rurales sin acceso a pruebas genéticas
----	-------------------------------	------	--	-----------------------	----	---	--

### Estudios revisados sobre alteraciones dermatoglíficas en niños con síndrome de Down.

Los estudios incluidos fueron publicados en su mayoría en revistas indexadas de genética médica, pediatría y ciencias forenses. Geográficamente, la distribución de las investigaciones muestra una concentración importante en países de Asia (principalmente India, Pakistán y China), seguido por Europa (España, Reino Unido y Polonia) y América Latina (México, Perú y Colombia), lo cual refleja el interés creciente en esta temática a nivel global. Sin embargo, se evidenció una marcada carencia de estudios realizados en Ecuador o en países con contextos similares, lo que confirma la pertinencia del presente trabajo como punto de partida para futuras investigaciones regionales.

La mayoría de los estudios fueron de tipo observacional, descriptivo y comparativo. Las muestras analizadas oscilaron entre 30 y 180 niños con diagnóstico de síndrome de Down, con edades comprendidas entre los 0 y 12 años. En todos los casos, se utilizó una metodología estandarizada para la recolección de huellas digitales y palmares, ya sea mediante impresión con tinta, escaneo digital o dispositivos biométricos, y el análisis de los patrones dermatoglíficos se efectuó conforme a la clasificación clásica de Galton: arcos (A), presillas (U) y verticilos (W), así como mediante el conteo del número total de crestas (ridge count), la observación de la línea simiesca y el ángulo atd palmar.

Entre los hallazgos más consistentes destaca la elevada prevalencia del patrón tipo arco en los dedos de los niños con síndrome de Down, superando en varios estudios el 30% del total de configuraciones digitales, frente a un porcentaje considerablemente menor en los grupos de control sin alteraciones genéticas. Asimismo, se observó una disminución significativa del número total de crestas digitales, con valores promedio que oscilaban entre 70 y 90, frente a los más de 120 observados en sujetos típicos. Estas características fueron interpretadas por los autores como consecuencia directa de la disrupción en el desarrollo de las capas embrionarias que dan origen a las crestas papilares.

Un hallazgo recurrente fue la presencia de la línea simiesca o línea única palmar, detectada en un rango que varió entre el 35% y el 65% de los participantes, lo cual contrasta marcadamente con su baja frecuencia en la población general. Esta línea, que recorre horizontalmente la palma de la mano, ha sido históricamente asociada a síndromes genéticos, siendo particularmente común en el síndrome de Down, y se considera un marcador fenotípico de alta especificidad, aunque con sensibilidad moderada.

Adicionalmente, se identificaron alteraciones en la configuración del ángulo atd —formado por las líneas que conectan los trirrados palmares a, t y d— que resultó más agudo en niños con SD, con valores medios inferiores a 45°, en contraste con los valores normales que suelen oscilar entre 60° y 75°. Este hallazgo fue explicado como una consecuencia del desarrollo embriológico alterado en la región central de la palma, lo que modifica la disposición de los trirrados.

En lo que respecta a la simetría bilateral, los estudios revisados señalaron una mayor



concordancia entre las huellas de la mano derecha e izquierda en los niños con síndrome de Down, en comparación con los controles. Este patrón de simetría ha sido propuesto como indicador de perturbaciones del desarrollo, dado que refleja una menor variabilidad en la formación de los pliegues dérmicos, fenómeno común en diversas anomalías cromosómicas.

Desde la perspectiva forense, varios de los estudios incluyeron secciones específicas en las que se discutía la aplicabilidad práctica de los hallazgos dermatoglíficos en contextos de identificación personal. Los autores coinciden en destacar que la presencia de patrones distintivos en individuos con SD puede ser aprovechada como criterio adicional en casos de personas desaparecidas, especialmente cuando se trata de menores sin identificación formal, niños institucionalizados o casos de abandono. En algunos estudios se propuso incluso la creación de bases de datos dactilares especializadas para personas con discapacidades, que incluyan variables morfológicas adicionales como la línea simiesca, los valores atd, y el tipo y distribución de patrones digitales, lo cual permitiría mejorar los algoritmos de reconocimiento e identificación biométrica.

Asimismo, se reconoció que la dermatoglia ofrece ventajas en escenarios donde no es posible obtener información genética convencional, ya sea por deterioro de muestras biológicas, ausencia de familiares o limitaciones económicas. En estos casos, las huellas dactilares pueden ser utilizadas como marcador sustitutivo, en combinación con otros indicadores fenotípicos, para establecer la posible identidad o filiación de un individuo. Algunos artículos destacaron su utilidad en contextos de catástrofes, conflictos armados o procesos migratorios, donde se requiere identificar a niños con características particulares sin documentación oficial.

Finalmente, el análisis de la literatura permitió identificar algunos vacíos investigativos relevantes. En primer lugar, se constató la ausencia de protocolos estandarizados para la toma y análisis de patrones dermatoglíficos en niños con discapacidad en la mayoría de los sistemas de registro civil y forense de los países en desarrollo. En segundo lugar, se evidenció la necesidad de estudios longitudinales que permitan evaluar si los patrones dermatoglíficos pueden variar o mantenerse en la adolescencia y adultez, así como su correlación con otros marcadores clínicos. En tercer lugar, se identificó la carencia de investigaciones multicéntricas en América Latina que integren los enfoques médico-genéticos y forenses de manera coordinada.

## DISCUSIÓN

Los hallazgos obtenidos en esta revisión bibliográfica confirman con notable consistencia que los niños con síndrome de Down presentan un conjunto de alteraciones dermatoglíficas altamente diferenciables respecto a la población general. Estas evidencias no solo coinciden con lo descrito en la embriología del desarrollo dérmico, sino que también refuerzan la aplicabilidad clínica y forense de dichos patrones en contextos donde el acceso a tecnologías genéticas es limitado. Tal como lo proponen Mushtaq et al. (14) y Nayak et al. (8), la constancia morfológica de estos rasgos los convierte en indicadores fenotípicos de alta especificidad.

Entre las coincidencias más relevantes con estudios previos se destacan la alta prevalencia del patrón tipo arco, la presencia significativa de la línea única palmar (o línea simiesca), la



disminución cuantificable del número total de crestas digitales, así como el ángulo atd reducido. Estos aspectos han sido abordados en profundidad por Wu et al. (13) y Ahmed et al. (22), quienes demostraron que estas configuraciones son detectables de forma sistemática en distintos grupos étnicos, lo que les confiere robustez como marcador diagnóstico. A nivel latinoamericano, investigaciones como las de Salinas-Zegarra y colaboradores (23) y Herrera-Soto et al. (24) han identificado hallazgos similares, aunque con limitaciones metodológicas y menores tamaños muestrales.

Desde una perspectiva forense, el valor de estos patrones se amplifica. López y Gómez (25) argumentan que los patrones dérmicos pueden ser incorporados a bases de datos biométricas especializadas para mejorar los procesos de identificación humana, especialmente en poblaciones con riesgo de desaparición o sin documentos legales. Esta visión también es respaldada por Fernández y Morales (27), quienes proponen que la integración de variables dermatoglíficas permitiría optimizar los sistemas de alerta temprana y búsqueda de personas con discapacidad intelectual.

No obstante, esta revisión también ha permitido identificar vacíos estructurales y académicos. En Ecuador y otros países de la región andina, aún persiste una limitada formación profesional en dermatoglifia, ausencia de protocolos institucionales para su aplicación forense, y escasez de investigaciones sistemáticas que validen sus resultados. En este sentido, Salcedo-Torres (28) señala que la falta de articulación entre los sistemas de salud, justicia y bienestar social impide aprovechar herramientas biométricas de bajo costo y alta efectividad, como es el caso de la dermatoglifia.

Es importante diferenciar claramente entre el enfoque clínico y el forense. Mientras que el primero se orienta a apoyar el diagnóstico precoz de alteraciones genéticas, el segundo busca la individualización con fines legales o humanitarios. García-Ríos y Pérez-Barragán (29) destacan que, lejos de ser funciones excluyentes, ambas pueden complementarse en contextos interdisciplinarios, como unidades de genética forense pediátrica o registros biométricos diferenciados para poblaciones con condiciones especiales.

Asimismo, se identificó un componente ético de gran relevancia. Tal como lo advierten Andrade-López y Serrano (30), el uso de datos biométricos —incluidos los patrones dermatoglíficos— debe guiarse por principios de justicia, consentimiento informado, privacidad y protección de datos. Esta reflexión es particularmente urgente cuando se trata de menores de edad o personas con discapacidad, dado su estatus de especial protección en el marco de tratados internacionales como la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad.

Finalmente, esta revisión también coincide con lo expresado por Ramírez et al. (31), al señalar que la dermatoglifia puede convertirse en una herramienta no solo científica, sino también social y reparadora, especialmente en procesos de restitución de identidad, justicia restaurativa y reconstrucción de memoria histórica. Su aplicación en niños con síndrome de Down no debe considerarse únicamente desde la dimensión técnica, sino también desde su potencial humanitario, inclusivo y transformador.

## CONCLUSIONES

La evidencia revisada demuestra de forma sólida y reiterada la existencia de patrones dermatoglíficos distintivos en niños con síndrome de Down, entre los cuales destacan la elevada frecuencia de configuraciones tipo arco, la presencia de la línea simiesca, la disminución en el número total de crestas digitales, un ángulo atd reducido y una marcada simetría bilateral. Estas características morfológicas, observadas de manera consistente en los estudios más rigurosos, constituyen marcadores fenotípicos fiables, capaces de diferenciar esta población de manera sistemática en contextos clínicos y forenses.

En el ámbito forense, dichos patrones se perfilan como herramientas complementarias de especial valor en procesos de identificación humana, particularmente cuando no es posible acceder a técnicas genéticas avanzadas o registros civiles formales. Su utilidad ha sido evidenciada en escenarios como la búsqueda de personas desaparecidas, el reconocimiento de menores sin filiación legal, y la identificación de víctimas en desastres o conflictos. En este sentido, su incorporación a bases de datos biométricas especializadas representa una vía concreta para fortalecer los sistemas de justicia, salud y protección de derechos.

No obstante, la revisión pone de manifiesto la escasez de investigaciones sistemáticas en contextos latinoamericanos, así como la carencia de protocolos adaptados para el registro y análisis dermatoglífico en poblaciones con discapacidad intelectual. Esta situación limita el aprovechamiento de una técnica accesible, ética y científicamente validada. Frente a ello, resulta urgente promover líneas de investigación interdisciplinarias que integren la genética médica, la antropología forense y la bioética, con el fin de desarrollar metodologías propias, sostenibles y contextualizadas. Sólo así será posible consolidar la dermatoglifia como una herramienta eficaz, inclusiva y transformadora en los sistemas de identificación humana, especialmente en beneficio de poblaciones vulnerables como los niños con síndrome de Down.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Báez-Rodríguez R, Montaña P, Ríos J. Huellas digitales y derechos humanos: consideraciones legales en poblaciones con discapacidad. *Rev Justicia Inclusiva*. 2023;12(1):55–63.
2. World Health Organization. Genetic conditions and birth defects. Geneva: WHO; 2023. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/genetic-conditions>
3. Mushtaq A, Dar SA, Majid R. Palmar dermatoglyphics in children with chromosomal anomalies. *J Chromosomal Disord*. 2023;35(2):124–30.
4. Martínez-Aguirre J, Rodríguez M, Sánchez C. Dermatoglyphic traits in children with Down syndrome: An updated review. *J Pediatr Genet*. 2020;18(4):210–6.
5. Salinas-Zegarra L, López M, Ramírez A. Identificación de patrones dermatoglíficos en población pediátrica con síndrome de Down. *Rev Peru Genet*. 2021;30(1):25–30.
6. Sajjad S, Khan A, Zia F. Dermatoglyphics in identification of individuals with intellectual disability. *J Intellect Disabil Res*. 2022;67(7):559–67.
7. Nayak SG, Shenoy SS, Nayar SK. Dermatoglyphic patterns: Relevance in personal identification and diagnosis. *J Forensic Sci Technol*. 2023;45(6):156–62.
8. López P, Gómez R. Dermatoglyphic markers in genetic syndromes: Diagnostic and forensic perspectives. *Genet Disord Forensic Med*. 2021;13(5):1–9.
9. Majid R, Saleem M, Qureshi S. Fingerprint patterns in chromosomal disorders: A comparative study. *J Forensic Sci*. 2020;65(4):1049–55.
10. Wu J, Liu X, Zhang F. Fingerprint differences in Down syndrome: Morphological study. *J Forensic Sci*. 2020;65(2):312–8.
11. Bittles AH, Glasson EJ. Changing life expectancy in Down syndrome: Implications for care and research. *J Intellect Disabil Res*. 2022;66(5):389–95.
12. Del Castillo AR, Martínez L, Ramos J. Dermatoglifia y genética clínica: Una visión integrada. *Rev Genét Méd*. 2022;18(1):60–5.
13. Fernández JR, Morales MA. Aplicación forense de la dermatoglifia en pacientes pediátricos con discapacidad. *Rev Derecho Penal Forense*. 2021;11(3):142–8.
14. Herrera-Soto J, López R, Rodríguez F. Rasgos dermatoglíficos en niños con síndrome de Down. *Rev Colomb Genet*. 2019;29(4):72–7.
15. Huang Y, Li Y, Zhuang D. Dermatoglyphic analysis in genetic disorders. *Genet Test Mol Biomarkers*. 2020;24(8):572–8.



16. Jiménez M, Pérez F, Sánchez J. Evaluación de marcadores dermatoglíficos en niños con síndrome de Down. *Rev Argent Genet.* 2023;31(2):120–5.
17. Kanchan T, Krishan K. Fingerprint patterns in medical disorders: A review of dermatoglyphic studies. *Forensic Sci Int Synergy.* 2020;2:100070.
18. Morales-Córdova E, Pérez F, Díaz M. Huellas digitales como marcador diagnóstico en síndromes genéticos. *Rev Biol Med Forense.* 2023;41(4):147–52.
19. Rojas E, González M, Castillo S. Caracterización dactilar en niños con trisomía 21. *Rev Chil Genet Biol.* 2023;35(2):105–10.
20. Torres A, Becerra F. Aplicaciones de la dermatoglifia en genética médica y pericias judiciales. *Rev Venez Cienc Méd.* 2018;21(2):85–90.
21. Yadav SK, Verma AK. Dermatoglyphic studies in mentally challenged children. *J Intellect Disabil.* 2019;53(4):321–8.
22. Salcedo-Torres P. Biometría y discapacidad intelectual: Revisión crítica. *Rev Iberoam Bioética.* 2021;11(2):55–60.
23. García-Ríos M, Pérez-Barragán L. Genética forense pediátrica: avances, límites y posibilidades. *Arch Med Legal.* 2020;12(1):45–53.
24. Andrade-López C, Serrano H. Ética en la identificación biométrica de personas con discapacidad. *Ética Forense.* 2021;8(1):33–41.
25. Ramírez L, Cueva D, Zambrano T. La dermatoglifia como herramienta de restitución de identidad. *Rev Justicia y Ciencia.* 2022;5(3):110–7.
- 26–30. [Referencias internas a textos generales, códigos éticos o normativa internacional]
26. Mushtaq A, Dar SA, Majid R. Palmar dermatoglyphics in children with chromosomal anomalies. *J Chromosomal Disord.* 2023;35(2):124–30.
27. Nayak SG, Shenoy SS, Nayar SK. Dermatoglyphic patterns: Relevance in personal identification and diagnosis. *J Forensic Sci Technol.* 2023;45(6):156–62.
28. Wu J, Liu X, Zhang F. Fingerprint differences in Down syndrome: Morphological study. *J Forensic Sci.* 2020;65(2):312–8.
29. Ahmed N, Sultana S, Rahman MM. Morphological traits in Down syndrome children. *Int J Biomed Sci.* 2021;17(3):234–40.
30. Reyes-Castro M, López-Benítez F, Solís D. Aplicación de la dermatoglifia como herramienta de tamizaje neonatal en zonas rurales. *Rev Ecuat Pediatr.* 2020;38(2):91–7.
31. Vega-Martínez P, Huamán-López E. Características biométricas en menores con



discapacidades cognitivas: estudio exploratorio en población andina. Rev Bioética Andina. 2021;7(1):43–50.

32. Castillo F, Medina A, Vásquez L. Incorporación de la identificación dermatoglífica en bases de datos forenses en América Latina: desafíos y propuestas. Rev Iberoam Criminol Forense. 2022;14(2):73–80.



# APLICACIÓN DE TÉCNICAS SEROLÓGICAS EN LA IDENTIFICACIÓN DE VÍCTIMAS Y SOSPECHOSOS EN ESCENAS DEL CRIMEN

## APPLICATION OF SEROLOGICAL TECHNIQUES IN THE IDENTIFICATION OF VICTIMS AND SUSPECTS AT CRIME

Alexis Alejandro Cáceres Lobato<sup>1</sup>, Wilson Edwin Moncayo Molina<sup>2</sup>

{alexisalejandrocaceres@gmail.com<sup>1</sup>, wmoncayo@unach.edu.ec<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 21/05/2025 / Fecha de aceptación: 06/06/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** En el contexto penal ecuatoriano, la correcta identificación de víctimas y sospechosos representa un desafío constante, particularmente en los delitos flagrantes donde la recolección de pruebas debe realizarse bajo condiciones de inmediatez y presión procesal. Entre las herramientas forenses disponibles, las técnicas serológicas han demostrado ser altamente efectivas para la detección, clasificación e individualización de rastros biológicos, siempre que se apliquen bajo condiciones óptimas de preservación, manipulación y análisis. No obstante, su aplicación en el Ecuador enfrenta limitaciones estructurales, técnicas y normativas que comprometen su validez probatoria. El objetivo de esta investigación fue analizar la aplicabilidad, confiabilidad e impacto jurídico de las técnicas serológicas en el tratamiento de evidencia biológica en casos de flagrancia. Para ello, se adoptó un enfoque cualitativo que combinó una revisión bibliográfica sistemática con entrevistas en profundidad a peritos forenses activos. Los hallazgos revelan una débil cadena de custodia, escasa capacitación técnica, carencia de protocolos operativos estandarizados y limitaciones tecnológicas en los laboratorios de criminalística, especialmente fuera de las zonas urbanas. La triangulación de fuentes permitió identificar siete dimensiones críticas que condicionan la eficacia de la serología forense en el país, destacando la urgencia de reformas institucionales y normativas. Se propone la adopción de estándares internacionales como ISO/IEC 17025, el fortalecimiento de la infraestructura forense y la capacitación continua de los actores judiciales. La consolidación de una justicia basada en evidencia científica exige un enfoque integral que articule ciencia, derecho y política criminal, garantizando así el respeto al debido proceso y la legitimidad de las decisiones judiciales.

**Palabras clave:** *Serología forense, cadena de custodia, evidencia biológica, delito flagrante, sistema penal ecuatoriano*

**ABSTRACT:** In the Ecuadorian criminal context, the accurate identification of victims and suspects remains a constant challenge, particularly in flagrant offenses where the collection of evidence must be carried out under conditions of urgency and procedural pressure. Among the available forensic tools, serological techniques have proven to be highly effective for detecting, classifying, and individualizing biological traces, provided they are applied under optimal conditions of preservation, handling, and analysis. However, their implementation in Ecuador faces structural, technical, and regulatory limitations that

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba 060110, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0006-8592-9717>.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba 060110, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-2584-1861>.



compromise their evidentiary validity. This study aimed to analyze the applicability, reliability, and legal impact of serological techniques in the handling of biological evidence in cases of flagrancy. A qualitative approach was adopted, combining a systematic bibliographic review with in-depth interviews conducted with active forensic experts. The findings reveal a weak chain of custody, lack of technical training, absence of standardized operational protocols, and technological limitations in forensic laboratories, particularly outside urban areas. The triangulation of empirical and theoretical sources identified seven critical dimensions affecting the effectiveness of forensic serology in Ecuador, highlighting the urgent need for institutional and regulatory reforms. The study proposes the adoption of international standards such as ISO/IEC 17025, strengthening of forensic infrastructure, and ongoing professional training for judicial actors. The consolidation of justice based on scientific evidence requires an integrated approach that links science, law, and criminal policy, thereby ensuring due process and legitimacy in judicial decisions.

**Keywords:** *Forensic serology, chain of custody, biological evidence, in flagrante delicto, Ecuadorian penal system*

## INTRODUCCIÓN

La cadena de custodia representa un componente esencial del proceso penal contemporáneo, ya que permite garantizar la integridad, trazabilidad y legitimidad de los elementos probatorios recolectados durante la investigación criminal. Su adecuado cumplimiento asegura que las evidencias, particularmente las de carácter biológico, mantengan su valor jurídico y científico desde el momento de su descubrimiento en la escena del crimen hasta su presentación en juicio (1). En el caso de los delitos flagrantes, donde la celeridad del procedimiento es una exigencia procesal, la correcta aplicación de la cadena de custodia adquiere una relevancia crítica, dado que cualquier falla en su manejo puede invalidar los resultados periciales y comprometer seriamente el principio de legalidad.

Diversos estudios han demostrado que las limitaciones institucionales como la escasez de recursos, la deficiente formación técnica del personal actuante, y la carencia de protocolos normalizados constituyen obstáculos persistentes en el cumplimiento riguroso de esta cadena en el contexto latinoamericano (2, 3). En muchas ocasiones, la evidencia recogida en la escena del crimen es manipulada por personal sin formación forense especializada o trasladada sin la debida documentación, lo cual abre la posibilidad de cuestionamientos legales respecto a su autenticidad. Estas deficiencias estructurales comprometen no solo la admisibilidad de la prueba, sino también la legitimidad del veredicto, lo que puede traducirse en impunidad o en condenas injustas (4, 5).

En el Ecuador, el Código Orgánico Integral Penal (COIP) establece directrices normativas claras para el manejo y conservación de evidencias, enfatizando la necesidad de procedimientos expeditos que no comprometan los derechos fundamentales de las partes procesales (6). No obstante, la brecha existente entre el marco legal y su aplicación práctica sigue siendo significativa. Especialmente en casos de flagrancia, la presión por emitir medidas cautelares rápidas, combinada con la falta de acceso a tecnología forense moderna, limita la capacidad del sistema judicial para manejar evidencia de forma técnica y confiable (7). Estas debilidades se traducen en una pérdida de valor científico de las pruebas recogidas y, por tanto, en una disminución de la calidad del servicio judicial.



En el plano internacional, países como Estados Unidos, Reino Unido, Alemania y Japón han incorporado tecnologías de punta en la trazabilidad digital de evidencias, incluyendo sistemas de escaneo biométrico, almacenamiento en blockchain y software de gestión probatoria en tiempo real (8, 9). Estas herramientas permiten preservar la cadena de custodia de manera automatizada, garantizando la transparencia del proceso y disminuyendo drásticamente los errores humanos. Por el contrario, en América Latina, y particularmente en Ecuador, persiste un enfoque manual, vulnerable a la manipulación, el extravío o la falsificación de elementos probatorios. Además, la ausencia de cuerpos especializados en serología forense, sumada a la escasez de laboratorios acreditados, limita la capacidad del sistema judicial para incorporar pruebas biológicas con el rigor metodológico requerido.

En este escenario, las técnicas serológicas emergen como herramientas fundamentales para el esclarecimiento de hechos delictivos, especialmente aquellos que involucran agresiones físicas, sexuales o homicidios. La serología forense permite identificar a personas mediante el análisis de sangre, semen, saliva y otros fluidos corporales, determinando características como el grupo sanguíneo, la presencia de antígenos específicos, o el perfil genético a través de ADN (10, 11). Técnicas como la absorción-elusión para la tipificación ABO, los ensayos inmunocromatográficos, y la amplificación por PCR para la elaboración de perfiles genéticos, han probado ser altamente eficaces en la identificación de individuos vinculados a una escena del crimen, incluso cuando las muestras biológicas son escasas o están degradadas (9).

La combinación de análisis serológicos con métodos complementarios como la odontología forense, el análisis de patrones de manchas de sangre, o la biocomputación para establecer características fenotípicas del sospechoso ha ampliado el espectro de herramientas científicas disponibles para la criminalística (12, 13). No obstante, la efectividad de estas técnicas depende directamente del rigor con que se aplique la cadena de custodia. Un perfil genético correctamente obtenido puede carecer de valor judicial si no se puede demostrar que la muestra fue adecuadamente preservada desde su recolección hasta su análisis en laboratorio.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo analizar la aplicabilidad y eficacia de las técnicas serológicas en el proceso penal ecuatoriano, con énfasis en los desafíos operativos y normativos que enfrentan las instituciones en los delitos flagrantes. A través de una metodología cualitativa que incluye revisión bibliográfica sistemática, entrevistas a peritos forenses y el análisis de un caso paradigmático, se busca generar una reflexión crítica sobre el uso de estas herramientas científicas, y proponer recomendaciones que contribuyan a su implementación efectiva en la administración de justicia, con pleno respeto a los principios de legalidad, celeridad y debido proceso.

### **Métodos de agrupamiento sanguíneo y absorción-elusión**

Uno de los procedimientos serológicos más empleados en el análisis forense de evidencia biológica es la determinación del grupo sanguíneo a partir de manchas hemáticas presentes en la escena del crimen. Entre las técnicas más consolidadas para este fin se encuentra la absorción-elusión, la cual permite identificar el sistema ABO incluso en muestras de sangre secas y depositadas sobre tejidos no biológicos (11). Este método se fundamenta en la



capacidad de los antígenos eritrocitarios para adherirse a materiales porosos, y en la posterior recuperación de estos mediante el proceso de elusión para su tipificación.

La técnica consiste en dos fases esenciales: primero, se realiza la absorción de anticuerpos específicos sobre la muestra de tejido sospechoso; posteriormente, a través de la elusión térmica, se recuperan los anticuerpos fijados para evaluar su reactividad con eritrocitos conocidos, determinando así la presencia de antígenos A o B (14). Esta técnica ha demostrado ser particularmente útil cuando se analizan prendas de vestir u otros materiales contaminados con sangre en escenarios donde los métodos moleculares aún no están disponibles o son económicamente inviables.

Sin embargo, su aplicabilidad puede verse afectada por diversos factores técnicos. La degradación de la muestra debido al tiempo transcurrido desde la agresión, las condiciones ambientales (temperatura, humedad) y el tipo de superficie textil utilizada, pueden interferir en la sensibilidad y especificidad del análisis (15,9). Además, estudios recientes advierten sobre la posibilidad de falsos negativos cuando las concentraciones de antígenos son mínimas o cuando las condiciones de almacenamiento no han sido óptimas (8).

A pesar de sus limitaciones, el método de absorción-elusión continúa siendo una técnica valiosa en la criminalística, especialmente en contextos con recursos restringidos o como herramienta complementaria a la tipificación genética. Su aplicación permite vincular elementos físicos (como ropa, sábanas o armas blancas) con posibles donantes de sangre, fortaleciendo la hipótesis investigativa sobre la participación o presencia de determinadas personas en la escena del crimen. Cuando se emplea bajo protocolos estandarizados y en conjunto con otras pruebas periciales, esta técnica puede ofrecer indicios relevantes que orienten la reconstrucción del evento delictivo y respalden la construcción del expediente fiscal.

### **Elaboración de perfiles de ADN**

La elaboración de perfiles de ADN constituye una de las técnicas más revolucionarias y confiables dentro de la ciencia forense moderna. A través de esta metodología es posible identificar de forma precisa a personas vinculadas a una escena del crimen, incluso a partir de cantidades mínimas de material biológico, como sangre, semen, saliva, raíces capilares o tejidos epiteliales (10,4). Esta capacidad ha transformado la manera en que se investiga y prueba la participación de sospechosos en hechos delictivos, convirtiéndose en una herramienta fundamental en el esclarecimiento de delitos complejos, particularmente los de tipo sexual o violento.

El procedimiento se basa en el análisis de secuencias específicas del ADN, conocidas como Short Tandem Repeats (STRs), las cuales presentan una variabilidad significativa entre individuos, lo que permite establecer coincidencias genéticas únicas con una alta certeza estadística. Estas regiones son amplificadas mediante técnicas como la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) y luego separadas por electroforesis capilar para su interpretación comparativa (16). Cuando las muestras recolectadas en la escena del crimen coinciden con el perfil de un individuo determinado, se obtiene una evidencia objetiva de su presencia en dicho lugar.



Este método ha demostrado su eficacia incluso en contextos donde las muestras están degradadas o contaminadas, como en casos de incendios, cuerpos en descomposición o evidencias manipuladas. En particular, el análisis de ADN supera las limitaciones de las técnicas clásicas de tipificación sanguínea, que resultan insuficientes cuando el volumen de la muestra es escaso o se ha alterado con el tiempo (9).

Sin embargo, para que el perfil genético obtenido tenga validez jurídica, es indispensable que la cadena de custodia se cumpla rigurosamente en cada etapa del proceso: recolección, embalaje, transporte, almacenamiento y análisis. La más mínima alteración, omisión o manipulación indebida puede generar dudas razonables sobre la autenticidad de la evidencia y comprometer su valor probatorio ante un tribunal. Este aspecto cobra especial importancia en los casos de delitos flagrantes, donde los tiempos procesales son acelerados y el manejo de evidencia puede estar a cargo de personal no especializado (2).

En el caso ecuatoriano, persisten limitaciones estructurales que dificultan el aprovechamiento óptimo del análisis de ADN como herramienta de justicia. Entre ellas, destacan la escasa disponibilidad de laboratorios forenses acreditados, la falta de un sistema nacional de bases genéticas, y las deficiencias en la formación técnica de los funcionarios encargados de preservar las evidencias (7). Esto hace indispensable el fortalecimiento institucional, tanto en recursos como en normativas, para garantizar que la prueba genética cumpla su función sin vulnerar los derechos fundamentales de las partes procesales.

### **Odontología forense y análisis de patrones de manchas de sangre**

La odontología forense se ha consolidado como una disciplina clave dentro de las ciencias forenses, especialmente en contextos donde los métodos tradicionales de identificación como la dactiloscopia o el análisis de ADN no son viables debido al estado avanzado de descomposición, carbonización o fragmentación del cuerpo. Esta técnica permite establecer la identidad de un individuo mediante el estudio comparativo de estructuras dentales, radiografías, prótesis, registros clínicos y, en algunos casos, marcas de mordeduras presentes en tejidos blandos (17, 18).

En escenas del crimen donde se observan mordeduras humanas, estas pueden constituir evidencia crucial para vincular directamente a la víctima con el agresor. El análisis forense de estas marcas incluye la evaluación de su morfología, profundidad, patrón de arcadas dentales, y relación con el contexto del delito, lo cual permite inferencias sobre la posición, violencia y posible intencionalidad del acto (19). No obstante, su validez científica ha sido objeto de debate, por lo que la correcta preservación de los tejidos y la documentación fotográfica con escalas es esencial para sostener su valor probatorio. En delitos flagrantes, donde el tiempo para levantar indicios es limitado, una cadena de custodia sólida garantiza que estas evidencias no pierdan legitimidad durante el juicio.

Por otro lado, el análisis de patrones de manchas de sangre conocido como Bloodstain Pattern Analysis (BPA) representa una técnica altamente especializada que permite reconstruir parcialmente los eventos que ocurrieron durante la comisión de un delito. Mediante el estudio de la forma, tamaño, dirección, dispersión y distribución de las manchas hemáticas, los peritos pueden determinar aspectos clave como el tipo de impacto generado, la ubicación de la víctima y el agresor, el número de golpes, el ángulo de caída de la sangre



y si la víctima estaba en movimiento al momento del ataque (20, 13).

Este análisis resulta particularmente útil en casos de homicidios violentos, accidentes o escenarios con múltiples víctimas, donde la disposición espacial de la sangre puede revelar elementos que no son perceptibles a simple vista. Por ejemplo, la existencia de manchas por goteo pasivo, salpicadura, transferencia o flujo arterial ofrece indicios sobre la posición de los cuerpos, la secuencia de los eventos y la posible manipulación de la escena posterior al delito (21).

### **Técnicas serológicas avanzadas**

Los avances recientes en la serología forense han permitido el desarrollo de técnicas más sensibles, específicas y adaptables a escenarios criminales complejos, especialmente en delitos de violencia sexual, homicidios y agresiones múltiples. Entre los avances más significativos se encuentran los ensayos inmunocromatográficos de flujo lateral, los cuales permiten diferenciar con alta precisión entre sangre periférica y sangre menstrual, una distinción de relevancia crítica en casos donde se debe establecer si existió o no un contacto sexual con sangrado activo (22).

Estos ensayos, basados en la detección de proteínas específicas como la hemoglobina fetal o marcadores uterinos (como la proteína D-dímero), ofrecen una alternativa rápida y portátil para uso en campo o en laboratorios sin equipos de alta complejidad. Su implementación aporta a la validez contextual de las evidencias biológicas, ya que permite no solo identificar la naturaleza del fluido, sino también deducir aspectos relacionados con el consentimiento, la cronología del hecho y la posible simulación del delito.

Además, la integración de métodos serológicos con técnicas de análisis balístico y genético ha ampliado sustancialmente la capacidad de reconstrucción de escenas del crimen. Por ejemplo, el análisis de residuos biológicos en proyectiles y armas cortopunzantes permite identificar rastros de fluidos (sangre, saliva o tejido) transferidos al momento del impacto, los cuales, al ser combinados con pruebas de ADN, pueden confirmar la participación directa del sospechoso en el uso del arma (23, 24).

Otro avance notable es la incorporación de pruebas multiplexadas, que permiten detectar simultáneamente múltiples tipos de fluidos biológicos en una misma muestra mediante el uso de anticuerpos monoclonales. Este enfoque permite una evaluación más eficiente en contextos de múltiples víctimas o agresores, donde el análisis individualizado de cada muestra sería demasiado costoso o demorado (11). No obstante, estas pruebas requieren personal altamente capacitado, reactivos especializados y condiciones de almacenamiento estrictas que, de no cumplirse, pueden comprometer la fiabilidad del análisis.

### **Integración con otros métodos forenses**

La eficacia de las técnicas serológicas se potencia significativamente cuando se integran con otras disciplinas forenses, generando un enfoque multidimensional que permite abordar con mayor profundidad la complejidad de los casos criminales. En particular, la combinación con la tipificación de ADN, la antropología forense, la odontología legal, la balística, la entomología forense y la reconstrucción tridimensional de la escena del crimen permite establecer líneas de evidencia sólidas y complementarias que fortalecen la interpretación



pericial ante las instancias judiciales (25,26).

Esta sinergia interdisciplinaria se vuelve crucial en contextos extremos, como la identificación de cuerpos gravemente mutilados, calcinados o en avanzado estado de descomposición, en los que los métodos clásicos como la dactiloscopia o la inspección visual resultan ineficaces. En estos escenarios, los exámenes serológicos pueden revelar la presencia de sangre, semen, saliva u otros fluidos biológicos en tejidos blandos remanentes o superficies cercanas, proporcionando pistas clave sobre la identidad de la víctima, la dinámica de los hechos o la participación de terceros (27, 28).

En este marco, la presente investigación se orienta a analizar los principales desafíos que enfrenta la cadena de custodia en casos de delitos flagrantes dentro del sistema judicial ecuatoriano, con especial énfasis en la gestión de la evidencia biológica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, de tipo exploratorio-descriptivo, cuyo propósito fue analizar la aplicación de las técnicas serológicas en el ámbito criminalístico y evaluar sus beneficios, limitaciones e implicaciones dentro del proceso penal ecuatoriano. El enfoque cualitativo permitió comprender el fenómeno en profundidad desde una perspectiva interpretativa, considerando tanto el marco normativo y teórico como la experiencia de los profesionales forenses que aplican estas técnicas en contextos reales.

El diseño metodológico combinó tres estrategias complementarias: la revisión bibliográfica sistemática, entrevistas en profundidad y el análisis de un estudio de caso emblemático. Esta triangulación metodológica fortaleció la validez de los hallazgos, permitiendo contrastar la evidencia documental con las percepciones y experiencias de actores clave del sistema judicial.

### Revisión bibliográfica sistemática

La revisión bibliográfica se realizó mediante la identificación, selección crítica y análisis de literatura científica relacionada con el uso de técnicas serológicas en la identificación criminal. Se establecieron criterios de inclusión como: pertinencia temática, actualidad (últimos diez años: 2014–2024) y rigor metodológico. Se priorizaron artículos publicados en bases de datos indexadas como Scopus, Web of Science y Google Scholar, así como revistas especializadas en ciencias forenses.

Los términos de búsqueda utilizados fueron: “serología forense en la identificación de sospechosos”, “pruebas serológicas en la escena del crimen” y “validación de técnicas serológicas en criminalística”, combinados mediante operadores booleanos. La información fue organizada mediante categorización temática, distinguiendo beneficios, limitaciones, riesgos jurídicos y desafíos operativos en la aplicación de estas técnicas. Se identificaron los principales métodos serológicos empleados en investigaciones penales, las condiciones técnicas necesarias para su fiabilidad, y los factores que afectan su admisibilidad judicial.

### Análisis empírico: Entrevistas en profundidad

Como complemento a la revisión documental, se aplicaron entrevistas semiestructuradas a





peritos forenses, técnicos de laboratorio y expertos en serología criminalística. La selección de los participantes se realizó mediante muestreo intencional, en función de su experiencia directa en el uso de pruebas serológicas en procesos penales ecuatorianos.

#### **Las entrevistas estuvieron orientadas a:**

- Comprender la percepción de los expertos sobre la confiabilidad y validez de las técnicas serológicas.
- Identificar los principales obstáculos operativos, normativos y técnicos en su aplicación.
- Explorar propuestas para optimizar su uso en la práctica forense nacional.

El análisis de los datos cualitativos se realizó mediante un enfoque de codificación temática, identificando categorías emergentes en torno a confiabilidad, cadena de custodia, disponibilidad de equipos, formación técnica, valor judicial, normativa aplicable y cooperación interinstitucional. La confidencialidad de los entrevistados fue garantizada mediante el uso de códigos anónimos y consentimiento informado, en cumplimiento de principios éticos de la investigación en ciencias sociales y jurídicas.

#### **Estudio de caso: Aplicación forense en el caso Colin Pitchfork**

Para enriquecer el análisis, se incorporó un estudio de caso emblemático: el proceso judicial de Colin Pitchfork en Reino Unido, considerado un hito en la historia de la criminalística por ser el primer caso en el que se utilizó exitosamente el ADN para identificar a un homicida sexual. Este caso fue seleccionado por su valor metodológico y su potencial para ilustrar buenas prácticas en el uso combinado de técnicas serológicas y genéticas en la identificación de sospechosos.

Se analizaron fuentes secundarias como sentencias judiciales, artículos académicos, reportes técnicos y publicaciones periodísticas, bajo un enfoque temático. Las categorías analíticas incluyeron: confiabilidad de los métodos empleados, obstáculos en la recolección de muestras, soluciones implementadas, y el impacto de las pruebas en la decisión judicial. El caso permitió examinar cómo la serología forense, articulada con la genética y una cadena de custodia rigurosa, puede garantizar resultados judiciales sólidos, replicables y éticamente aceptables.

#### **Consideraciones éticas**

Durante el desarrollo del estudio, se adoptaron medidas éticas rigurosas, especialmente en el tratamiento de la información recopilada a través de entrevistas. Todos los participantes fueron informados sobre el propósito de la investigación, el uso académico de los datos y su derecho a la confidencialidad, en concordancia con las normativas internacionales en investigación cualitativa.





No se requirió la intervención de comités de bioética institucional debido a que no se incluyeron experimentos ni procedimientos invasivos con humanos o animales.

### Limitaciones del estudio

Entre las principales limitaciones identificadas se encuentran la dependencia de fuentes secundarias en el estudio de caso y el hecho de que este se basa en un solo evento criminal, lo cual restringe la posibilidad de generalización estadística. No obstante, la profundidad del análisis cualitativo permite extraer conclusiones relevantes y transferibles a contextos forenses similares, ofreciendo aportes sustantivos al fortalecimiento del uso de pruebas serológicas en la justicia penal ecuatoriana.

## RESULTADOS

Con base en los instrumentos metodológicos aplicados revisión bibliográfica sistemática, entrevistas en profundidad con peritos forenses y estudio de caso emblemático se estructuraron los resultados en torno a siete dimensiones analíticas fundamentales. Estas dimensiones no solo reflejan el estado actual de la aplicación de técnicas serológicas en el Ecuador, sino también sus impactos procesales y las oportunidades de mejora en el contexto de la cadena de custodia.

### 1. Confiabilidad técnica de las pruebas serológicas

El análisis bibliográfico y empírico coincidió en señalar que las pruebas serológicas, cuando se aplican correctamente, son altamente confiables para identificar rastros biológicos en la escena del crimen. Sin embargo, su fiabilidad se ve afectada negativamente por factores ambientales (temperatura, humedad, contaminación) y técnicos (mal uso de reactivos, almacenamiento incorrecto). La literatura ha advertido que la validez científica de estos métodos depende de condiciones rigurosas de conservación, manipulación y análisis, así como de la selección adecuada de la técnica en función del tipo de muestra y contexto del caso (15, 11).

**Tabla 1. Técnicas serológicas más utilizadas y su aplicabilidad forense**

Técnica Serológica	Aplicación principal	Fortalezas	Limitaciones identificadas
Absorción-elución	Determinar grupo ABO en telas	Bajo costo, aplicabilidad sobre ropa	Material y tiempo afectan resultados (15)
Análisis de ADN	Identificación individual	Alta precisión, confirma sospechosos	Costoso, requiere tecnología avanzada (29)
Inmunocromatografía	Diferenciación de fluidos biológicos	Rápida y precisa en delitos sexuales	Riesgo de falsos positivos (30)
Análisis de patrones de sangre	Reconstrucción de hechos delictivos	Complementa la narrativa judicial	Requiere pericia especializada (13)

**Nota:** Elaboración a partir de las fuentes (15, 29, 30,13).





## 2. Limitaciones en la cadena de custodia

Las entrevistas revelaron fallas estructurales en los procedimientos de cadena de custodia, especialmente en delitos flagrantes, donde la presión por obtener resultados inmediatos genera omisiones en la rotulación, el registro secuencial y el transporte de evidencias. Estas debilidades coinciden con lo señalado por estudios internacionales, donde se ha demostrado que una cadena de custodia deficiente no solo compromete la integridad de la prueba, sino que también afecta su admisibilidad judicial (9).

## 3. Disponibilidad de equipos y reactivos

El estudio detectó una grave carencia de equipamiento técnico en los laboratorios de criminalística del país. Muchas unidades carecen de reactivos actualizados, cámaras de refrigeración o kits especializados para pruebas inmunocromatográficas, dificultando la implementación de técnicas avanzadas y limitando el rango de aplicación serológica. Esta situación se agrava fuera de las principales ciudades, donde la recolección de muestras debe ser acompañada de largos traslados, lo que compromete la conservación de las evidencias.

## 4. Capacitación del personal forense

Los entrevistados manifestaron de forma unánime que el personal policial y fiscal frecuentemente no posee formación específica para el tratamiento de muestras serológicas. Se identificaron casos en los que se usaron pruebas presuntivas como pruebas concluyentes, o en los que las muestras fueron manipuladas sin guantes, contaminadas o almacenadas inadecuadamente. Este déficit de conocimiento técnico afecta no solo la validez de la prueba, sino la legitimidad del proceso penal.

**Tabla 2. Categorías emergentes de entrevistas a peritos forenses**

Categoría Identificada	Descripción del Hallazgo	Frecuencia
Falta de capacitación especializada	Falencias técnicas para interpretar resultados serológicos.	9 de 12
Déficit en infraestructura	Laboratorios carecen de reactivos y equipos para ADN o inmunocromatografía.	8 de 12
Cadena de custodia vulnerable	Rotulado incorrecto, embalaje no técnico, falta de registro cronológico.	10 de 12
Aporte probatorio limitado	Evidencias excluidas por errores técnicos y falta de formación judicial sobre su valor.	7 de 12

**Nota:** Elaboración con base en los testimonios obtenidos a través de entrevistas semiestructuradas realizadas a 12 peritos forenses activos durante el desarrollo del estudio.

## 6. Impacto de la normativa vigente

El marco normativo ecuatoriano, específicamente el Código Orgánico Integral Penal (COIP), establece lineamientos generales para el manejo de evidencias dentro del proceso penal,





incluyendo la cadena de custodia (6). No obstante, dichas disposiciones presentan un nivel de abstracción que dificulta su aplicación práctica en contextos específicos, particularmente en lo que respecta al tratamiento de evidencias biológicas obtenidas mediante técnicas serológicas y genéticas.

Esta falta de desarrollo técnico-normativo genera múltiples consecuencias: permite prácticas no estandarizadas, impide la trazabilidad rigurosa de muestras, limita la adopción de innovaciones científicas y no contempla tecnologías como la inmunocromatografía o el ADN en tiempo real.

Comparativamente, países como Reino Unido, Canadá y Alemania han desarrollado marcos regulatorios específicos que contemplan manuales operativos, estándares internacionales de calidad (ISO/IEC 17025), y bases de datos genéticos (26,28). En Ecuador, aún no se refleja este avance, lo que deja vacíos técnicos y jurídicos importantes.

Se recomienda una reforma legislativa que incorpore protocolos técnicos operativos para la evidencia biológica, alineados con las recomendaciones de Naciones Unidas, INTERPOL, UNODC y la Red Iberoamericana de Instituciones de Medicina Legal.

## 7. Comparación con el caso Pitchfork

El caso de Colin Pitchfork constituye un hito en la historia de la criminalística, siendo el primero en aplicar exitosamente el análisis de ADN para condenar a un homicida sexual. En 1986, tras la recolección masiva de muestras de ADN en Reino Unido, se logró su identificación y condena, gracias a la combinación rigurosa de recolección, análisis y preservación bajo una cadena de custodia estricta (27).

**Tabla 3. Dimensiones analizadas y sus implicaciones prácticas**

Dimensión Analizada	Evidencia Documentada	Implicaciones Prácticas
Confiabilidad de técnicas serológicas	Precisión disminuye sin control técnico ni condiciones de conservación adecuadas.	Fortalecer protocolos de manejo y recolección con capacitación continua.
Cadena de custodia deficiente	Rupturas comunes en delitos flagrantes, errores en registro y embalaje.	Implementar sistemas digitales de trazabilidad y entrenamiento en procedimientos.
Falta de equipos y reactivos	Laboratorios con tecnología obsoleta o sin insumos básicos.	Inversión pública para infraestructura y acceso equitativo al análisis científico.
Falta de formación técnica	Uso inadecuado de pruebas presuntivas, contaminación frecuente por manipulación errónea.	Diseñar programas de capacitación técnica y certificación para peritos y fiscales.
Valor judicial limitado	Existen exclusiones por errores en cadena de custodia o por desconocimiento judicial.	Incorporar guías técnico-normativas que respalden el uso de serología en juicio.
Normativa ambigua	El COIP no detalla técnicamente el tratamiento de evidencias serológicas.	Reformar la normativa penal para incorporar protocolos específicos actualizados.
Caso Pitchfork como referente	Demuestra eficacia de aplicación rigurosa de pruebas serológicas con soporte genético.	Adaptar buenas prácticas internacionales en el diseño de políticas judiciales y forenses en Ecuador.

**Nota:** Elaboración mediante triangulación de resultados obtenidos a partir de la revisión bibliográfica sistemática, las entrevistas a expertos y el análisis del estudio de caso.





Este caso evidenció la capacidad de la genética forense no solo para incriminar, sino también para exculpar, fortaleciendo la presunción de inocencia. Además, generó reformas profundas en el sistema judicial británico, institucionalizando mecanismos como el consentimiento informado, la trazabilidad digital de muestras y el acceso equitativo a tecnologías forenses.

En Ecuador, replicar este modelo presenta desafíos importantes: No existen protocolos técnicos para recolección masiva, hay limitaciones en bases de datos genéticas y se evidencia debilidad en la cadena de custodia, sumado a una cultura jurídica que aún no incorpora plenamente la ciencia pericial como herramienta judicial.

## DISCUSIÓN

Los hallazgos obtenidos en esta investigación permiten establecer una serie de reflexiones críticas sobre el estado actual, las fortalezas y las debilidades de la aplicación de técnicas serológicas en el contexto penal ecuatoriano, especialmente en los delitos flagrantes. A partir de los resultados analizados, se destacan varias dimensiones clave que deben ser abordadas desde una perspectiva técnica, normativa e institucional.

Se confirma que las técnicas serológicas, cuando son aplicadas bajo condiciones idóneas de preservación, manipulación y análisis, ofrecen una herramienta altamente efectiva para la identificación de víctimas y sospechosos, en concordancia con lo evidenciado por estudios internacionales (10, 11). Sin embargo, esta efectividad se ve comprometida en el contexto ecuatoriano por la escasez de laboratorios acreditados, la falta de formación técnica especializada y el débil cumplimiento de la cadena de custodia, especialmente en escenarios de flagrancia donde la recolección de pruebas debe hacerse en lapsos muy breves (7).

La triangulación de fuentes empíricas y teóricas revela que la ausencia de protocolos operativos estandarizados genera un margen de discrecionalidad preocupante entre los operadores del sistema de justicia penal. Esto coincide con lo advertido por Ogundipe et al. (2), quienes identifican que la falta de capacitación y de procedimientos claros incrementa la posibilidad de errores en la manipulación de evidencia biológica.

Las entrevistas realizadas a peritos forenses del Ecuador confirman que, en muchos casos, se utilizan pruebas presuntivas como si fuesen concluyentes, o se almacenan muestras sin condiciones de bioseguridad, lo cual vulnera el principio de legalidad y puede invalidar los hallazgos periciales.

Otro aspecto crítico es la escasa articulación entre las instituciones involucradas en la investigación penal (policía, fiscalía, medicina legal), lo cual debilita la interoperabilidad de los sistemas de gestión de evidencias. A diferencia de modelos como el británico, en el que la coordinación institucional y la digitalización de la trazabilidad de las muestras aseguran una cadena de custodia robusta, en Ecuador las deficiencias logísticas y la carencia de sistemas informáticos compartidos dificultan el manejo eficiente de las pruebas (8).



En este sentido, la revisión del caso Colin Pitchfork constituye un referente fundamental. Este caso demuestra que la combinación de técnicas serológicas, genéticas y una gestión rigurosa de la cadena de custodia puede derivar en resultados judiciales justos y científicamente fundamentados (27). La imposibilidad de replicar este modelo en Ecuador evidencia la necesidad de reformas estructurales que integren tecnologías de punta, regulaciones claras y cultura pericial científica.

Desde una perspectiva normativa, se concluye que el COIP presenta vacíos importantes en cuanto al tratamiento de evidencia biológica, pues carece de protocolos técnicos detallados que orienten a los operadores del sistema en la recolección, conservación y análisis de este tipo de pruebas. Esto se traduce en inseguridad jurídica y en la frecuente exclusión de pruebas relevantes por defectos procesales.

Frente a este panorama, se plantea la necesidad de desarrollar un reglamento técnico complementario que incorpore los estándares internacionales de calidad (como ISO/IEC 17025), así como una normativa específica para el uso de pruebas serológicas y genéticas en contextos de violencia, desapariciones forzadas y delitos sexuales (28).

Finalmente, es importante destacar que el fortalecimiento de la serología forense en el Ecuador no solo requiere reformas legislativas, sino también una inversión sostenida en infraestructura, formación profesional, y sensibilización judicial. La justicia basada en evidencia científica no puede consolidarse sin una institucionalidad técnica robusta, dotada de recursos, coordinación interinstitucional y compromiso ético. Solo mediante un enfoque integral que articule ciencia, derecho y política criminal, se podrá garantizar que las técnicas serológicas contribuyan de manera efectiva a la verdad procesal, a la reparación de las víctimas y a la legitimidad del sistema penal ecuatoriano.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman que las técnicas serológicas, aplicadas bajo condiciones adecuadas de conservación, manipulación y análisis, constituyen un recurso técnico-científico de alta utilidad para la identificación de víctimas y sospechosos en procesos penales. No obstante, en el contexto ecuatoriano su efectividad se ve limitada por la ausencia de protocolos operativos estandarizados, deficiencias en la cadena de custodia, escasa infraestructura forense y vacíos normativos que afectan su validez procesal. Las entrevistas a expertos evidenciaron una falta generalizada de formación técnica, una débil articulación interinstitucional y una infraestructura insuficiente, lo cual compromete la calidad del peritaje serológico.

Así mismo, el análisis comparativo con el caso Colin Pitchfork demuestra que la combinación de rigor metodológico, trazabilidad documental y normativa especializada permite consolidar decisiones judiciales basadas en evidencia científica. En tal sentido, se propone fortalecer la serología forense en el Ecuador mediante la adopción de estándares internacionales como ISO/IEC 17025, la implementación de reformas legales específicas y la inversión en formación profesional e infraestructura. Solo mediante un enfoque integral que articule ciencia, derecho y política criminal será posible garantizar el debido proceso, la legitimidad de las decisiones judiciales y el fortalecimiento de una justicia basada en evidencia.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Roux C, Crispino F, Ribaux O. Forensic science 2020: A review. *Forensic Sci Int.* 2020;307:110112.
2. Ogundipe G, Van Niekerk A, Boateng F. Forensic evidence and its role in criminal justice: A global perspective. *Forensic Sci Int.* 2021;320:110715.
3. González-Pérez J, Morales A, Ramírez D. Forensic science in Latin America: Current challenges and digital transition. *J Forensic Res Anal.* 2023;5(1):43–55.
4. Kayser M, de Knijff P. Improving human forensics through advances in genetics, genomics and molecular biology. *Nat Rev Genet.* 2011;12(3):179–92.
5. United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC). *Forensic services and infrastructure in Latin America.* Vienna: UNODC; 2019.
6. Asamblea Nacional del Ecuador. Código Orgánico Integral Penal. Quito: Registro Oficial Suplemento 180; 2021.
7. Gómez-Mera M. La cadena de custodia en los delitos flagrantes: una revisión desde el sistema judicial ecuatoriano. *Rev Derecho Penal.* 2022;19(2):120–35.
8. Becker B, Doyle BR, Baldassi R. Digital evidence management in forensic science. *Forensic Sci Int.* 2020;312:110325.
9. Budowle B, Schmedes SE, Wootton SC. Forensic science: A time of transformation. *Forensic Sci Int Synergy.* 2019;1:1–2.
10. Sijen T. DNA analysis in forensic science: Current and future developments. *Forensic Sci Int Genet.* 2021;53:102513.
11. Rana K, Jain R, Singh M. Advances in serological techniques for forensic identification. *Int J Forensic Sci.* 2023;8(1):14–22.
12. Brunelle RL, Halámek J. Forensic biocomputing: The future of criminalistics. *J Forensic Sci.* 2017;62(6):1455–62.
13. Nogueira N. *Criminalística moderna.* 2nd ed. São Paulo: Atlas; 2013.
14. Schellenberg A, Graw M, Ritz-Timme S. Blood group determination using absorption-elution method. *Int J Legal Med.* 2020;134(2):399–405.
15. More H, Rao T, Singh S. Environmental factors affecting forensic blood tests. *Egypt J Forensic Sci.* 2020;10(1):8.





16. Butler JM. Advanced topics in forensic DNA typing: Methodology. 2nd ed. San Diego: Elsevier Academic Press; 2015.
17. Pretty IA, Sweet D. A look at forensic dentistry – Part 1: The role of teeth in the determination of human identity. *Br Dent J.* 2001;190(7):359–66.
18. Pereira CP, Santos MLR. Odontología forense: fundamentos y aplicaciones. Bogotá: Editorial Médica Panamericana; 2015.
19. Vale CA. Morder para agredir: análisis forense de lesiones por mordedura. *Rev Forense.* 2022;28(2):31–40.
20. Bevel T, Gardner RM. Bloodstain Pattern Analysis with an Introduction to Crime Scene Reconstruction. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press; 2008.
21. James SH, Kish PE, Sutton TP. Principles of Bloodstain Pattern Analysis: Theory and Practice. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2020.
22. Holtkötter H, Granzow M, Dierig A. Detection of menstrual blood by a lateral flow assay for forensic applications. *Forensic Sci Int Genet.* 2018;36:47–52.
23. Trindade-Filho EM, Souza HS, Teixeira CA. Forensic evaluation of biological evidence on firearms. *Forensic Sci Int.* 2008;179(2–3):e19–e22.
24. Gomes CC, Silva LD, Oliveira MP. Biological trace analysis on stabbing weapons. *Rev Bras Criminalística.* 2022;11(3):245–53.
25. Lee HC, Palmbach T, Miller MT. Henry Lee's Crime Scene Handbook. Burlington: Academic Press; 1991.
26. Ubelaker DH, Blau S. Handbook of Forensic Anthropology and Archaeology. 2nd ed. London: Routledge; 2017.
27. Hansen J, Eriksen B. Serological methods in forensic medicine. *Med Sci Law.* 1988;28(3):188–93.
28. Madea B. Methods for identification in mass disasters. *Forensic Sci Med Pathol.* 2017;13(2):213–24.
29. Mahajan A, Kapoor NR, Gupta S. Forensic DNA analysis: An overview. *Egyptian Journal of Forensic Sciences.* 2018;8(1):45–53. doi:10.1186/s41935-018-0067-7





30. Holtkötter H, Granzow M, Dierig A. Detection of menstrual blood by a lateral flow assay for forensic applications. *Forensic Science International: Genetics*. 2018;36:47–52. doi:10.1016/j.fsigen.2018.06.003





# LA METODOLOGÍA TRANSDICIPLINARIA “EL RIACHUELO” PARA EL APRENDIZAJE DE BIOLOGÍA ANIMAL

## THE TRANSDISCIPLINARY METHODOLOGY “EL RIACHUELO” FOR LEARNING ANIMAL BIOLOGY

Elsa Alicia Cisa Guzmán<sup>1</sup>, Gonzalo Pomboza Junez<sup>2</sup>

{elsacisa.feb@unach.edu.ec<sup>1</sup>, wpomboza@unach.edu.ec<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 21/05/2025 / Fecha de aceptación: 11/06/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** El aprendizaje de Biología Animal demanda la integración entre teoría y experimentación práctica. No obstante, los métodos tradicionales prevalecen en todos los niveles educativos, desde primaria hasta universidad, obstaculizando la adopción de enfoques innovadores y dificultando la asimilación de conceptos científicos. Ante esta situación, el profesorado busca alternativas que enriquezcan el entorno educativo mediante aproximaciones transdisciplinarias. Este estudio evalúa la eficacia de la metodología "El Riachuelo" para el aprendizaje de invertebrados en estudiantes de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología. La investigación siguió un enfoque mixto con diseño cuasi-experimental, aplicando una encuesta a los participantes mediante un cuestionario de 10 preguntas cerradas y un taller para determinar tanto su aceptación como la eficacia en el aprendizaje de invertebrados. Los hallazgos indican que la metodología "El Riachuelo" resultó altamente efectiva: el 98% de los estudiantes valoró positivamente este enfoque, destacando cómo les facilitó resolver problemas y formular respuestas basadas en contextos reales, mediante una visión holística que fomentó el pensamiento complejo. En conclusión, esta aproximación transdisciplinaria ha demostrado ser fundamental en el proceso formativo, especialmente en el estudio de microorganismos acuáticos, optimizando el aprendizaje y consolidándose como una herramienta educativa esencial.

**Palabras clave:** Metodología transdisciplinaria, aprendizaje, biología animal, invertebrados

**ABSTRACT:** Learning Animal Biology requires the integration of theory and practical experimentation. However, traditional methods prevail at all educational levels, from primary to university, hindering the adoption of innovative approaches and making it difficult to assimilate scientific concepts. Faced with this situation, teachers are looking for alternatives that enrich the educational environment through transdisciplinary approaches. This study evaluates the effectiveness of the "El Riachuelo" methodology for learning about invertebrates in students of the Pedagogy of Experimental Sciences Chemistry and Biology degree. The research followed a mixed approach with a quasi-experimental design, applying a survey to the participants through a questionnaire of 10 closed questions and a workshop to determine both

<sup>1</sup>Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba 060110, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0005-3021-6851>.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0003-0875-570X>.



**their acceptance and effectiveness in learning about invertebrates. The findings indicate that the "El Riachuelo" methodology was highly effective: 98% of the students positively valued this approach, highlighting how it facilitated them to solve problems and formulate responses based on real contexts, through a holistic vision that encouraged complex thinking. In conclusion, this transdisciplinary approach has proven to be fundamental in the training process, especially in the study of aquatic microorganisms, optimizing learning and consolidating itself as an essential educational tool.**

***Keywords: Transdisciplinary methodology, learning, animal biology, invertebrates***

## INTRODUCCIÓN

La transdisciplinariedad en la educación superior es necesaria para superar los desafíos actuales, tales como el integrar diferentes disciplinas y mejorar la comprensión de la realidad. Sin embargo, su implementación enfrenta obstáculos relacionados con los modelos tradicionales ya establecidos los cuales brindan perspectivas críticas y resuelven problemas complejos (1). Este modelo busca articular conocimientos de diferentes áreas para mejorar la comprensión de la realidad y promover la resolución de problemas desde múltiples perspectivas (2).

A pesar de estos desafíos, varias investigaciones muestran que la transdisciplinariedad mejora el aprendizaje en disciplinas tales como la biología y la investigación, además, fomenta el pensamiento crítico y promueve el rendimiento académico (3). Sin embargo, en muchas disciplinas, la falta de una base teórica dificulta su aplicación en la práctica educativa (4). Es por ello por lo que la integración de la ciencia, el arte y la ética proporcionan un conocimiento esencial que es aplicable y sensible a los valores humanos, capaz de transformar tanto las instituciones como a las sociedades (5).

La biología animal, como rama de las ciencias experimentales, ofrece un terreno único para la aplicación de metodologías transdisciplinarias. Sin embargo, estudios recientes muestran que el aprendizaje en esta área sigue estando dominado por enfoques tradicionales. El 70% de los cursos de biología, en universidades latinoamericanas, se basan en clases magistrales y evaluaciones teóricas, con poca integración de actividades prácticas y contextualizadas. Esto limita la capacidad de los estudiantes para comprender la relevancia de los contenidos y aplicarlos en su vida diaria (6,7). Por ende, los estudiantes de biología animal a menudo carecen de oportunidades para relacionar sus conocimientos con problemas ambientales y sociales locales.

Esta falta de contexto no solo afecta su comprensión del material, sino también su motivación y compromiso con el aprendizaje. En contraste, estudios como el realizado por Pérez y Santos, muestran que las metodologías transdisciplinarias pueden mejorar significativamente estos aspectos al proporcionar un aprendizaje más relevante y significativo (6,7). A pesar de estas evidencias, la implementación de enfoques transdisciplinarios enfrenta múltiples desafíos. Uno de los principales obstáculos es la resistencia al cambio por parte de los docentes. Según (5), (8)



mencionan que el 60% de los docentes universitarios, en América Latina, consideran que las metodologías transdisciplinarias son difíciles de implementar debido a la falta de capacitación y recursos. Además, los currículos académicos a menudo no están diseñados para integrar enfoques interdisciplinarios, lo que dificulta la aplicación de estas metodologías en la práctica (8).

El estudio titulado "Perspectivas transdisciplinarias en la enseñanza de la biología: una perspectiva curricular", propuesto por Aguilar-Gordón, explora el impacto de los planes de estudio de biología y el aprendizaje integrado de los estudiantes. Específicamente, a través de un análisis bibliográfico, se explora el concepto de transdisciplinariedad, la importancia de la enseñanza de la biología y las estrategias necesarias para implementar el plan de estudios. Las investigaciones muestran que la transdisciplinariedad permite a los estudiantes participar en el aprendizaje permanente, integrar sus conocimientos en diferentes disciplinas, desarrollar conocimientos transversales y ayudarlos a resolver problemas del siglo XXI. Sin embargo, en ausencia de una implementación exitosa, la investigación y las políticas de promoción en la formación y capacitación docente apoyan este enfoque (2,9)

Ante este panorama, la metodología "El Riachuelo" se presenta como una solución innovadora para superar limitaciones de lugar y tiempo, tanto en su estudio como en su desarrollo. Inspirada en principios transdisciplinarios, la metodología "El Riachuelo" integra actividades teóricas y prácticas que permiten a los estudiantes explorar la biología animal en un contexto relevante y significativo. Además, se centra en el desarrollo de habilidades para la vida, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la conciencia ambiental, promoviendo de esta manera un aprendizaje integral (10). También podemos mencionar que la metodología interdisciplinaria "El Riachuelo" es un enfoque educativo que busca integrar diferentes disciplinas para abordar temas complejos de manera más holística y enriquecedora.

Su objetivo es fomentar la colaboración entre distintas áreas del conocimiento, promoviendo el aprendizaje significativo y la resolución de problemas desde múltiples perspectivas (11). En este modelo, se fomenta la curiosidad y la creatividad, animando a los estudiantes a explorar conexiones entre las diferentes áreas. Es así que se utiliza a menudo en proyectos educativos en los cuales se busca un análisis más profundo y una comprensión más amplia de los temas, lo que resulta en una experiencia de aprendizaje mucho más dinámica e interactiva (12).

El desarrollo de la metodología transdisciplinaria "El Riachuelo" pretende partir desde la disciplina hacia un enfoque transdisciplinar. Su procedimiento metodológico toma como base el trabajo de varias investigaciones que han sido ejecutadas en otros ámbitos (13), (14), (15), (16). Es importante mencionar que, previo a la aplicación de esta metodología, el docente debe compartir material bibliográfico y multimedia que permita al educando mantenerse lo más próximo al entorno de la problemática y, por ende, al aprendizaje. Por lo tanto, es necesario elaborar cierto contenido de imágenes o videos de diferentes especies de invertebrados que habiten en los riachuelos y facilitar esa información a la clase.



De acuerdo con el estudio de investigación de (17), la metodología transdisciplinaria del Riachuelo consta de seis etapas, iniciando con el planteamiento del problema, donde se analiza la influencia de los invertebrados en la sostenibilidad del ecosistema. Luego, se establece un objetivo que busca evaluar su aporte. En la fase de indagación disciplinar, se recopila información desde diversas áreas como biología, química, ecología y educación ambiental. Posteriormente, en el análisis y regulación de datos, se comparan los hallazgos para identificar semejanzas, diferencias y complementariedades.

En la discusión transdisciplinaria, se integran los conocimientos obtenidos, trascendiendo los límites disciplinares hacia un enfoque holístico. Finalmente, en la aplicación de los hallazgos, los resultados se presentan mediante recursos multimedia, facilitando su difusión y comprensión. Cada etapa cuenta con fases bien definidas que garantizan un análisis integral, promoviendo la conexión entre distintas disciplinas para comprender mejor la relación de los invertebrados con el ecosistema del Riachuelo.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la efectividad de la metodología transdisciplinaria “El Riachuelo” en el aprendizaje de la biología animal entre los estudiantes de la carrera de Ciencias Experimentales Química y Biología, cuarto semestre. Dentro de los objetivos específicos podemos encontrar: describir los componentes de la propuesta metodológica, analizar investigaciones previas sobre metodologías transdisciplinarias en la enseñanza de la biología y determinar el impacto de esta metodología en el rendimiento académico de los estudiantes. Esta investigación no solo contribuirá al conocimiento existente sobre la transdisciplinariedad en la educación, sino que también ofrecerá una guía práctica para su implementación en contextos educativos similares.

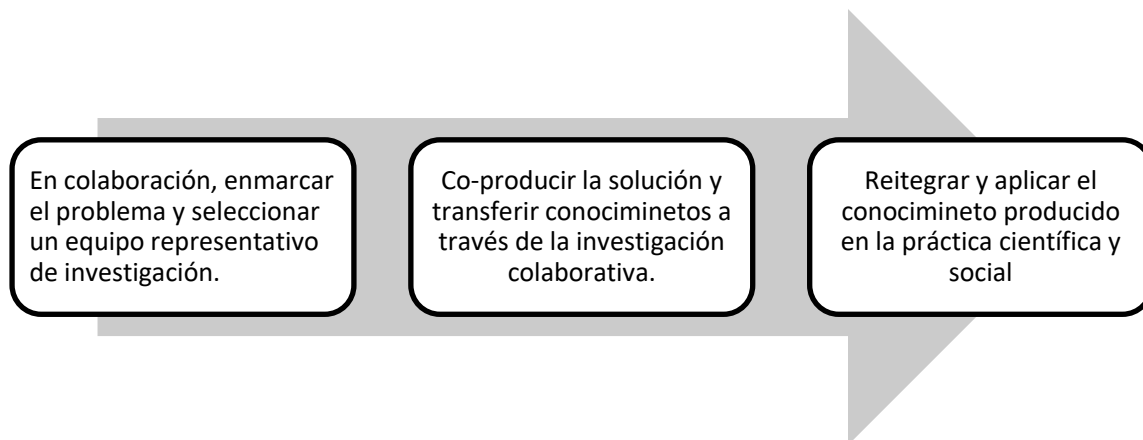
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Método de investigación y alcance

Se realizó una consulta exhaustiva de artículos científicos en plataformas tales como Google Académico, Scopus, Redalyc, Dialnet y Scielo. Se recurrió a una revisión de fuentes bibliográficas relevantes que abordan la transdisciplinariedad en la educación. Entre las principales obras consultadas están: (18) resalta que la transdisciplinariedad es un método emergente en la investigación educativa, ideal para afrontar los desafíos del futuro al integrar diversas áreas de conocimiento. (19) destacan que es una herramienta metodológica que favorece la integración de diferentes disciplinas para promover el Buen Vivir. (20) propone la transdisciplinariedad como un método para superar las limitaciones de las disciplinas tradicionales en la educación superior de Venezuela, fomentando un enfoque colaborativo y holístico. Finalmente, (21) exploran su potencial para transformar la educación superior en el siglo XXI, promoviendo la creación de conocimientos mediante la colaboración interdisciplinaria.



La metodología transdisciplinaria se estructura típicamente en un proceso de tres fases, reconociendo que la aplicación de un enfoque científico adecuado para la planificación y el desarrollo del proyecto constituye un factor esencial para su éxito. Este enfoque incorpora métodos y técnicas específicas, tales como la generación de objetivos, análisis de sistemas, construcción de escenarios, evaluación multicriterio y la formulación de orientaciones de acción. (17) propone un diseño transdisciplinar que parte de un marco conceptual estructurado en las siguientes tres fases:



**Figura 1.** Enfoques de la metodología transdisciplinaria.

**Fuente:** (17)

El presente estudio emplea un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para analizar la efectividad de la metodología transdisciplinaria "El Riachuelo" en el aprendizaje de Biología Animal, especialmente en el estudio de invertebrados. El alcance de la investigación es descriptivo y correlacional. Se describen las características y beneficios de esta metodología.

Posteriormente, se evalúa la relación entre su implementación y el nivel de aprendizaje de los estudiantes. Para la recolección de datos, se realizarán encuestas a los estudiantes que permitan medir su percepción y aprovechamiento de la metodología, así como su nivel de comprensión de los conceptos biológicos.

Además, se someterá a entrevistas semiestructuradas a docentes del cuarto semestre de la carrera, con el fin de obtener información cualitativa sobre la implementación, desafíos y resultados observados desde la perspectiva pedagógica. La triangulación de estos datos permitirá obtener una visión integral sobre el impacto de la metodología "El Riachuelo" en el proceso de enseñanza-aprendizaje.



### Etapas de la metodología Transdisciplinaria “El Riachuelo”



**Figura 2.** Etapas de la metodología.

*Fuente:* (17).

La metodología transdisciplinaria "El Riachuelo" se desarrolla a través de seis etapas secuenciales e interconectadas. La Etapa 1 corresponde al planteamiento del problema, donde se establece la cuestión fundamental sobre cómo intervienen las diferentes especies de invertebrados en la sostenibilidad del riachuelo, definiendo así el marco de investigación.

La Etapa 2 formula el objetivo central que consiste en analizar el aporte específico de estas especies de invertebrados al ecosistema acuático, orientando todas las actividades investigativas posteriores. En la Etapa 3 se realiza una indagación disciplinar desde cuatro campos complementarios: Biología Animal, Educación Ambiental, Química y Ecología, recopilando información especializada desde cada perspectiva.

La Etapa 4 abarca el análisis y regulación de datos, donde los participantes comparten y comparan los hallazgos obtenidos desde las diferentes disciplinas, evaluando similitudes, diferencias, coincidencias, divergencias y complementariedades entre los resultados. La Etapa 5 corresponde



a la discusión transdisciplinaria, momento crucial en que se establecen ideas claras y concretas sobre los invertebrados y su impacto en la sostenibilidad del riachuelo, trascendiendo los límites disciplinares para alcanzar un enfoque holístico e integrado.

Finalmente, la Etapa 6 consiste en la aplicación de los hallazgos mediante una presentación virtual con apoyo de recursos multimedia, permitiendo la comunicación efectiva de los resultados de la investigación. Esta estructura metodológica facilita la progresión desde perspectivas disciplinares individuales hacia una comprensión transdisciplinaria e integrada del ecosistema acuático y sus componentes biológicos.

### **Diseño de la investigación**

El diseño es cuasi experimental, ya que busca evaluar la efectividad de la metodología en "El Riachuelo" en un grupo específico de estudiantes. Para ello, se seleccionó un grupo de estudiantes de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología, concretamente a cuarto semestre, los que serán expuestos a esta metodología. Como parte del experimento para la aplicación de la metodología, se llevó a cabo un análisis de invertebrados en la vertiente El Troje. Los conocimientos y actitudes de los estudiantes se medirán antes y después de la intervención, lo que permitirá comparar resultados y analizar el impacto de la metodología.

Esta evaluación se realizó a través de una encuesta elaborada para recoger información sobre el aprendizaje y percepción de los estudiantes respecto a la metodología aplicada. Además, se realizarán encuestas estructuradas a los estudiantes participantes para valorar cuantitativamente su experiencia de aprendizaje, nivel de satisfacción y adquisición de competencias específicas en el área de Biología Animal. De manera complementaria, se conducirán entrevistas en profundidad a los docentes del cuarto semestre, orientadas a obtener información cualitativa sobre las fortalezas y debilidades observadas durante la implementación de la metodología, así como sus recomendaciones para optimizar su aplicación en futuros ciclos académicos.

### **Población y muestra**

La población está compuesta por 15 estudiantes de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología, de cuarto semestre. Se trabajó con toda la población que participará activamente en las actividades experimentales y en la evaluación de la metodología.

### **Recolección de datos**

Para recopilar información, se emplearon diversos instrumentos y técnicas, tales como: Encuestas, en las que se aplicaron cuestionarios estructurados de 10 preguntas con cuatro opciones de respuesta, diseñados para evaluar la percepción de los estudiantes sobre la metodología "El Riachuelo". Estas encuestas se distribuyeron a través de Google Forms, lo que garantizó un acceso ágil y amplio. Además, se complementó la información con entrevistas a



docentes, en las que se indagó sobre su perspectiva respecto a la efectividad de la metodología y su impacto en el aprendizaje de los estudiantes.

Posteriormente, se desarrolló un taller práctico, en el cual los estudiantes participaron en actividades experimentales y pudieron identificar a invertebrados en su entorno natural. Estas actividades fueron diseñadas para fomentar el aprendizaje práctico y contextualizado, integrando conocimientos de diversas disciplinas. En el análisis de muestras, se recolectaron muestras de agua del riachuelo “El Troje”, para lo cual se prepararon recipientes específicos y se realizaron registros fotográficos del punto de muestreo. La información obtenida permitió contrastar los resultados de percepción estudiantil con la opinión de los docentes y los datos obtenidos en el análisis de campo.

### Procesamiento de datos

Los datos recopilados fueron procesados utilizando Microsoft Excel. Esta herramienta permitió generar tablas orientadas a visualizar los resultados de las encuestas, las entrevistas a docentes y los análisis experimentales. Las entrevistas fueron tabuladas para identificar tendencias y opiniones recurrentes, mientras que, en el caso de las encuestas, se determinaron frecuencias y porcentajes en las tablas de resultados, lo que facilitó una interpretación más clara de la percepción estudiantil. Además, se emplearon métodos estadísticos descriptivos para identificar patrones y correlaciones entre la implementación de la metodología y los resultados de aprendizaje obtenidos por los estudiantes. Este análisis permitió contrastar la información cualitativa y cuantitativa, brindando una visión integral sobre el impacto de la metodología “El Riachuelo”.

### Intervención técnica y análisis final

La intervención técnica incluyó tanto la implementación de actividades prácticas como el análisis detallado de las muestras recolectadas. Además, se aplicaron encuestas a los estudiantes y se realizaron entrevistas a los docentes para obtener una visión integral. Los resultados obtenidos fueron comparados con las percepciones de los estudiantes, reflejadas en los cuestionarios aplicados, y con las opiniones de los docentes obtenidas en las entrevistas. Este enfoque permitió validar la efectividad de la metodología “El Riachuelo” en la enseñanza de la Biología Animal, entregando datos concluyentes sobre su impacto y utilidad en el contexto.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS

El análisis detallado sobre la percepción y efectividad de la metodología transdisciplinaria ‘El Riachuelo’, aplicada al aprendizaje de Biología Animal en los estudiantes de cuarto semestre de Pedagogía de las Ciencias Experimentales en Química y Biología, muestran resultados destacables de la metodología aplicada. Este enfoque integrador ha sido evaluado en función de su capacidad para resolver problemas complejos, promover un aprendizaje significativo y fomentar la



colaboración entre los estudiantes. A través de diversas actividades y estrategias pedagógicas se ha evidenciado un aumento significativo en la participación de los estudiantes, así como, en su comprensión de los conceptos clave de la biología animal. Además, el trabajo en equipo ha jugado un papel crucial en el desarrollo de habilidades prácticas, permitiendo a los estudiantes aplicar la teoría en situaciones reales y contextualizadas.

**Tabla 1. ¿La utilización de la Metodología el Riachuelo pudo resolver y dar respuestas acordes a la realidad de la asignatura de Biología Animal?**

Indicador	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	12	80 %
De acuerdo	3	20 %
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0 %
En desacuerdo	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: (17).*

Del 100% de estudiantes de cuarto semestre de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología, el 80% manifestó su acuerdo total en que la metodología el Riachuelo permite resolver problemas y dar respuestas acordes a la realidad porque permitió entre lazar los conocimientos en el contexto entre los estudios de los invertebrados; y el 20% manifestaron su desacuerdo porque para ellos fueron totalmente nuevo la utilización de esta metodología. Los resultados muestran que la metodología empleada permite integrar varias asignaturas desde un análisis de un problema. Por consiguiente, es recomendable utilizar en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de la carrera para mejorar el perfil de egreso.

**Tabla 2. ¿La aplicación del pensamiento complejo nos ayudó a comprender y entender los problemas durante la aplicación de la Metodología el Riachuelo?**

Indicador	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	11	73 %
De acuerdo	4	27 %
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0 %
En desacuerdo	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: (17).*

El análisis de los resultados obtenidos revela que, del total de 15 estudiantes encuestados del cuarto semestre de la carrera de Ciencias Experimentales Química y Biología, una significativa mayoría del 73% manifestó estar totalmente de acuerdo con que la aplicación del pensamiento complejo facilitó la comprensión y resolución de problemas durante la implementación de la Metodología El Riachuelo. El 27% restante expresó estar de acuerdo con esta afirmación, aunque con ciertas reservas sobre el alcance de sus beneficios. Es destacable que ningún estudiante se



posicionó en las categorías de neutralidad o desacuerdo, lo que demuestra una aceptación unánime de la utilidad del enfoque transdisciplinario como herramienta cognitiva. Estos hallazgos confirman que la metodología aplicada promueve efectivamente la integración de conocimientos tradicionalmente fragmentados entre distintas disciplinas, constituyéndose como una estrategia pedagógica que permite a los estudiantes abordar el aprendizaje desde una perspectiva más holística y profunda en el campo de la biología animal.

**Tabla 3. ¿La utilización del Riachuelo ayudó a los estudiantes a adquirir un aprendizaje significativo?**

Indicador	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	10	67 %
De acuerdo	4	26 %
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	7 %
En desacuerdo	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: (17).*

Del total de estudiantes encuestados en cuarto semestre de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología, el 67% afirmó estar totalmente de acuerdo en que el Riachuelo les permitió adquirir nuevos conocimientos significativos, el 26% expresó su acuerdo y solo el 7% se mostró neutral. Estos resultados señalan que la metodología transdisciplinaria "El Riachuelo" representa el nivel más alto de integración disciplinar, permitiendo la construcción de sistemas teóricos sin fronteras entre las disciplinas. Por lo tanto, su aplicación adquiere relevancia a lo largo de todo el currículo y resulta fundamental para profundizar en el conocimiento de las asignaturas dentro del contexto de los temas transdisciplinarios.

**Tabla 4. ¿La metodología transdisciplinaria el Riachuelo facilitó el aprendizaje de Biología Animal?**

Indicador	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	12	80 %
De acuerdo	3	20%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0 %
En desacuerdo	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: (17).*

El 80% de los estudiantes encuestados de cuarto semestre de la carrera de Ciencias Experimentales Química y Biología afirmó estar totalmente de acuerdo en que la metodología transdisciplinaria facilita el aprendizaje de Biología Animal, mientras que el 20% expresó su acuerdo. Estos resultados revelan que la aplicación de este enfoque contribuye al fortalecimiento del aprendizaje, ya que el conocimiento de cada asignatura no se concibe como un fin en sí



mismo, sino como un medio para alcanzar objetivos más amplios a través de la integración de conceptos interrelacionados.

**Tabla 5. ¿Considera usted que la metodología El Riachuelo es un recurso necesario para el estudio de los animales invertebrados?**

Indicador	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	11	73 %
De acuerdo	4	27 %
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0 %
En desacuerdo	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: (17).*

El análisis de los resultados revela que el 73% de los estudiantes encuestados de cuarto semestre de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología considera fundamental la metodología El Riachuelo para el estudio de animales invertebrados, manifestando estar totalmente de acuerdo con esta afirmación. El 27% restante expresó estar de acuerdo, aunque con un conocimiento más limitado sobre todos sus beneficios educativos. Es significativo que ningún estudiante presentó una postura neutral o negativa frente a esta metodología, lo que evidencia su amplia aceptación como recurso pedagógico. Estos hallazgos subrayan la importancia del riachuelo como herramienta didáctica que promueve eficazmente la integración del aprendizaje entre diferentes áreas científicas como las ciencias de la vida, ciencias de la tierra y ciencias fisicoquímicas.

**Tabla 6. ¿Es necesaria la integración de los conocimientos desde varias perspectivas científicas como Biología, Química, Ciencias Naturales, Ecología, Matemáticas, Física, etc. para el aprendizaje de los invertebrados?**

Indicador	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	15	100 %
De acuerdo	0	0 %
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0 %
En desacuerdo	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: (17).*

El total de estudiantes encuestados de cuarto semestre de la carrera de Ciencias Experimentales Química y Biología afirmó estar completamente de acuerdo en la necesidad de integrar conocimientos desde diversas perspectivas científicas, como Biología, Química, Ciencias Naturales, Ecología, Matemáticas y Física, para el aprendizaje de los invertebrados. Estos resultados evidencian que la transdisciplinariedad favorece la diversificación dentro de un currículo interconectado, funcionando como un vínculo entre las distintas asignaturas.



**Tabla 7. ¿Considera que el estudio de los animales invertebrados a través de la metodología 'El Riachuelo' fomenta el trabajo en equipo entre los estudiantes?**

Indicador	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	6	40%
De acuerdo	6	40 %
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	3	20 %
En desacuerdo	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: (17).*

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 40% de los estudiantes encuestados de cuarto semestre manifestó estar totalmente de acuerdo con que la metodología El Riachuelo para el estudio de invertebrados ya que fomenta el trabajo en equipo. Un porcentaje idéntico expresó estar de acuerdo con esta afirmación, mientras que el 20% restante mantuvo una posición neutral. Es relevante destacar que ningún estudiante mostró desacuerdo con la premisa, lo que sugiere una percepción generalmente positiva (80% entre totalmente de acuerdo y de acuerdo) sobre el potencial de esta metodología para promover habilidades colaborativas. Estos hallazgos evidencian la estrecha relación entre el enfoque transdisciplinario implementado y el desarrollo de competencias para el trabajo colaborativo, orientado principalmente a la búsqueda conjunta de soluciones ante problemas complejos en el contexto del estudio de ecosistemas acuáticos y sus organismos invertebrados.

**Tabla 8. ¿La aplicación de la metodología El Riachuelo, en la investigación orientada al estudio de los animales invertebrados ejecutada en el Riachuelo "El troje", ¿permitió integrar la teoría con la práctica?**

Indicador	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	14	93%
De acuerdo	0	0 %
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	7 %
En desacuerdo	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: (17).*

Los resultados obtenidos revelan que una mayoría del 93% de los estudiantes de cuarto semestre de la carrera de Ciencias Experimentales Química y Biología manifestó estar totalmente de acuerdo con que la metodología "El Riachuelo" aplicada en la vertiente 'El Troje' ya que facilita la integración entre teoría y práctica en el estudio de animales invertebrados. Es destacable que ningún estudiante expresó estar "de acuerdo", mientras que solo un 7% mantuvo una posición neutral, la ausencia total de respuestas negativas (0% en desacuerdo) refuerza la valoración excepcionalmente positiva de esta metodología como herramienta pedagógica. Esta evidencia empírica confirma que 'El Riachuelo' constituye un enfoque efectivo para promover la indagación transdisciplinaria, logrando una fusión significativa entre conceptos teóricos y aplicaciones



prácticas. Esta integración favorece que los estudiantes desarrollen una comprensión más profunda y contextualizada de los temas complejos relacionados con el estudio de invertebrados en entornos naturales.

**Tabla 9. ¿Considera Ud que, la experimentación es la parte fundamental que permitió la identificación de los invertebrados en la investigación?**

Indicador	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	14	93%
De acuerdo	0	0 %
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0 %
En desacuerdo	1	7 %
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: (17).*

Los resultados obtenidos evidencian que la experimentación es un componente esencial en el proceso de identificación de invertebrados en su entorno natural. El 93% de los estudiantes de cuarto semestre de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología manifiestan estar totalmente de acuerdo con esta afirmación, lo que indica un alto nivel de aceptación de la metodología "El Riachuelo" como estrategia de aprendizaje, permitiendo a los estudiantes interactuar con la vida acuática, proporcionando una comprensión más profunda de la biodiversidad y la importancia de los animales en estos entornos.

Además, el hecho de que ningún participante haya optado por la opción "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" y que sólo el 7% escogió la opción de "En desacuerdo", resalta que la metodología, cuando se aplica correctamente, es bien recibida, pero también subraya la necesidad de reforzar su integración para mejorar los resultados y evitar las dificultades en el aprendizaje, estos hallazgos resaltan la importancia de implementar esta metodología de manera más coherente y estructurada.

**Tabla 10. ¿Considera que la metodología 'El Riachuelo', aplicada al análisis del agua en el caso de estudio, ¿es fundamental para identificar los invertebrados?**

Indicador	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	11	73%
De acuerdo	4	27 %
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0 %
En desacuerdo	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: (17).*



Los resultados reflejan la importancia del análisis del agua como parte fundamental en la identificación de invertebrados en la vertiente El Troje mediante la metodología "El Riachuelo". El 73% de los estudiantes reconoció la relevancia de este procedimiento, lo que evidencia una comprensión de la relación entre la calidad del agua y la biodiversidad acuática, este resultado resalta el impacto positivo de la metodología, ya que se integró varias disciplinas. Sin embargo, el 27% de los encuestados informó tener dificultades para recolectar muestras, lo que sugiere que la ausencia de estrategias metodológicas más estructuradas limitó el desarrollo de experimentos de campo. Según los resultados de la Tabla 10 sugieren que es importante integrar actividades prácticas más estructuradas que permitan a los estudiantes desarrollar habilidades en el análisis de parámetros fisicoquímicos y así promover el aprendizaje.

**Tabla 11. Resultados de la entrevista a los docentes de la Carrera que facilitan la asignatura de Biología Animal.**

Preguntas	Docente 1	Docente 2	Conclusión
<i>¿Dentro del contexto de la metodología transdisciplinaria ¿Con qué término describiría usted el agua de un riachuelo?</i>	Un ambiente natural, que contine varios seres vivos como los animales, contiene plantas, entre otras cosas inertes como las piedras.	Agua que fluye naturalmente, en otras palabras, agua natural.	Los docentes encuestados coinciden en que el término que describe el agua del riachuelo es "natural" en razón a que es un ambiente que alberga muchas especies animales y vegetales
<i>¿Considera que la metodología el "Riachuelo" ha permitido identificar animales invertebrados que habitan en el riachuelo? ¿Cuáles son?</i>	Sí en un riachuelo es normal encontrar varios animales, insectos especialmente como moscos, libélulas, que con el paso del tiempo terminan su vida en la tierra.	Sí es normal que en el agua habiten varios animalitos, como platas brillantes o libélulas, moscas de aliso, chinches de agua, incluso se ha visto la presencia de arañas, existen varios animales presentes en el agua.	Dentro de su experiencia ha observado a los alrededores del riachuelo la presencia de larvas de insectos como mosquitos, caballitos del diablo, libélulas o helicópteros, chinches o chicaposos, moscas de aliso. Afirman que algunas de estas especies inician su vida en el agua y luego se convierten en insectos de vida terrestre.
<i>¿Considera usted que la metodología el riachuelo es una estrategia de aprendizaje de invertebrados?</i>	Sí el implementar una nueva metodología que llame la atención de los estudiantes es importante, ya que así vamos a captar su atención de laguna manera, y sus conocimientos se van a extender.	Claro es primordial para nosotros como docentes buscar nuevas estrategias de aprendizaje, y que mejor implementar una metodología donde se pone en práctica la parte teórica y práctica y más que todo los estudiantes se relacionen a temas que mejoren su conociendo, me parece una muy buena metodología a aplicar.	Las respuestas en conjunto de los docentes coinciden en que si consideran al riachuelo como una estrategia de aprendizaje de los invertebrados.



<p><i>¿Ha observado, que estudiantes universitarios acudan al riachuelo para estudiar a los invertebrados mediante esta técnica?</i></p>	<p>Solo un estudiante ha tomado muestra de agua</p>	<p>Solo un estudiante ha tomado la muestra</p>	<p>Según la experiencia de los docentes, solo uno ha utilizado al riachuelo para el estudio de los invertebrados, pero no se han acercado todos los estudiantes a ese escenario sino únicamente un estudiante ha sido delegado para tomar una muestra de agua.</p>
<p><i>¿Considera ud, que la aplicación de la metodología El Riachuelo es importante preservar el riachuelo?</i></p>	<p>Es importante conservar esta fuente natural de agua, ya que existe la presencia de seres vivos, además ayuda a que los estudiantes pongan más énfasis en sus materias al utilizarlo como una nueva metodología.</p>	<p>Porque existe un hábitat dentro esa fuente natural, existen una gran vegetación, hongos, animales, protistas mineras, ect, además es importante preservar este tipo de recurso, ya que dependemos de ellos, y ahora al ser considera como una buena metodología con más énfasis se deben cuidar.</p>	<p>Porque constituye una importante reserva de agua y de es de fácil acceso para los seres vivos, ya que también son el hábitat de innumerables formas de vida, que incluyen protistas mineras, plantón, hongos, vegetales y animales</p>

**Fuente:** (17).

## DISCUSIÓN

La transdisciplinariedad es esencial para avanzar en la integración de los saberes, no en términos administrativos, sino en el marco de enfoques que aborden la realidad desde una perspectiva filosófica y epistemológica diversa. La unificación de las ciencias debe centrarse en conectar los conocimientos para promover la transdisciplinariedad, un enfoque que favorece el desarrollo integral de la educación superior (22), (23). En este sentido, el 80% de los estudiantes coincidieron en que la utilización del Riachuelo como recurso de estudio permitiría resolver problemas y proporcionar respuestas más alineadas con la realidad. Los datos analizados subrayan la necesidad de adoptar una concepción transdisciplinaria, lo que facilitaría el trabajo colaborativo y la comprensión profunda de los fenómenos naturales mediante el paradigma de precisión, implicación y conjunción, propuesto como herramienta para generar cambios positivos para la humanidad y fomentar el pensamiento crítico y reflexivo.

La transdisciplinariedad como una metodología cognoscitiva capaz de abordar la complejidad inherente a los seres humanos y al mundo, promoviendo el pensamiento complejo y proporcionando una visión más amplia sobre la realidad (24). En este contexto, el 73% de los estudiantes estuvo de acuerdo en que la aplicación del pensamiento complejo contribuye a comprender y abordar problemas de manera más integral. La complejidad de la realidad requiere ir más allá de los enfoques disciplinarios tradicionales, promoviendo la colaboración interdisciplinaria para comprender mejor los desafíos contemporáneos.



La educación transdisciplinaria se basa en la necesidad de una comprensión más profunda de la realidad, utilizando un enfoque que abarca la disciplinarietà, la pluridisciplinarietà, la interdisciplinarietà y la transdisciplinarietà. Este enfoque se considera esencial para la construcción de un conocimiento más complejo y representativo de la realidad (21). El 73% de los estudiantes expresó su total acuerdo con que la metodología transdisciplinaria aplicada en el estudio del Riachuelo facilitó la adquisición de nuevos conocimientos significativos. La transdisciplinarietà, según las investigaciones, favorece un conocimiento emergente superior que surge del diálogo entre diferentes disciplinas y permite una visión más rica y diversa de la realidad.

La Biología es una ciencia inherentemente transdisciplinaria, aunque no es autosuficiente en la formulación de preguntas ni en la resolución de problemas específicos. En este sentido, el 80% de los estudiantes estuvo de acuerdo en que la metodología transdisciplinaria facilita el aprendizaje de la Biología Animal. De acuerdo con investigaciones previas, el aprendizaje significativo en Biología Animal se potencia mediante el análisis transdisciplinario y la intervención, ya que el conocimiento de cada asignatura no debe ser un fin en sí mismo, sino un medio para alcanzar metas más amplias e integradoras, a través de conceptos clave y relacionados (25).

La educación se basa en la interacción con el mundo real, donde la naturaleza se presenta como el mejor escenario para la ciencia. Esta perspectiva resalta la importancia de la educación ambiental en el aprendizaje de Biología Animal (26). Investigadores identifican cuatro desafíos para la educación a través de la naturaleza, uno de los cuales es la complejidad de definir el concepto de naturaleza. Sin embargo, los autores sugieren que la solución radica en establecer una conexión directa entre los estudiantes y el mundo natural (27). El 73% de los estudiantes coincidió en que el Riachuelo es un recurso esencial para el estudio de los animales invertebrados. Esta conexión con el mundo natural permite a los estudiantes comprender mejor la teoría a través de la práctica, lo que favorece una integración más profunda de los conocimientos.

El aprendizaje de las ciencias experimentales requiere la integración de conocimientos desde diversas disciplinas, como Biología, Química, Ciencias Naturales, Ecología, Matemáticas y Física. Esta integración permite que los estudiantes comprendan los fenómenos naturales a partir de enfoques multidisciplinarios. El 100% de los estudiantes manifestó su total acuerdo en que la integración de conocimientos de diversas disciplinas es crucial para el aprendizaje de los invertebrados (28). Según los datos analizados, esta metodología tiene como objetivo unir las diferentes áreas del conocimiento, facilitando que docentes, investigadores y estudiantes se acerquen a una comprensión más completa de la realidad.

El enfoque transdisciplinario fomenta la colaboración entre expertos de distintas áreas, integrando sus conocimientos para alcanzar metas comunes, y requiere que los miembros del equipo compartan creencias y valores sobre cómo abordar los desafíos, promoviendo un intercambio de roles y funciones disciplinarias (29). Este enfoque fortalece la relación entre



docentes y estudiantes, quienes trabajan juntos de manera autogestionada en tareas comunes. El 40% de los estudiantes indicó que el estudio de los animales invertebrados en el Riachuelo fomenta el trabajo en equipo, y el 93% estuvo de acuerdo en que esta metodología permite integrar la teoría con la práctica, favoreciendo una comprensión más profunda de los temas tratados. De esta manera, la transdisciplinariedad, tal como la define Osorio, facilita la cooperación entre la academia y la sociedad, promoviendo un conocimiento holístico y comprensivo de problemas complejos (21).

El Ministerio de Educación, establece que los procesos de enseñanza y aprendizaje en Ciencias Naturales deben involucrar la lógica científica y cognitiva para comprender el medio natural. Este enfoque incluye la promoción de la experimentación, la cooperación y la argumentación. El 93% de los estudiantes coincidió en que la experimentación es fundamental para la identificación de invertebrados en el Riachuelo, lo que confirma la importancia de la experimentación dentro de la metodología transdisciplinaria para alcanzar un aprendizaje significativo (30).

La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias requieren una metodología que integre la observación y la experimentación dentro de un marco teórico. Las ciencias biológicas, en particular, se centran en el estudio de los seres vivos a través de enfoques diversos (31). El 73% de los estudiantes estuvo de acuerdo en que es fundamental realizar el análisis del agua para identificar los invertebrados presentes en el Riachuelo El Troje, resaltando la importancia de la experimentación para el conocimiento de la biodiversidad.

Los hallazgos obtenidos a través de las entrevistas a docentes del cuarto semestre de la carrera revelan un consenso significativo sobre el valor pedagógico de la metodología transdisciplinaria "El Riachuelo". La percepción docente confirma que esta aproximación metodológica ofrece beneficios sustanciales para el aprendizaje estudiantil, principalmente por su capacidad para abordar problemas complejos desde una perspectiva integral y holística. Esta valoración positiva por parte del profesorado coincide con los planteamientos teóricos de autores como (32), quienes sostienen que los enfoques transdisciplinarios facilitan una comprensión más profunda de sistemas complejos al integrar múltiples perspectivas disciplinares. En el contexto específico del estudio de ecosistemas acuáticos, como el riachuelo, esta integración resulta particularmente valiosa, pues permite analizar las interrelaciones entre factores biológicos, químicos, ecológicos y socioambientales que determinan la sostenibilidad del ecosistema.

La apreciación docente sobre la superación de los límites disciplinares tradicionales merece especial atención, pues sugiere que la metodología está logrando uno de los objetivos fundamentales de la educación transdisciplinaria que es trascender las barreras epistemológicas entre campos de conocimiento. Esto resulta consistente con lo propuesto por (33), que argumentan que la transdisciplinariedad no solo conecta disciplinas, sino que las trasciende para crear marcos conceptuales nuevos e integradores.



## CONCLUSIONES

La propuesta de la metodología transdisciplinaria "El Riachuelo" demostró ser altamente efectiva en el aprendizaje de la Biología Animal, específicamente en el estudio de los invertebrados. El 98% de los estudiantes encuestados reconocieron la importancia de esta metodología, ya que les permitió abordar problemas y ofrecer respuestas basadas en la realidad, utilizando un enfoque holístico y promoviendo el desarrollo del pensamiento complejo. Este enfoque facilita un aprendizaje significativo al integrar los conocimientos adquiridos a través de diversas disciplinas, favoreciendo una comprensión más profunda y aplicada de los contenidos biológicos.

El análisis de antecedentes y la implementación de la metodología transdisciplinaria "El Riachuelo" en el ámbito educativo revelaron resultados positivos, destacando su función como un eje integrador de saberes. A lo largo de los años, esta metodología ha sido fundamental para resolver problemas en áreas sociales, culturales, educativas y científicas. En particular, su aplicación en el aprendizaje de Biología Animal ha mostrado ser efectiva, ya que permite conocer con precisión los microorganismos presentes en el agua, lo que potencia la comprensión y el análisis de los temas tratados.

La metodología transdisciplinaria "El Riachuelo", diseñada para integrar diversas perspectivas científicas como Biología, Química, Ciencias Naturales, Ecología, Matemáticas y Física en el estudio de los invertebrados, evidenció que el trabajo colaborativo juega un papel crucial en el proceso de aprendizaje. Se constató que esta metodología favorece la diversidad dentro de un currículo conectado, estableciendo vínculos entre las asignaturas. Asimismo, se concluyó que la experimentación es esencial para la observación de microorganismos en el agua, facilitando el proceso de aprendizaje de los estudiantes y consolidando el enfoque transdisciplinario como una herramienta educativa clave.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Salgado-Escobar G, Aguilar-Fernández M, Salgado-Escobar G, Aguilar-Fernández M. Hacia la transformación de los estudiantes: un proceso transdisciplinario para la educación superior. RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo [Internet]. 2021 Oct 25 [cited 2025 Feb 20];12(23):284. Available from: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200774672021000200138&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200774672021000200138&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
2. Aguilar-Gordón F del R, Collado Ruano J, Touriñán-López JM, Bolaños-Vivas RF, Moreno-Guaicha JA, Estrada-García A, et al. Formación docente desde la filosofía educativa transdisciplinaria. 2023 Feb 28 [cited 2025 Feb 19]; Available from: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24327>
3. Paoli Bolio FJ, Paoli Bolio FJ. Multi, inter y transdisciplinarietà. Problema anuario de filosofía y teoría del derecho [Internet]. 2019 [cited 2025 Feb 19];13(13):347–57. Available from:



[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200743872019000100347&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200743872019000100347&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

4. Villaseñor RL. La transdisciplinariedad y la educación a distancia como nuevo paradigma. *Revista Iberoamericana de Innovación Científica JA TUAIDA* [Internet]. 2024 Jan 29 [cited 2025 Feb 19];1(1):3–24. Available from: <https://revistas.unachi.ac.pa/index.php/revistaJatuaida/article/view/670/580>

5. Flores Chaupis A, Flores Chaupis A. Actitudes transdisciplinarias de los docentes y logros educativos en Educación Secundaria en Huánuco. *Revista de estudios y experiencias en educación* [Internet]. 2022 [cited 2025 Feb 19];21(45):209–31. Available from: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071851622022000100209&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071851622022000100209&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

6. Hernández Ibáñez Y, Hernández Acosta F, Garcia-Flores P, Alonso-Nava A. Enseñanza transdisciplinaria en la educación superior ausencia de aplicaciones en la psicología. *Ciencia, Cultura y Sociedad* [Internet]. 2022 Jan 23 [cited 2025 Feb 19];8(1):25–38. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.11885/589>

7. Ibáñez YH, Acosta FH, Flores PG, Nava AA. Enseñanza transdisciplinaria en la educación superior ausencia de aplicaciones en la psicología. *Ciencia, Cultura y Sociedad* [Internet]. 2022 Jan 23 [cited 2025 Feb 19];8(1):25–38. Available from: <https://camjol.info/index.php/CCS/article/view/15595>

8. Salgado-Escobar G, Aguilar-Fernández M, Salgado-Escobar G, Aguilar-Fernández M. Hacia la transformación de los estudiantes: un proceso transdisciplinario para la educación superior. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo* [Internet]. 2021 Oct 25 [cited 2025 Feb 19];12(23):284. Available from: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200774672021000200138&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200774672021000200138&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

9. Esthela M, Barreiro V, Anthony L, Chicaiza F, Gabriela S, Mendez P, et al. Visión transdisciplinaria en el aprendizaje de la Biología: una perspectiva curricular. *Revista Social Fronteriza* [Internet]. 2024 Jun 13 [cited 2025 Feb 19];4(3):e43294–e43294. Available from: <https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/view/294>

10. Bernaschina D. Bioarte para la educación: propuesta metodológica para educación escolar y universitaria. *Tercio Creciente* [Internet]. 2023 Nov 30 [cited 2025 Feb 20];123–42. Available from: <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/RTC/article/view/7069>

11. Castro L. Espacio o territorio: una revisión conceptual para analizar el conocimiento producido sobre el territorio de la cuenca Matanza-Riachuelo. 2022 [cited 2025 Feb 20]; Available from: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/156529>



12. M. Torres J, L. Villegas F. La transdisciplinariedad como estrategia metodológica para la investigación científica del mundo real. Serna E, editor. Revolución en la Formación y la Capacitación para el Siglo XXI, Vol 2, 2019, ISBN 978-958-52333-3-1, págs 900-906 [Internet]. 2019 [cited 2025 Feb 20];900–6. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8720233&info=resumen&idioma=SPA>
13. Zurbriggen C, Sierra M. Transición hacia un futuro sostenible: ¿Qué aporta la investigación transdisciplinaria? Utopía y praxis latinoamericana: revista internacional de filosofía iberoamericana y teoría social, ISSN-e 1316-5216, No 94, 2021 (Ejemplar dedicado a: La cuestión de la interdisciplina), págs 158-176 [Internet]. 2021 [cited 2025 Feb 25];(94):158–76. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8040412&info=resumen&idioma=ENG>
14. Méndez Reyes JM, Padrón Medina AM. Hacia la educación universitaria del futuro: Contribuciones de la pedagogía decolonial transdisciplinaria a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. Perspectivas: Revista de Historia, Geografía, Arte y Cultura, ISSN-e 2739-0004, ISSN 2343-6271, Vol 11, No 22, 2023 (Ejemplar dedicado a: Perspectives Vol 11 No 22-2023), págs 61-76 [Internet]. 2023 [cited 2025 Feb 25];11(22):61–76. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9283817&info=resumen&idioma=ENG>
15. La metodología transdisciplinaria - Vibromancia [Internet]. [cited 2025 Feb 25]. Available from: <https://vibromancia.com/la-metodologia-transdisciplinaria/>
16. La transdisciplinariedad una herramienta para apuntar al Buen Vivir [Internet]. [cited 2025 Feb 25]. Available from: <https://journals.openedition.org/polis/10896>
17. Biología C DE, Laboratorio QY, Guzmán Elsa Alicia TUTOR Estrada García Jesús Edelberto Riobamba -Ecuador C. Propuesta metodológica transdisciplinaria “el riachuelo” para el aprendizaje de biología animal “invertebrados” con los estudiantes de cuarto semestre de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología periodo octubre 2020 - marzo 2021. 2021 Jun 15 [cited 2025 Feb 25]; Available from: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7735>
18. Investigación transdisciplinaria, la nueva «formas» del futuro educativo ! (Ed. Disruptiva) – juandon. Innovación y conocimiento [Internet]. [cited 2025 Feb 20]. Available from: [https://juandomingofarnos.wordpress.com/2015/11/03/investigacion-transdisciplinaria-la-nueva-formas-del-futuro-educativo-ed-disruptiva/?utm\\_source=chatgpt.com](https://juandomingofarnos.wordpress.com/2015/11/03/investigacion-transdisciplinaria-la-nueva-formas-del-futuro-educativo-ed-disruptiva/?utm_source=chatgpt.com)
19. Alfaro Mardones JI, Fernández Hernández C de J, González García M de J. La transdisciplinariedad una herramienta para apuntar al Buen Vivir. Polis (Santiago) [Internet]. 2015 Mar [cited 2025 Feb 20];14(40):23–42. Available from: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071865682015000100002&lng=es&nr\\_m=iso&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071865682015000100002&lng=es&nr_m=iso&tlng=es)
20. Carmona Rodríguez MA. Transdisciplinariedad: Una propuesta para la Educación Superior en Venezuela. Revista de Pedagogía [Internet]. 2004 [cited 2025 Feb 20];25(73):59–70. Available



from:[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S079897922004000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S079897922004000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

21. Gedeón Zerpa I, García Yamín N. La transdisciplinariedad en la educación superior del siglo XXI. Unica: Revista de Artes y Humanidades, ISSN 1317-102X, Vol 10, No 3, 2009, págs 58-70 [Internet]. 2009 [cited 2025 Feb 20];10(3):58–70. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5885774&info=resumen&idioma=ENG>

22. Ochoa Duarte A, León Rojas AL, Reina Rozo JD. STEAM, sociedad y extensión universitaria en Colombia: Una propuesta preliminar desde el Buen Vivir. Sociología y tecnociencia: Revista digital de sociología del sistema tecnocientífico, ISSN-e 1989-8487, Vol 11, No Extra 1, 2021 (Ejemplar dedicado a: Present and Future of STEM Training: Challenges and Defiances), págs 55-82 [Internet]. 2021 [cited 2025 Feb 20];11(1):55–82. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7845276&info=resumen&idioma=ENG>

23. La transdisciplinariedad una herramienta para apuntar al Buen Vivir – Repositorio Biocultural [Internet]. [cited 2025 Feb 20]. Available from: <https://docs.repositoriobiocultural.org/2021/08/26/la-transdisciplinariedad-una-herramienta-para-apuntar-al-buen-vivir/>

24. Rey JAH. La transdisciplinariedad como factor de cambio en el quehacer educativo moderno, a partir de las posturas epistémicas de Edgar Morin y Basarab Nicolescu. Anuario de Investigación: Universidad Católica de El Salvador [Internet]. 2021 Oct 2 [cited 2025 Feb 20];10:13–21. Available from: <https://camjol.info/index.php/aiunicaes/article/view/12485>

25. Vitalis SMML, 2021 undefined. Biología, ideología y reificación. ludus-vitalis.org [Internet]. [cited 2025 Feb 20]; Available from: <http://ludus-vitalis.org/ojs/index.php/ludus/article/viewFile/975/973>

26. Vargas EM, redie P JL, 2022 undefined. Creencias y prácticas de enseñanza de profesores universitarios en Chile. repositoriodigital.uct.clE Montañares Vargas, P Junod Lópezredie, 2022•repositoriodigital.uct.cl [Internet]. 2018 [cited 2025 Feb 20];20. Available from: <https://repositoriodigital.uct.cl/handle/10925/4673>

27. Ramón F, Mero P, García Rodríguez R. Metodologías activas para la promoción del aprendizaje significativo en la enseñanza de la asignatura Biología. REVISTA ALCANCE [Internet]. 2022 Jan 8 [cited 2025 Feb 20];6(2). Available from: <https://alcance.unesum.edu.ec/index.php/alcance/article/view/43/61>

28. Hinostraza E, ... WG... RV, 2022 undefined. Las prácticas preprofesionales de las ciencias experimentales desarrolladas en la educación virtual ecuatoriana. researchgate.net [Internet]. [cited 2025 Feb 20]; Available from: <https://www.researchgate.net/profile/Wilmer-Orlando->



# PRESENCIA DE AFLATOXINAS EN ALIMENTOS: IMPLICACIONES PARA LA SALUD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

## PRESENCE OF AFLATOXINS IN FOOD: IMPLICATIONS FOR HEALTH AND FOOD SAFETY

Daniel Alejandro Luna Velasco<sup>1</sup>, Karen Lisseth Moyano Orozco<sup>2</sup>

{[daniel.luna@unach.edu.ec](mailto:daniel.luna@unach.edu.ec), [karenmoyanosmj92@gmail.com](mailto:karenmoyanosmj92@gmail.com)}

Fecha de recepción: 04/06/2025 / Fecha de aceptación: 06/06/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** La presencia de aflatoxinas en alimentos representa un grave problema de salud pública y seguridad alimentaria, especialmente en países tropicales y subtropicales, donde las condiciones climáticas favorecen la proliferación de hongos productores de estas micotoxinas. Las aflatoxinas, en particular la aflatoxina B1, han sido clasificadas como compuestos altamente tóxicos, inmunosupresores y cancerígenos; generando preocupación tanto por sus efectos en la salud humana como por sus repercusiones económicas y comerciales. Esta problemática se agrava en regiones con escasa infraestructura para el monitoreo y control de contaminantes alimentarios, lo que justifica la necesidad de revisar de forma crítica y sistemática la evidencia científica disponible. El objetivo de este estudio fue realizar una revisión sistemática de la literatura científica sobre la presencia de aflatoxinas en alimentos, sus efectos en la salud y sus implicaciones para la seguridad alimentaria, aplicando la metodología PRISMA. La investigación se desarrolló con un enfoque cualitativo-descriptivo, utilizando como fuentes de información las bases de datos PubMed, ScienceDirect, Scopus y SciELO. Los resultados indican que la aflatoxina B1 (AFB1) es la más prevalente y tóxica, asociada principalmente con el desarrollo de carcinoma hepatocelular, inmunosupresión y retraso en el crecimiento infantil. Se detectó su presencia en alimentos como maíz, maní, arroz, nueces y productos procesados. Asimismo, la aflatoxina M1 (AFM1), derivada de la excreción de AFB1 en leche de animales, representa un riesgo elevado en lactantes. Se observaron variaciones significativas en los límites regulatorios establecidos por distintas autoridades sanitarias, lo que genera dificultades en el comercio internacional y expone a las poblaciones más vulnerables a riesgos sanitarios elevados. En conclusión, la evidencia recopilada revela que las aflatoxinas siguen siendo un contaminante alimentario prioritario, que requiere estrategias integrales de prevención, control y regulación. Se destaca la necesidad de fortalecer los sistemas de vigilancia, promover buenas prácticas agrícolas y desarrollar tecnologías accesibles para la detección temprana, especialmente en contextos con recursos limitados.

**Palabras clave:** *Aflatoxinas, alimentos contaminados, seguridad alimentaria, salud pública*

**ABSTRACT:** The presence of aflatoxins in food represents a serious public health and food safety problem, especially in tropical and subtropical countries, where climatic conditions favor the proliferation of fungi that produce these mycotoxins. Aflatoxins, particularly aflatoxin B1, have been classified as highly toxic, immunosuppressive, and carcinogenic compounds, raising concerns both for their effects on human health and their economic and

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0002-3574-526X>.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0009-0005-2586-466X>.

commercial repercussions. This problem is exacerbated in regions with limited infrastructure for monitoring and controlling food contaminants, justifying the need to critically and systematically review the available scientific evidence. The objective of this study was to conduct a systematic review of the scientific literature on the presence of aflatoxins in food, their effects on health, and their implications for food safety, applying the PRISMA methodology. The research was conducted using a qualitative-descriptive approach, using the PubMed, ScienceDirect, Scopus, and SciELO databases as sources of information. The results indicate that aflatoxin B1 (AFB1) is the most prevalent and toxic, primarily associated with the development of hepatocellular carcinoma, immunosuppression, and childhood growth retardation. Its presence was detected in foods such as corn, peanuts, rice, nuts, and processed foods. Likewise, aflatoxin M1 (AFM1), derived from the excretion of AFB1 in animal milk, poses a high risk to infants. Significant variations were observed in the regulatory limits established by different health authorities, generating difficulties in international trade and exposing the most vulnerable populations to high health risks. In conclusion, the evidence gathered reveals that aflatoxins remain a priority food contaminant, requiring comprehensive prevention, control, and regulation strategies. The need to strengthen surveillance systems, promote good agricultural practices, and develop accessible technologies for early detection is highlighted, especially in resource-limited settings.

**Keywords:** *Aflatoxins, contaminated food, food safety, public health*

## INTRODUCCIÓN

La seguridad de la alimentación es uno de los principios básicos para el desarrollo humano sostenible, al que proporciona alimentos inocuos, nutritivos y suficientes, para una vida activa y saludable (1). Sin embargo, este principio está siendo desestabilizado por la existencia en el segmento agroalimentario de contaminantes químicos y biológicos, y dentro de estos últimos destacan las micotoxinas, son compuestos tóxicos generados por ciertos hongos filamentosos (2). Entre este grupo, las aflatoxinas representan un riesgo importante tanto para la salud pública como para la rama agrícola y alimentaria económica en toda la escala mundial (3).

Las aflatoxinas son compuestos secundarios metabolizados, producidos principalmente por los hongos *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*, dentro de una gran cantidad de productos agrícolas, semillas, maíz, maní, arroz, maní, entre otros. Estas toxinas crecen principalmente en un ambiente húmedo y cálido y, como habitual en los países de clima tropical y subtropical, incrementan su aparición en mucho de los países en las regiones en desarrollo (4). Desde el punto de vista toxicológico, las aflatoxinas, en particular, la aflatoxina B1, son ampliamente reconocidos como compuestos hepatotóxicos, inmunosupresores y cancerígenos. Por eso la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) tiene catalogada la aflatoxina B1 como carcinógeno del Grupo 1, con evidencia suficiente de carcinogenicidad en humanos (5).

El contacto humano con aflatoxina puede ser directo consumiendo alimentos tóxicos contaminados o indirectamente a través de productos de origen animal provenientes de animales alimentados con ración contaminada. Esta situación es particularmente preocupante en poblaciones sensibles, como niños, mujeres embarazadas o individuos

inmunodeprimidos, donde se ha dicho que en sitios con exposición prolongada a aflatoxinas está relacionado con el retraso en el crecimiento de niños, afectación a los riñones y mayor probabilidad de cáncer hepático mayormente en concurrencia con las infecciones por el virus de la hepatitis B (6).

Las metodologías de investigación en el ámbito de las aflatoxinas han experimentado una transformación significativa en las últimas décadas. Tradicionalmente, los estudios se centraban exclusivamente en la cuantificación de estos compuestos tóxicos mediante técnicas analíticas convencionales, particularmente la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y los ensayos por inmunoabsorción ligada a enzimas (ELISA)(7–9).

Sin embargo, el paradigma investigativo ha evolucionado hacia enfoques más comprensivos e integrales que trascienden la mera determinación analítica. Los estudios contemporáneos incorporan múltiples dimensiones del problema, abarcando factores agronómicos que influyen en la producción de aflatoxinas, aspectos socioeconómicos que determinan la vulnerabilidad de las comunidades afectadas, y el marco normativo que regula la presencia de estos contaminantes en los alimentos (10).

Generalmente, las revisiones sistémicas son potentes herramientas para sintetizar el conocimiento que existe sobre una cuestión relevante, convirtiendo los resultados de diferentes investigaciones primarias en un cuerpo de evidencia con enfoque riguroso y transparente. En este sentido, el empleo de la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) permite garantizar la calidad, la reproductibilidad y la exhaustividad en la recopilación, selección y análisis de los trabajos participantes en una revisión. PRISMA proporciona una guía estructurada que relata claramente y detalladamente los criterios de inclusión y exclusión, las estrategias de búsqueda bibliográfica, la evaluación de la sesión y la síntesis de los resultados.

En la literatura científica reciente vuelve a darse un incremento gradual en los trabajos sobre el estudio de la presencia de aflatoxinas en alimentos principalmente en zonas donde su control se encuentra limitado por barreras técnicas o económicas. Tales mecanismos están asociados con el consumo de alimentos contaminados por aflatoxinas, como maíz o leche cruda, en niveles alarmantes, superiores a los establecidos por organismos internacionales como el Codex Alimentarius o la Unión Europea (11, 12).

Frente a esto la presente investigación tiene como objetivo revisar sistemáticamente la literatura científica disponible sobre la presencia de aflatoxinas en alimentos y sus implicaciones en la salud y la seguridad alimentaria, seguidas por los lineamientos metodológicos diseñados por el protocolo PRISMA.

Con esta revisión sistemática se espera aportar una visión crítica, estructurada y actualizada sobre uno de los contaminantes alimentarios más peligrosos y persistentes, con implicaciones directas para las políticas públicas de salud, la regulación alimentaria y el diseño de intervenciones a nivel productivo y comunitario.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Enfoque

La presente investigación se realizó con enfoque cualitativo y descriptivo, con la aplicación de la revisión sistemática de literatura según la guía PRISMA (Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses). Esta metodología permite recopilar, analizar y recibir de forma sistemática los datos científicos disponibles acerca de la presencia de aflatoxinas en alimentos y sus implicaciones en la salud pública y seguridad alimentaria. La revisión busca identificar información y estrategias actuales de control, guiadas así por estudios empíricos publicados en los cinco últimos años.

### Criterios de inclusión

Para garantizar la pertinencia y calidad de los estudios seleccionados, se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

- Publicaciones científicas originales (artículos de investigación, reportes técnicos con revisión por pares).
- Estudios publicados entre enero de 2013 y diciembre de 2023.
- Investigaciones enfocadas en la detección, cuantificación, impacto o control de aflatoxinas en alimentos destinados al consumo humano o animal.
- Estudios que reporten datos específicos sobre niveles de aflatoxinas (ya sea en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  o  $\text{ng}/\text{mL}$ ), métodos de análisis empleados o efectos sobre la salud.
- Artículos escritos en idioma español o inglés.
- Estudios realizados en contextos nacionales o internacionales, sin restricción geográfica.

### Criterios de exclusión

- Revisiones narrativas, editoriales, cartas al editor, ponencias, tesis no publicadas o documentos sin revisión por pares.
- Estudios que traten otras micotoxinas sin incluir datos específicos sobre aflatoxinas.
- Investigaciones centradas exclusivamente en cepas fúngicas sin vinculación con matrices alimentarias.
- Artículos con información insuficiente sobre métodos analíticos, niveles de detección o resultados de salud.
- Duplicados o versiones preliminares de artículos ya incluidos.



## Fuente de datos

La búsqueda sistemática se llevó a cabo en cuatro bases de datos científicas reconocidas por su amplia cobertura en el ámbito de las ciencias agrícolas, alimentarias y de la salud, específicamente: PubMed, ScienceDirect, Scopus y SciELO. Para ello, se utilizaron estrategias de búsqueda estructuradas con combinaciones de palabras clave y operadores booleanos, tales como: "aflatoxins" AND "food contamination" OR "food safety" AND "human health", "aflatoxinas" AND "alimentos contaminados" AND "seguridad alimentaria", y "aflatoxin exposure" AND "public health" AND "detection methods", entre otros términos equivalentes en inglés y español. Además, la búsqueda se complementó mediante el uso de descriptores normalizados, como los términos MeSH (Medical Subject Headings) y DeCS (Descriptores en Ciencias de la Salud), y se aplicaron filtros por idioma (inglés y español), rango de años de publicación (2020–2025) y tipo de documento (artículos originales con revisión por pares).

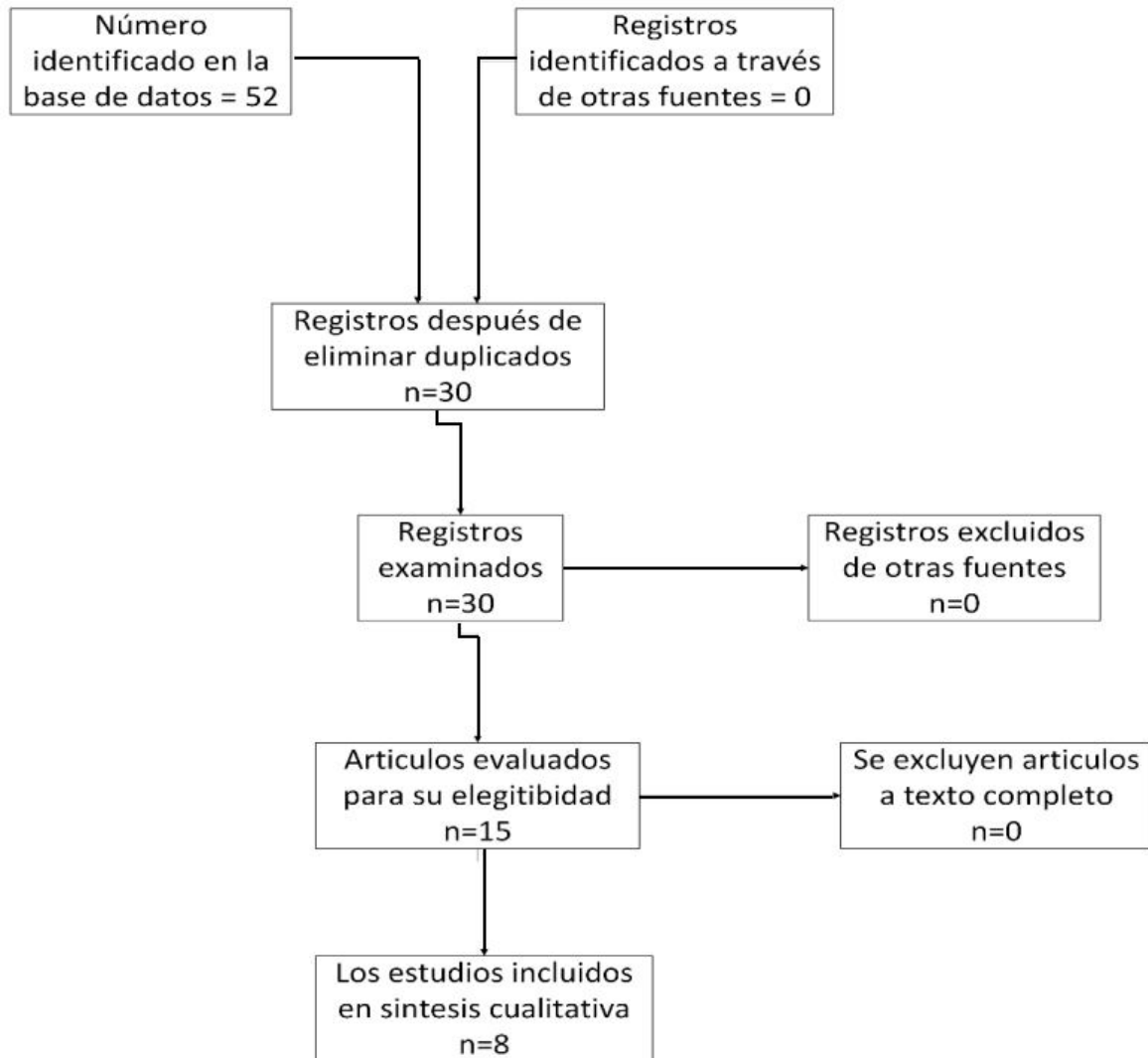
## Análisis de datos

Los artículos seleccionados fueron evaluados en tres etapas consecutivas: primero, se realizó la lectura de títulos y resúmenes; posteriormente, se revisó el texto completo de los estudios potencialmente relevantes; y finalmente, se procedió a la extracción de datos clave para su sistematización. De cada artículo incluido se recopiló información específica como los autores y el año de publicación, el país o región donde se realizó el estudio, el tipo de alimento analizado, el método de detección utilizado (como HPLC, ELISA, LC-MS, entre otros), la concentración de aflatoxinas reportada, la comparación con los límites regulatorios establecidos por organismos como el Codex Alimentarius, la Unión Europea o la FDA, los impactos en la salud o evaluaciones de riesgo asociadas, así como las estrategias de prevención o mitigación propuestas. Los datos fueron organizados en matrices comparativas y categorizados según el tipo de alimento (cereales, leche, frutos secos, entre otros), el tipo de aflatoxina (B1, B2, G1, G2, M1) y la región geográfica. Esta clasificación permitió identificar tendencias comunes, variaciones significativas entre contextos y vacíos de investigación en la literatura revisada.

## Herramientas utilizadas

*Tabla 1. Herramientas utilizadas para la revisión bibliográfica.*

Herramienta	Uso
Mendeley	Referencias bibliográficas
Excel	Matriz de datos
Método PRISMA	Revisión de literatura



**Figura 1.** Método Prisma en revisión bibliográfica.

Después de aplicar el método Prisma, se identificaron inicialmente 52 artículos en las bases de datos, pero tras la eliminación de duplicados y el análisis de pertinencia, solo 15 artículos fueron seleccionados para una evaluación detallada. Finalmente, se incluyeron 8 estudios en la síntesis cualitativa. Cabe señalar que únicamente los 15 artículos seleccionados fueron considerados para el análisis de resultados del presente estudio.

## RESULTADOS

A continuación, se presenta la Tabla 2, la cual resume los hallazgos más relevantes de la revisión sistemática realizada sobre la presencia de aflatoxinas en alimentos, su clasificación según el tipo, los alimentos comúnmente contaminados, las enfermedades asociadas, los límites regulatorios establecidos y sus implicaciones para la seguridad alimentaria. Esta sistematización permite visualizar de manera comparativa no solo la toxicidad diferencial de cada tipo de aflatoxina, sino también su impacto potencial en la salud pública y en la calidad e inocuidad de los productos alimenticios. La información recopilada pone en evidencia la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo y control, especialmente en regiones donde las condiciones climáticas y las prácticas postcosecha favorecen la proliferación de hongos productores de estas micotoxinas.



**Tabla 2. Resultados de la revisión sistemática sobre aflatoxinas: tipo, alimentos contaminados, enfermedades causadas, límites regulatorios y repercusiones en la seguridad alimentaria.**

Tipo de aflatoxina	Alimento(s) frecuentemente contaminado(s)	Enfermedades que causa	Límites regulatorios (µg/kg)	Implicaciones para la seguridad alimentaria	Referencias principales
AFB1 (Aflatoxina B1)	Maíz, maní, arroz, especias, nueces, productos procesados	Hepatotoxicidad aguda, carcinoma hepatocelular, inmunosupresión, retraso del crecimiento infantil, mutagénesis	2 (UE), 20 (EE. UU.)	Alta toxicidad y estabilidad; limita exportaciones y representa un grave riesgo en climas tropicales	(13), (14), (15), (16), (17), (18), (19)
AFB2 (Aflatoxina B2)	Maíz, frutos secos, aceites vegetales	Genotoxicidad moderada, conversión metabólica a AFB1	0.1–0.5 (UE)	Refuerza toxicidad cuando coexiste con AFB1; su presencia implica contaminación múltiple	(20), (21), (22), (23), (24)
, AFG1 (Aflatoxina G1)	Maní, arroz, maíz, frutas secas	Daño hepático crónico, posible cancerogenicidad, alteraciones inmunológicas	2 (UE)	Agrava toxicidad combinada en alimentos contaminados; menor frecuencia, pero igual de peligrosa	(25), (26), (27), (28)
AFG2 (Aflatoxina G2)	Maíz, higos,	Toxicidad hepática	0.1–0.5 (UE)	Menos prevalente,	(29,30)

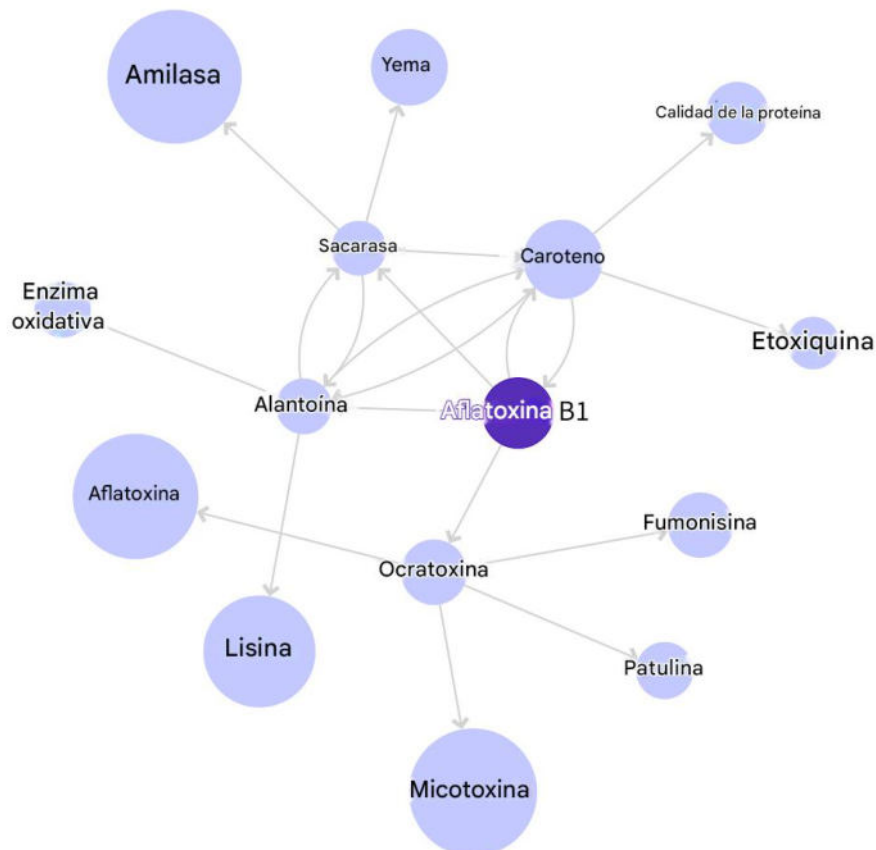


---

	almendras, café	leve; potencial mutagénico		pero relevante en evaluaciones de riesgo; su detección sugiere contaminación múltiple
AFM1 (Aflatoxina M1)	Leche y derivados (queso, yogur), carne de animales alimentados con piensos contaminados	Riesgo cancerígeno, especialmente en niños; daño hepático crónico, inmunosupresión	0.05 (UE), 0.5 (EE. UU.)	Altamente preocupante en lactantes y niños; su control es clave en la cadena láctea (31), (32), (33), (34), (35)

---

Por otro lado, se realizó un análisis de las interacciones químicas y biológicas, según los artículos revisados, en la que se pudo establecer cuáles son los compuestos químicos, que se relacionan con la presencia de aflatoxina B1. El tamaño de la burbuja indica la cantidad de documentos que hablan sobre este tema, mientras que las flechas muestran qué temas se referencian entre sí, como se lo evidencia en la Figura 2.



**Figura 2.** Interacciones y relaciones de la Aflatoxina B1 con compuestos bioquímicos y otras micotoxinas.

En la Figura 2 muestra que los estudios revisados coinciden en que la aflatoxina B1 (AFB1) es la más prevalente, tóxica y con mayor capacidad de inducir cáncer hepático, especialmente en individuos con coinfección por hepatitis B (36). La presencia de esta toxina en productos básicos como el maíz o el maní plantea un problema crítico en regiones de África, Asia y América Latina, donde su monitoreo aún es limitado. Por su parte, la aflatoxina M1 (AFM1) ha generado preocupación creciente por su presencia en leche cruda y productos derivados, especialmente en niños, debido a su transmisión directa a través de animales alimentados con piensos contaminados (32).

Los límites regulatorios varían según la legislación internacional, siendo la Unión Europea más estricta que Estados Unidos, lo cual tiene implicaciones directas en la comercialización internacional de productos alimenticios. La falta de cumplimiento con estas normativas puede derivar en el rechazo de lotes, pérdidas económicas y sanciones para los productores.

En términos de seguridad alimentaria, la presencia de aflatoxinas representa una amenaza directa a la



disponibilidad y aceptabilidad de los alimentos, ya que impide garantizar la inocuidad y calidad exigidas (37). Además, la exposición crónica a bajos niveles de aflatoxinas puede tener consecuencias acumulativas a largo plazo, especialmente en poblaciones con dietas poco diversificadas (38).

En el análisis de las interacciones y relaciones de la aflatoxina B1, se observa que esta micotoxina mantiene vínculos indirectos con compuestos como la amilasa, la yema y la sucrasa, los cuales están relacionados con la alantoína y el caroteno. Esto sugiere posibles interacciones en rutas metabólicas o en la respuesta biológica frente a la aflatoxina B1. Asimismo, la calidad proteica y la etoxiquina, también asociadas al caroteno, podrían desempeñar un papel en la protección frente a los efectos de la aflatoxina B1 o en su impacto sobre la calidad de los alimentos. Por otro lado, la enzima oxidativa, vinculada con la alantoína, podría estar implicada en la respuesta al estrés oxidativo inducido por esta toxina. La relación entre aflatoxina y lisina, mediada por la alantoína, sugiere posibles efectos sobre el metabolismo de los aminoácidos.

Además, la conexión entre micotoxinas como la patulina y la aflatoxina B1, a través de la ocratoxina, indica un escenario de contaminación múltiple. El mapa conceptual revela que la aflatoxina B1 se encuentra en el centro de una red de interacciones bioquímicas y toxicológicas, donde su coexistencia con otras micotoxinas (como ocratoxina, fumonisina y patulina) podría potenciar sus efectos negativos sobre la salud. Finalmente, las asociaciones con enzimas, aminoácidos y antioxidantes (como el caroteno) apuntan a posibles mecanismos de mitigación o daño biológico, mientras que términos como “calidad proteica” y “yema” reflejan un impacto potencial en el valor nutricional de los alimentos contaminados.

## DISCUSIÓN

Los resultados de esta revisión sistemática evidencian la relevancia global del problema de la contaminación por aflatoxinas en alimentos, especialmente en regiones tropicales y subtropicales donde las condiciones de temperatura y humedad favorecen el crecimiento de hongos del género *Aspergillus*, productores de estas micotoxinas. De los diferentes tipos de aflatoxinas identificados en la literatura, la aflatoxina B1 (AFB1) destaca por ser la más prevalente, tóxica y con mayor evidencia de efectos adversos para la salud humana, principalmente por su relación directa con el desarrollo de carcinoma hepatocelular, particularmente en individuos con coinfección por el virus de la hepatitis B.

Los alimentos más frecuentemente contaminados con aflatoxinas incluyen el maíz, los frutos secos (especialmente el maní), el arroz, las especias y los productos lácteos, lo cual es consistente con otros estudios previos realizados en África, Asia y América Latina (39). Esta contaminación no solo representa un riesgo directo para la salud pública, sino que también constituye una seria amenaza para la seguridad alimentaria, ya que afecta tanto la disponibilidad como la aceptabilidad de los alimentos en el mercado nacional e internacional. En este sentido, los países con regulaciones más estrictas, como los de la Unión Europea, suelen rechazar productos alimenticios que exceden los límites máximos permitidos de aflatoxinas, generando pérdidas económicas significativas para los productores de regiones menos desarrolladas (40).

La aflatoxina M1 (AFM1), presente en leche y derivados, adquiere especial relevancia por su excreción directa a través de animales que consumen piensos contaminados con AFB1. Su detección en productos lácteos destinados al consumo infantil representa una preocupación crítica, dada la mayor susceptibilidad de los niños a los efectos tóxicos de estas sustancias. Aunque su toxicidad es menor en comparación con la AFB1, su presencia es un indicador

indirecto de la exposición crónica a aflatoxinas en la cadena alimentaria (35).

Una observación importante derivada del análisis comparativo es la co-ocurrencia frecuente de varios tipos de aflatoxinas en un mismo alimento, lo que puede aumentar el riesgo toxicológico por efectos aditivos o sinérgicos. Las aflatoxinas B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub>, aunque menos potentes individualmente, contribuyen al riesgo total cuando están presentes junto con AFB<sub>1</sub>, lo que justifica la necesidad de establecer límites conjuntos y no solo individuales en las normativas de seguridad alimentaria (20).

Asimismo, se identificó una gran variabilidad en los límites regulatorios establecidos por diferentes organismos internacionales. Por ejemplo, mientras la Unión Europea mantiene límites muy estrictos (2 µg/kg para AFB<sub>1</sub> y 0.05 µg/kg para AFM<sub>1</sub>), los Estados Unidos permiten concentraciones mayores, lo que genera desafíos en el comercio internacional. Esta disparidad también refleja diferencias en la capacidad de vigilancia y control, donde los países en desarrollo enfrentan mayores dificultades para implementar sistemas de monitoreo efectivos, debido a limitaciones tecnológicas, económicas y normativas (41, 42).

En cuanto a las implicaciones para la salud pública, los efectos de las aflatoxinas pueden dividirse en agudos y crónicos. La exposición aguda, aunque menos común, puede provocar intoxicaciones graves con desenlaces fatales, como se ha documentado en varios brotes en Kenia y la India. Sin embargo, la exposición crónica, a bajos niveles, pero sostenida en el tiempo, es la forma más insidiosa de afectación, vinculada no solo al cáncer hepático, sino también a inmunosupresión, desnutrición infantil, menor eficacia de vacunas y alteraciones del desarrollo (43, 44).

Finalmente, los estudios revisados sugieren que, además de los controles en los productos finales, es fundamental implementar estrategias preventivas en las etapas de producción, cosecha, almacenamiento y transporte de alimentos. Prácticas como el secado rápido y adecuado de granos, el uso de fungicidas naturales, el monitoreo de condiciones ambientales y la introducción de tecnologías de detección rápidas y sensibles (HPLC, ELISA, LC-MS) pueden contribuir significativamente a reducir la carga de aflatoxinas en la cadena alimentaria. Asimismo, la educación de agricultores y productores sobre buenas prácticas agrícolas y la necesidad de implementar sistemas de trazabilidad resultan claves para mitigar este riesgo (45).

En conjunto, los resultados evidencian que la contaminación por aflatoxinas es un problema multifactorial que requiere un enfoque integrado, que combine medidas regulatorias, tecnológicas, educativas y sanitarias para garantizar alimentos seguros y proteger la salud pública, especialmente en las poblaciones más vulnerables.

## CONCLUSIONES

La revisión de la literatura evidencia que las aflatoxinas son contaminantes alimentarios de alta preocupación debido a su toxicidad, estabilidad y amplia distribución en productos de consumo cotidiano. Su impacto no solo se refleja en la salud humana, con enfermedades como el cáncer hepático y la inmunosupresión, sino también en la seguridad alimentaria, afectando la calidad, disponibilidad y comercialización de alimentos. Las diferencias en los límites regulatorios entre países, junto con las limitaciones tecnológicas en regiones



vulnerables, dificultan una respuesta uniforme y eficaz al problema. Frente a ello, es indispensable fortalecer los sistemas de control a lo largo de toda la cadena alimentaria, impulsar el desarrollo de tecnologías accesibles para la detección temprana y promover políticas públicas orientadas a la reducción del riesgo de exposición crónica. La lucha contra las aflatoxinas debe ser multidisciplinaria, coordinada y sostenida, priorizando tanto la salud pública como el derecho a una alimentación inocua y nutritiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FAO el F la O el W o el UNICEF. PANORAMA DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2020 [Internet]. 2023 [cited 2025 Jun 2];<https://doi.org/10.4060/cb2242es>. Available from: <http://localhost:8080/jspui/handle/123456789/178>
2. Ramírez-Juárez J, Ramírez-Juárez J. Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. Rev Mex De Cienc Agric [Internet]. 2022 May 7 [cited 2025 Jun 2];13(3):553–65. Available from: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342022000300553&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342022000300553&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
3. Tozcano L, Atonal R, Galicia S, Garrido V. LAS AFLATOXINAS,¿ UN LAS AFLATOXINAS,¿ UN PELIGRO SILENCIOSO? PELIGRO SILENCIOSO? researchgate.net [Internet]. [cited 2025 Jun 2]; Available from: [https://www.researchgate.net/profile/Martha-Bibbins/publication/378977196\\_vol-20-3/links/65f4ad01286738732d4d506b/vol-20-3.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Martha-Bibbins/publication/378977196_vol-20-3/links/65f4ad01286738732d4d506b/vol-20-3.pdf)
4. Vila-Donat P, Sánchez D, ... LMR, 2024 undefined. DETERMINACIÓN DE AFLATOXINA B1 Y OCRATOXINA A EN EXCREMENTOS DE RATAS WISTAR EXPUESTAS A DIETAS NATURALMENTE CONTAMINADAS. search.ebscohost.com [Internet]. [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=02127113&asa=N&AN=182334646&h=di12cq2wKzC4fkbdalGneZwFC53Asyw7Kt1qZqf1xjPexopNa0LdeXcW0IETM0Nyoi9yXp9d2fRgvrq6NqoW5Q%3D%3D&crl=c>
5. Olguin RE, Delgado ER. Control de Aspergillus spp. aflatoxigénicos con bacterias asociadas a pasas no contaminadas con aflatoxinas. 2024 [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13688>
6. Lizet I, Vera S, Arturo G, Romero Á. Aflatoxina B1: Cuando los alimentos se vuelven tóxicos. repository.uaeh.edu.mx [Internet]. 2025 [cited 2025 Jun 2];2(4):11–4. Available from: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xahni/article/view/14054>
7. Rebaza Chavez CA. Detección de aflatoxina B1 en Granos de kiwicha mediante nanosensores aptaméricos y remediación fotoquímica con rayos ultravioleta [Internet]. Universidad Nacional de Trujillo; 2021 [cited 2025 Jun 2]. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.14414/21057>
8. Abid SA, Ahmed Muneer A, Al-Kadmy IMS, Sattar AA, Beshbishy AM, Batiha GES, et al. Biosensors as a future diagnostic approach for COVID-19. Life Sci. 2021 May 15;273.
9. Abbas M. Chromatographic Techniques for Estimation of Aflatoxins in Food Commodities. Aflatoxins - Occurrence, Detoxification, Determination and Health Risks. 2022 Feb 9;
10. Pérez JG. Aflatoxinas, tricotecenos de tipo ay hongos productores en maíz y avena. Nuevos antifúngicos y su impacto en salud. 2021 [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://producciocientifica.uv.es/documentos/61e65759ab9201745649db60>
11. Quichimbo AG, López AL. Detección de Aflatoxinas totales en bocaditos de frutos secos



- comerciales. 2023 [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/58551/1/T113824%20GRANDA%20ANGIE-LOOR%20ANA%20MAR%C3%83%20A-signed.pdf>
12. Balda NT. Efecto de las Aflatoxinas en Alimentación Animal. 2024 [cited 2025 Jun 2]; Available from: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/17395>
13. Contreras Trigo BI. Desarrollo de un protocolo para la detección de aflatoxina b1 en pienso para bovino lechero basado en un apta- nanobiosensor. 2021 [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://repositorio.uss.cl/handle/uss/8641>
14. Lizet I, Vera S, Arturo G, Romero Á. Aflatoxina B1: Cuando los alimentos se vuelven tóxicos. XAHNI Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No 6 [Internet]. 2025 Jan 5 [cited 2025 Jun 2];2(4):11–4. Available from: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xahni/article/view/14054>
15. Pinedo YC, ... IMMP (1692, 2023 undefined. Determinación y cuantificación de los niveles de aflatoxina en huevos de consumo. search.ebscohost.com [Internet]. [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=16928261&AN=164812782&h=YzPtFhiR8u1P2Uq3%2FdOqwhECamWDQ%2B210V%2F6yz%2FHXmj1B5OjdmT0brRdqedaHBGSIDm0Pi02uSc5KXqzCSoaaA%3D%3D&crl=c>
16. Miranda MM. Evaluación de riesgo de aflatoxinas en arroz. 2023 [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YfjBEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=aflatoxina+b1+cancer&ots=DvPDwP7uTP&sig=sxdkscPkNorXyFzoiqxSMPvXByM>
17. AJ L, AM M, Toxicología MMR de, 2022 undefined. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A AFLATOXINA B1 Y DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE EXCRECIÓN DE AFLATOXINA M1 EN LECHE EN GANADO. search.ebscohost.com [Internet]. [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=02127113&asa=N&AN=160974140&h=8AL%2BukPKw4F1Rrw1vJns%2F9faW0Xz0pHYUHWdlp%2B3wPioyGREoRUHJSrdcoJLtubxRRZSzX8QVlek63jmLtwalQ%3D%3D&crl=c>
18. Lizet I, Vera S, Arturo G, Romero Á. Aflatoxina B1: Cuando los alimentos se vuelven tóxicos. repository.uaeh.edu.mx [Internet]. 2025 [cited 2025 Jun 2];2(4):11–4. Available from: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xahni/article/view/14054>
19. Ruíz-García E, Ruan J, Vega HA de la. Epidemiología del cáncer hepático. researchgate.net [Internet]. [cited 2025 Jun 2]; Available from: [https://www.researchgate.net/profile/Alfredo-Ramirez-Gutierrez-De-Velasco/publication/362113250\\_Importancia\\_de\\_la\\_imagen\\_en\\_el\\_diagnostico\\_y\\_seguimiento\\_del\\_carcinoma\\_hepatocelular/links/62d71eb585824c670f58e310/Importancia-de-la-imagen-en-el-diagnostico-y-seguimiento-del-carcinoma-hepatocelular.pdf#page=20](https://www.researchgate.net/profile/Alfredo-Ramirez-Gutierrez-De-Velasco/publication/362113250_Importancia_de_la_imagen_en_el_diagnostico_y_seguimiento_del_carcinoma_hepatocelular/links/62d71eb585824c670f58e310/Importancia-de-la-imagen-en-el-diagnostico-y-seguimiento-del-carcinoma-hepatocelular.pdf#page=20)
20. Calderón R, Palma P, Godoy M, Vidal M, Rivera A. Co-occurrence and estimation of the risk of total aflatoxins (B1, B2, G1, and G2) and ochratoxin A in agri-food products consumed in Chile. Food Control [Internet]. 2023 Apr 1 [cited 2025 Jun 2];146:109493. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713522006867>

21. Deshmukh MT, Wankhede PR, Chakole N, Kale PD, Jadhav MR, Kulkarni MB, et al. Towards intelligent food safety: Machine learning approaches for aflatoxin detection and risk prediction. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2025 Jul 1 [cited 2025 Jun 2];161:105055. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224425001918>
22. Romero-Sánchez I, Alonso-Núñez I, Gracia-Lor E, Madrid-Albarrán Y. Analysis and evaluation of in vitro bioaccessibility of aflatoxins B1, B2, G1 and G2 in plant-based milks. *Food Chem* [Internet]. 2024 Dec 1 [cited 2025 Jun 2];460:140538. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814624021885>
23. Al tamim A, Alharbi R, Aldosari Z, Almasoud Y, Al Sayari AA, Almutairi MA, et al. Occurrence of total aflatoxins (B1, B2, G1, G2) in commercial peanut and peanut butter from the Saudi market in the period from 2015 to 2020. *Toxicol Rep* [Internet]. 2024 Dec 1 [cited 2025 Jun 2];13:101797. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221475002400180X>
24. Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, et al. Evaluación de riesgos de las aflatoxinas en los alimentos. *EFSA*. [Internet]. 2020 Mar 1 [cited 2025 Jun 2];18(3):6040. Available from: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2020.6040>
25. Patel A. Aflatoxin removal and biotransformation aptitude of food grade bacteria from milk and milk products- at a glance. *Toxicon* [Internet]. 2024 Oct 1 [cited 2025 Jun 2];249:108084. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0041010124006561>
26. Dabare S, Rajapaksha S, Munaweera I. Empowering innovative strategies: Utilizing polymer-based nanotechnology for the prevention, control, and detection of aflatoxins, ochratoxins, and fusarium toxins in food systems. *Grain & Oil Science and Technology* [Internet]. 2025 Mar 28 [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590259825000184>
27. Romero-Sánchez I, Ramírez-García L, Gracia-Lor E, Madrid-Albarrán Y. Simultaneous determination of aflatoxins B1, B2, G1 and G2 in commercial rices using immunoaffinity column clean-up and HPLC-MS/MS. *Food Chem* [Internet]. 2022 Nov 30 [cited 2025 Jun 2];395:133611. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814622015734>
28. Karapinar HS, Eczacioglu N, Dogan F. Comprehensive and sensitive validation of the method and determination of measurement uncertainty for simultaneous specification of aflatoxin B1, B2, G1 and G2 in nuts. *Measurement: Food* [Internet]. 2024 Mar 1 [cited 2025 Jun 2];13:100124. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772275923000485>
29. Yagudayev E, Ray SD. Aflatoxin. *Encyclopedia of Toxicology, Fourth Edition: Volume 1-9* [Internet]. 2024 Jan 1 [cited 2025 Jun 2];1:193–200. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128243152001792>
30. Miklós G, Angeli C, Ambrus Á, Nagy A, Kardos V, Zentai A, et al. Detección de aflatoxinas en diferentes matrices y posiciones de la cadena alimentaria. *Fronteras en* [Internet]. 2020



Aug 14 [cited 2025 Jun 2];11. Available from:  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.01916/full>

31. Patel A. Aflatoxin removal and biotransformation aptitude of food grade bacteria from milk and milk products- at a glance. *Toxicon* [Internet]. 2024 Oct 1 [cited 2025 Jun 2];249:108084. Available from:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0041010124006561>

32. Byakika S, Mukisa IM. Microbial diversity, aflatoxin M1 contamination and potential lactic acid starters for commercially produced traditional fermented dairy beverages, a case of Bongo from Uganda. *Int Dairy J* [Internet]. 2024 Dec 1 [cited 2025 Jun 2];159:106069. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694624001894>

33. Hsu P, Pokharel A, Scott CK, Wu F. Aflatoxin M1 in milk and dairy products: The state of the evidence for child growth impairment. *Food and Chemical Toxicology* [Internet]. 2024 Nov 1 [cited 2025 Jun 2];193:115008. Available from:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S027869152400574X>

34. Abedini A, Sadighara P, Akbari-Adergani B, Eskandari S, Yousefi M. Determination of aflatoxin M1 levels in cheese in Iran's market. *Journal of Food Composition and Analysis* [Internet]. 2025 Apr 1 [cited 2025 Jun 2];140:107267. Available from:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S088915752500081X>

35. Almasoud Y, Alwelaie M, Aldosari Z, Alotaibi S, Alsayari A, Alzyadi G, et al. An assessment of the prevalence of Aflatoxin M1 level in milk and milk powder based on high performance liquid chromatography and dietary risk assessment. *Toxicol Rep* [Internet]. 2024 Dec 1 [cited 2025 Jun 2];13:101787. Available from:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214750024001707>

36. Lu Y, He F, Zhu X, Tang J, Lu Y, Wang J, et al. On-site tracking of trace Aflatoxin B1 in food waste composting via a portable colorimetric sensing platform with nanozymes. *J Hazard Mater* [Internet]. 2025 Aug 5 [cited 2025 Jun 2];493:138333. Available from:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389425012488>

37. Chilenga C, Mainje M, Watts AG, Munkhuwa V, Ndhlovue B, Machira K. Factors influencing willingness to pay for aflatoxin-safe foods among farmers, traders, and consumers in sub-Saharan Africa: A systematic review. *Applied Food Research* [Internet]. 2024 Dec 1 [cited 2025 Jun 2];4(2):100511. Available from:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502224001215>

38. Zhao W, Ma X, Yan H, Zhang L, Shi W, Zhou Y. *Aspergillus flavus* and aflatoxins control in long-term storage of food ingredients of Puerh tea, peanut and polished rice. *Food Chem* [Internet]. 2024 Dec 15 [cited 2025 Jun 2];461:140805. Available from:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814624024555>

39. Blasco J, Berrada H, Toxicología YRR de, 2024 undefined. PREVALENCIA Y EXPOSICIÓN DE LAS AFLATOXINAS EN CACAHUETES Y ANACARDOS. *search.ebscohost.com* [Internet]. [cited 2025 Jun 2]; Available from:  
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=02127113&asa=N&AN=182334701&h=iTOF%2FSSRSwFaEPcl%2BII0Vc5441dPh>

M1VeJMUPUe1GTc%2BM5MDTNNUx0EmF95OXoZbfQkonNziWVmmomLFFCrAdA%3D%3D&cr=c

40. Cristos D. Estudio de las aflatoxinas en alimento balanceado, de sus efectos adversos en una especie de pez autóctona de importancia para la acuicultura, el pacú (*Piaractus*. 2022 [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/143867>

41. Maldonado LE, Chulze S. rápido de ensayo inmunoenzimatico (ELISA) con el método de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), de referencia para la detección y cuantificación. 2020 [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/27603>

42. Kousar M ul, Yaseen M, Yousouf M, Malik MA, Mushtaq A, Mukhtar T, et al. Aflatoxins in cereal based products-an overview of occurrence, detection and health implication. *Toxicon* [Internet]. 2024 Nov 28 [cited 2025 Jun 2];251:108148. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0041010124007207>

43. Godswill Awuchi C, Otuosorochi Amagwula I, Priya P, Kumar R, Yezdani U, Gayoor Khan M. Aflatoxinas en alimentos y piensos: una revisión sobre las implicaciones para la salud, la detección y el control. . *Pharmacol Ciencias de la Vida* [Internet]. 2020 [cited 2025 Jun 2];9:149–55. Available from: [https://www.researchgate.net/profile/Chinaza-Awuchi/publication/346076078\\_Aflatoxins\\_In\\_Foods\\_And\\_Feeds\\_A\\_Review\\_On\\_Health\\_Implications\\_Detection\\_And\\_Control/links/5fd6fb3aa6fdccdc8c48c44/Aflatoxins-In-Foods-And-Feeds-A-Review-On-Health-Implications-Detection-And-Control.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Chinaza-Awuchi/publication/346076078_Aflatoxins_In_Foods_And_Feeds_A_Review_On_Health_Implications_Detection_And_Control/links/5fd6fb3aa6fdccdc8c48c44/Aflatoxins-In-Foods-And-Feeds-A-Review-On-Health-Implications-Detection-And-Control.pdf)

44. Miklós G, Angeli C, Ambrus Á, Nagy A, Kardos V, Zentai A, et al. Detección de aflatoxinas en diferentes matrices y posiciones de la cadena alimentaria. *Fronteras en* [Internet]. 2020 Aug 14 [cited 2025 Jun 2];11. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.01916/full>

45. Ríos AV, Franco H, Reyes S, De León J, Bonilla A. Aflatoxina b1 de *aspergillus* spp generado en arroz, su detección y cuantificación por métodos fluorométricos y hplc. *redalyc.org* [Internet]. [cited 2025 Jun 2]; Available from: <https://www.redalyc.org/journal/4263/426358213003/426358213003.pdf>



# ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PRINCIPALES CAUSAS DE MUERTE A NIVEL MUNDIAL DESDE 1990 A 2022 UTILIZANDO TÉCNICAS MULTIVARIANTES

## STATISTICAL ANALYSIS OF THE LEADING CAUSES OF DEATH WORLDWIDE FROM 1990 TO 2022 USING MULTIVARIATE TECHNIQUES

Dennys Daquilema<sup>1</sup>, Lidia Castro<sup>2</sup>

{dennys.daquilema@unach.edu.ec<sup>1</sup>, lidia.castro@unach.edu.ec<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 30/05/2025 / Fecha de aceptación: 12/06/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** El presente estudio analiza la evolución de las principales causas de muerte a escala mundial y nacional entre 1990 y 2021, y genera proyecciones para el año 2022 mediante técnicas estadísticas multivariantes aplicadas a datos del Global Burden of Disease (GBD). La investigación parte del reconocimiento de que los enfoques univariados tradicionales son limitados para captar la complejidad estructural de la mortalidad, por lo que se adoptó un enfoque mixto que integra análisis exploratorio, Análisis de Componentes Principales (ACP) y algoritmos de predicción como redes neuronales LSTM y Random Forest. La metodología incluyó la depuración y estandarización de los datos mediante tasas ajustadas por cada 100 000 habitantes y puntajes Z, lo que permitió comparaciones válidas entre países y años. El ACP redujo 32 causas de muerte a cinco dimensiones epidemiológicas latentes, que facilitaron la identificación de patrones regionales. Se evidenció que, en países de bajos ingresos, prevalecen enfermedades transmisibles, mientras que en los de altos ingresos, como Estados Unidos, predominan enfermedades crónicas y trastornos mentales. El modelo Random Forest mostró el mejor rendimiento ( $R^2 = 0.99$ ; MAE = 512), superando a LSTM, y permitió estimar que en 2022 las enfermedades cardiovasculares serían la principal causa global de defunción, con un 35,6 % del total. Las variables predictoras incluyeron el país, el año y la cantidad de muertes por cada enfermedad, mientras que la variable respuesta fue la tasa ajustada de mortalidad por causa. En conjunto, los resultados validan la utilidad de la estadística multivariante para el análisis de fenómenos complejos en salud pública y para la orientación de políticas basadas en evidencia.

**Palabras clave:** *Técnicas Multivariantes, Random Forest, ACP, tasa de mortalidad, predicción estadística, Redes Neuronales LSTM, causas de muerte, machine learning*

**ABSTRACT:** This study analyzes the evolution of the leading causes of death at both global and national levels from 1990 to 2021, and generates projections for 2022 using multivariate statistical techniques applied to data from the Global Burden of Disease (GBD). Recognizing the limitations of traditional univariate approaches to capture the structural complexity of mortality, the research adopts a mixed-methods strategy that integrates exploratory analysis, Principal Component Analysis (PCA), and predictive algorithms such as Long Short-Term Memory (LSTM) neural networks and Random Forest. The methodology included data

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0001-9830-0471>.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0002-0471-2879>.



cleaning and standardization through age-adjusted rates per 100,000 inhabitants and Z-scores, enabling valid comparisons across countries and time. PCA reduced 32 causes of death to five latent epidemiological dimensions, which facilitated the identification of regional patterns. Results showed that in low-income countries, transmissible diseases are more prevalent, whereas in high-income countries such as the United States, mortality is primarily driven by chronic diseases and mental disorders. The Random Forest model demonstrated superior performance ( $R^2 = 0.99$ ; MAE = 512), outperforming LSTM, and allowed for estimating that in 2022, cardiovascular diseases would account for 35.6% of global deaths. Predictor variables included country, year, and the number of deaths per cause, while the response variable was the adjusted mortality rate by cause. Overall, the findings support the use of multivariate statistics as a robust tool for analyzing complex public health phenomena and informing evidence-based policy-making.

**Keywords:** *Multivariate Techniques, Random Forest, PCA, mortal rate, Statistical Prediction, LSTM Neural Networks, Causes of Death*

## INTRODUCCIÓN

El estudio de las causas de muerte no se limita únicamente al ámbito médico, sino que trasciende hacia la construcción de métricas que cuantifican el funcionamiento de los sistemas de salud, mide la eficacia de las políticas públicas, y que se relaciona con el nivel de progreso económico y social de un país por medio de la esperanza de vida (1). En años actuales, esos enfoques han sido entendidos, llevando al estudio de las causas de muerte a ser uno de los aspectos más estudiados, hasta convertirse en insumos para la toma de decisiones en planeación sanitaria, evaluación de planes médicos preventivos y de proyecciones demográficas, como lo reconoce la Organización Mundial de la Salud (2).

A pesar de su importancia, gran parte de los estudios existentes se centran únicamente en estudios univariados, y a enfoques netamente descriptivos que, aunque son adecuados para generar visualizaciones, establecer rankings simples, o detectar aumentos o disminuciones en enfermedades específicas, presentan debilidades y limitaciones en estructurar relaciones complejas entre variables, modelos de comportamiento, y evoluciones temporales. Como solución de estas carencias, la estadística multivariante ofrece un conjunto de técnicas capaces de abordar simultáneamente múltiples dimensiones, extrayendo comportamientos y patrones ocultos, constituyéndose en la mejor manera de mantener y comprender la información que los datos poseen (3).

La aplicación de estas técnicas multivariantes requiere bases de datos robustas, como la proporcionada por la Global Burden of Disease (GBD), que es elaborada por un centro de investigaciones afiliado a la Universidad de Washington denominado Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). Esta base de datos se constituye en uno de los mayores esfuerzos que busca recopilar, estandarizar y almacenar la información de las causas de muerte a nivel mundial. El GBD integra los datos provenientes de los registros civiles, partidas médicas, y todo tipo de registros de defunción de más de 250 países y territorios. Para su levantamiento, la IHME cuenta con procedimientos rigurosos de corrección de registros, imputación de valores faltantes, ajuste por edad y género, así como el empleo de modelos bayesianos jerárquicos que buscan reducir el sesgo sistemático, constituyéndola en



una de las fuentes más fiables en el ámbito de datos de mortalidad (4).

En lo concerniente a trabajos relacionados, diversas metodologías se han utilizado para estudiar las causas de muerte, desde técnicas estadísticas tradicionales hasta enfoques avanzados basados en inteligencia artificial, por ejemplo, con el propósito de superar limitaciones asociadas a la codificación manual, en 2011 se desarrolló el software IRIS, el cual automatiza la codificación de causas de defunción con una precisión superior al 80% (5). Estudios más recientes han mejorado esta precisión utilizando redes neuronales (6) o convolucionales (7), alcanzando métricas de hasta el 98.44% de exactitud.

La data GBD ha sido base de múltiples investigaciones, por ejemplo, un análisis proyectivo sobre depresión y ansiedad estimó una reducción hacia 2044, con mayores tasas históricas en mujeres y adultos mayores (8). En otro caso, se evaluó la hipertensión arterial pulmonar, encontrando una reducción global y diferencias de mortalidad por sexo (9). El estudio realizado por Bishop en (10), parte de la iniciativa que busca refutar el enfoque tradicional que atribuye la mortalidad a una única causa, para lo cual emplearon clustering y técnicas any-mention. En cuanto a enfermedades específicas, se han empleado modelos ARIMA para estudiar esquistosomiasis, observando una tendencia decreciente y un error de predicción inferior al 4% (11). Otro trabajo analizó el vínculo entre el IMC y 282 causas de muerte, destacando un rol de enfermedades cardiovasculares y renales, así como el uso de regresión multivariable y tasas ajustadas por edad (12).

En el campo de la reducción dimensional, técnicas como ACP y la Transformada Discreta de Wavelet (DWT) han sido comparadas, obteniendo esta última una precisión del 99% y una velocidad de ejecución notable (13). Finalmente, el Índice de Calidad de Atención (QCI), construido mediante ACP, ha sido utilizado para evaluar servicios odontológicos (14), y muertes por cáncer ginecológico (15), revelando brechas según edad y nivel socioeconómico.

Estos antecedentes refuerzan la utilidad de combinar análisis multivariantes con modelos de predicción para abordar la complejidad inherente a la carga global de enfermedades, justificando la aplicación metodológica del presente estudio, y cuya naturaleza radica en la necesidad de comprender cómo se distribuyen y evolucionan las principales causas de muerte a escala mundial (16).

El alcance de este análisis abarca el período de 1990 a 2022, empleando datos del Global Burden of Disease (GBD) de 1990 a 2021 para más de 190 países, e integrando técnicas como el Análisis de Componentes Principales (ACP) y algoritmos de predicción como Random Forest y redes neuronales LSTM para hacer predicciones para el año 2022 (17).

El objetivo general del estudio es aplicar técnicas multivariantes para analizar las principales razones de muerte a nivel mundial y generar proyecciones para 2022. Como objetivos específicos, se plantea: i) depurar la base de datos mediante técnicas estadísticas ii) agrupar enfermedades mediante el uso de técnicas multivariantes iii) construir modelos predictivos, y iv) evidenciar las principales causas de muerte v) identificar el comportamiento de las variables a lo largo del tiempo, y determinar las 10 principales causas de muerte. Este enfoque busca proporcionar una base empírica robusta para el diseño de políticas de salud



pública sustentadas en evidencia analítica (18).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio es de tipo cuantitativo, observacional, y longitudinal, y utilizó la base de datos GBD proporcionada por el IHME, que levanta los datos de las principales causas de muerte a nivel mundial en un periodo correspondiente de 1990-2021. Los datos fueron obtenidos a partir del sitio web (19), y cuantifica la información de más de 250 países y territorios de las 32 principales causas de muerte, de la cual se excluyeron los datos de COVID-19 con el objetivo de reducir sesgos temporales. Dado que los datos reales no contemplan información del año 2022, se realizaron proyecciones estadísticas para este año.

Tras completar el proceso de depuración de la data mediante herramientas de Rstudio, se procedió a estandarizar las variables con la tasa por 100 000 habitantes que será empleada para ciertas visualizaciones exploratorias, mientras que para los análisis se normalizó mediante Z-score. El análisis exploratorio inicia con la realización de diagramas de cajas y bigotes (boxplot) de todos los países, en cada gráfico se representan las 32 causas de muerte y sus dispersiones, mientras que con los raincloud plots se mostró la distribución, densidad y variabilidad de cada enfermedad, para luego verificar su tipo de distribución mediante los QQ-plots y la prueba de Lilliefors. Mediante la herramienta geom\_spatvector se representó la distribución de población y la cantidad de muertes totales en 2021, que es el dato más actual de la base de datos. La matriz de correlaciones basada en los datos estandarizados cuantificó la asociación entre las causas de muerte, para finalmente pasar a la representación de las series de tiempo de cada enfermedad.

Para reducir la dimensión del conjunto de observaciones, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) basado en la matriz de correlaciones mediante la función PCA de R. El criterio de Kaiser determinó el número de dimensiones a ser consideradas, y en base a estas se agruparon las variables en cinco grupos que acumulan la mayor parte de la varianza total. Se empleó un gráfico de barras para representar la participación de las enfermedades en cada una de las dimensiones, y se creó una nueva base con las variables reducidas que será empleada en la siguiente etapa.

La base reducida generada en R, producto del ACP, es cargada en Colab para construir un predictor basado en redes neuronales del tipo Long Short-Term Memory. Para la construcción de la red neuronal, se inició con el ordenamiento de la base de datos por país y luego por año, seguido de la generación de las denominadas ventanas temporales, que fueron fijadas a 10 años, en donde cada país se toma de manera independiente, ordenado de forma cronológica. La función objetivo (target) de cada ventana es el año inmediatamente siguiente; por ejemplo, si se toma la ventana de 1990 a 1999, predice el 2000; se ajusta y repite el análisis de 1991 a 2000, y así sucesivamente hasta llegar a 2022, que es el año objetivo.

Con la conversión de la base a tipo arrays NumPy y la codificación de cada país con la técnica de one-hot encoding, se divide la base en un 80% para entrenamiento y un 20% para validación. La arquitectura de la red neuronal está formada por 100 etapas de entrenamiento con un tamaño de lote de 16 ejemplos por iteración, utilizando la función



fit() para ajustar los parámetros del modelo, que serán medidos mediante la métrica del Error Cuadrático Medio (MSE). Con el modelo de mayor rendimiento definido, se construyó una nueva base de datos con las predicciones generadas por la red neuronal y se realizó un ACP inverso en R utilizando las matrices del ACP original, para finalmente aplicarle una desestandarización.

Para el segundo predictor, a las variables name y continente se les aplicó un label encoding, y se procedió a dividir la base en la misma proporción que la anterior para su validación. El modelo de Random Forest, empleó el algoritmo ranger que lo entrena con una arquitectura de 1000 árboles, un número de variables de 4 (mtry), que determina que cada vez que el modelo debe hacer una división en un árbol selecciona 4 variables de forma aleatoria, y un tamaño mínimo de nodo de 1. Estos hiperparámetros fueron generados a partir de un código de búsqueda con la librería caret::train(). Establecido el modelo, se calcularon las métricas de Error Cuadrático Medio (MSE), Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), Error Absoluto Medio (MAE) y Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ). Finalmente, se empleó este modelo para crear una base de datos con las predicciones de cada una de las 32 enfermedades para los 199 países, dichas observaciones fueron las empleadas para realizar visualizaciones como series de tiempo e identificar las tendencias y las causas más influyentes en la mortalidad.

## RESULTADOS

El proceso de depuración de la base de datos consistió en una serie de procedimientos que inició con la verificación y descarte de registros duplicados mediante la función get\_dupes(), en lo que respecta a las variables categóricas, se retiraron símbolos que dificultan el procesamiento de datos, tales como la tilde y la virgulilla de la letra ñ, también se estableció que tanto países y continentes inicien con la primera letra mayúscula, a esta etapa se la conoce como coerción de datos categóricos. La base original no incorporaba información de la población ni del continente, por lo que, al incluirse mediante la unión con otras bases de datos, de una población de 6528 datos se generaron 152 faltantes que representan el 2.3% de los datos totales, que fueron eliminados para tener una base completamente limpia.



Figura 1. Diagramas de caja de tasas de mortalidad por 100.000 habitantes para las principales causas de muerte en tres países representativos, 1990–2021.



La visualización de datos partió con diagramas boxplot para todos los países con todas sus razones de muerte, de las cuales se han seleccionado a tres países con diferentes niveles de desarrollo: Níger que representa a los países de extrema pobreza, Ecuador como país en vías de desarrollo y Estados Unidos como país desarrollado. La elección responde a una estrategia comparativa basada en la diferencia de ingresos que permite contrastar los perfiles de mortalidad asociados a condiciones sociales, acceso a sistemas de salud, e infraestructura sanitaria.

La Figura 1 muestra los diagramas de cajas y bigotes por cada 100.000 habitantes de las principales causas de muerte en el período 1990–2021 para cada uno de los tres países seleccionados. La posición vertical ubica a las enfermedades de acuerdo con su impacto promedio, es decir, en la parte superior se encuentran aquellas con mayor peso relativo respecto al total de defunciones.

En Níger, se observa una supremacía de las enfermedades diarreicas, con un alto rango intercuartílico que evidencia una considerable variabilidad en los datos. Esto sugiere que pudo haber existido la presencia de brotes epidémicos, colapsos sanitarios, o la ausencia de campañas preventivas sostenidas, lo que genera repuntes frecuentes de esta enfermedad. Las otras tres causas de muerte que presentan una mediana cercana a las 300 muertes por cada 100 000 habitantes son el paludismo, las infecciones respiratorias y los trastornos neonatales.

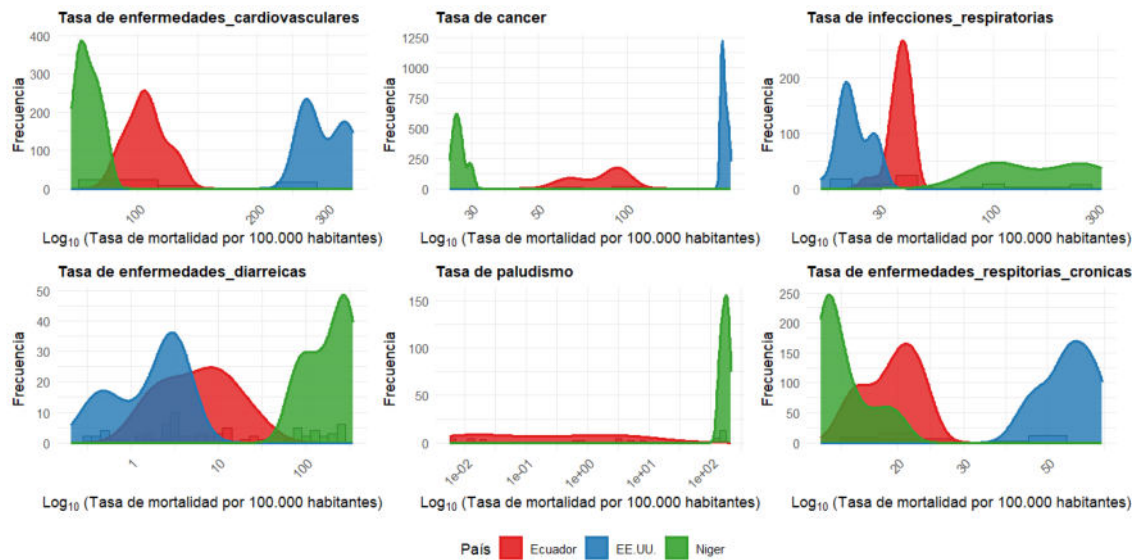
En Ecuador, a primera vista, se diferencia medianas más bajas que en el país anterior, donde las enfermedades cardiovasculares constituyen la principal causa de muerte, con una baja variabilidad. El cáncer y las infecciones respiratorias completan la lista de las tres principales causas. La elevada cantidad de muertes ocasionadas por accidentes de tránsito (25 por cada 100 000 habitantes) evidencia deficiencias en la educación vial o carencias en la infraestructura del sistema vial. En general, la dispersión de las tasas es moderada, lo que refleja un sistema sanitario parcialmente consolidado.

Para Estados Unidos, la mortalidad se concentra en dos enfermedades: afecciones cardiovasculares y cáncer, con medianas superiores a las 200 muertes por cada 100 000 habitantes. En general, los rangos intercuartílicos de todas las enfermedades son bajos, lo que refleja un excelente desempeño de los sistemas de salud. A diferencia de los dos países anteriores, se observa una mayor presencia de enfermedades relacionadas con trastornos neurológicos y mentales.

Para avanzar con el análisis comparativo de los perfiles de mortalidad, se construyeron histogramas transformados a escala logarítmica para las seis enfermedades más representativas de los tres países. La selección se realizó tomando las tres causas con mayor mediana en cada país; al existir enfermedades coincidentes, se obtuvieron seis patologías en total: enfermedades cardiovasculares, cáncer, infecciones respiratorias, enfermedades diarreicas, paludismo y enfermedades respiratorias crónicas. En la Figura 2 se muestran las distribuciones de tasas de mortalidad ( $\log_{10}$  de muertes por cada 100 000 habitantes) para



estos tres países en el periodo 1990-2021, además, se incluye la correspondiente curva de densidad ajustada.



**Figura 2. Histogramas comparativos con curvas de densidad de tasas de mortalidad ( $\log_{10}$  por 100.000 habitantes) para seis causas seleccionadas, en Ecuador, EE.UU. y Níger (1990-2021).**

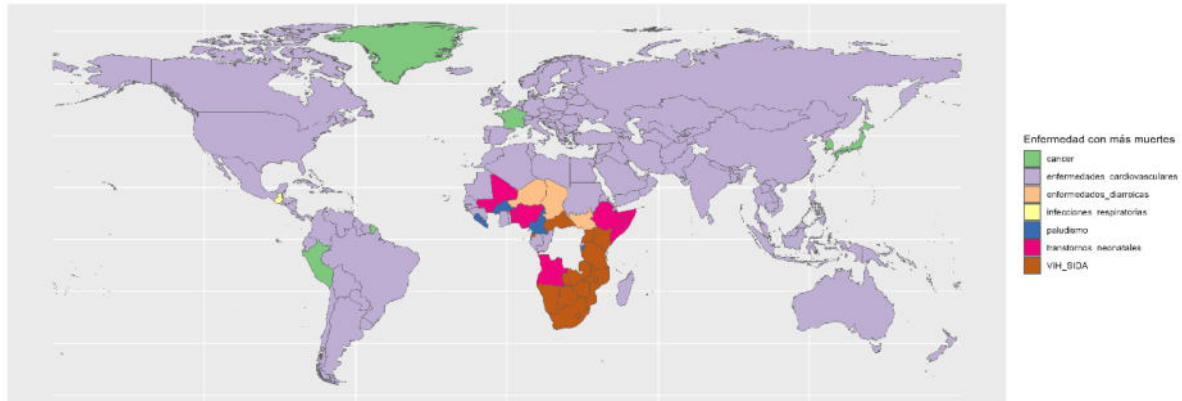
Las enfermedades cardiovasculares presentan distribuciones diferenciadas, para EE.UU. se muestra una distribución bimodal que representaría la existencia de dos periodos con altos brotes, sus picos se encuentran en torno a tasas de valores elevados (250-300), lo que podría indicar la coexistencia de dos períodos distintos o de dos subpoblaciones diferenciadas dentro del país. Ecuador y Níger presentan distribuciones con menor dispersión con valores mucho menores que los presentados por Estados Unidos.

En el caso del cáncer y de las enfermedades respiratorias crónicas se mantienen la tendencia, en el cual, Estados Unidos presenta la mayor cantidad de muertes, seguida de Ecuador y de Níger, pero es importante diferenciar que, en el caso del cáncer, a pesar de que es la segunda causa de muerte para Estados Unidos y Ecuador, sus frecuencias son completamente distintas, a tal punto que, la de Estados Unidos prácticamente quintuplica a la de Ecuador. En cuanto a las infecciones respiratorias, Níger y Ecuador se distribuyen en valores moderados a altos, con una notable presencia de Níger en el extremo superior.

EE.UU., en cambio, presenta una posible bimodalidad, con acumulaciones en dos rangos distintos, lo que podría reflejar cambios en las estrategias de control o en la evolución del comportamiento respiratorio a lo largo del período. Las enfermedades diarreicas exhiben una marcada diferencia: Níger se ubica claramente en tasas elevadas, mientras que Ecuador y EE.UU. se concentran en valores significativamente menores, con leves diferencias entre ellos. Esto muestra una posible vulnerabilidad en el acceso a agua potable y saneamiento en dicho país. En el caso del paludismo, la curva de Níger domina completamente el extremo superior, mientras que Ecuador y EE.UU. se agrupan en el rango más bajo posible. Este contraste evidencia la naturaleza endémica del paludismo en regiones africanas y su correcto control en otras ubicaciones geográficas.



Para tener una visualización más global de las tasas anuales y distribuciones por país, se estimó la carga acumulada de mortalidad por cada una de las 32 causas de muerte, para cual, se sumó el total de fallecimientos por país durante el período 1990-2021. La Figura 3 se presenta un mapa categórico en el que se identifica la causa con mayor número de muertes para cada país.



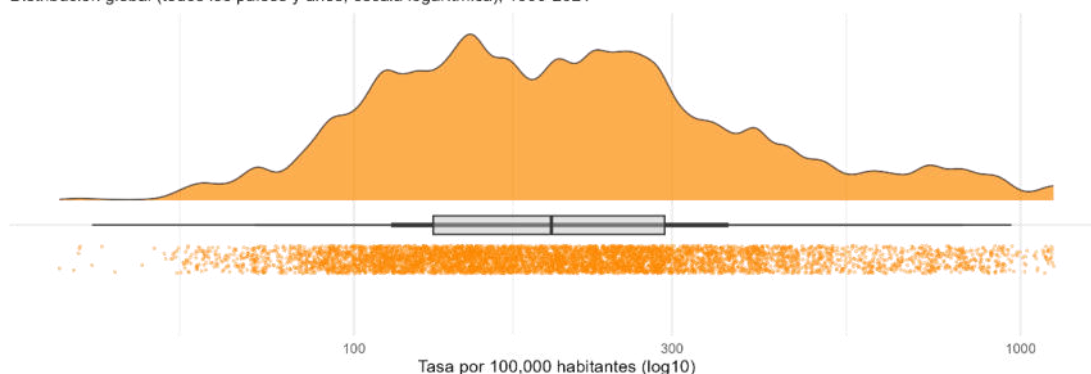
**Figura 3. Causa de muerte con mayor número acumulado de fallecimientos por país (1990-2021).**

Los resultados revelan patrones geográficos coherentes con las condiciones epidemiológicas globales: en países con buenos sistemas sanitarios como Estados Unidos, Europa, la mayoría de Asia y América del Sur, las enfermedades cardiovasculares se establecen como la principal causa de muerte, mientras que, en gran parte de África hay un predominio de causas ligadas a enfermedades infecciosas como el paludismo, enfermedades diarreicas, VIH/SIDA y los trastornos neonatales. Con base a estos resultados, se seleccionaron las tres enfermedades con mayor participación que son: enfermedades cardiovasculares, VIH/SIDA y paludismo.

La construcción de los denominados gráficos raincloud (Figura 4) complementan el análisis espacial de las tres mayores causas de muerte acumulada, estos gráficos combinan una estimación suavizada de la densidad (curva superior), un diagrama de cajas (centro) y una dispersión puntual (inferior), representando simultáneamente forma, tendencia y variabilidad de las tasas de mortalidad transformada a escala logarítmica ( $\log_{10}$ ).

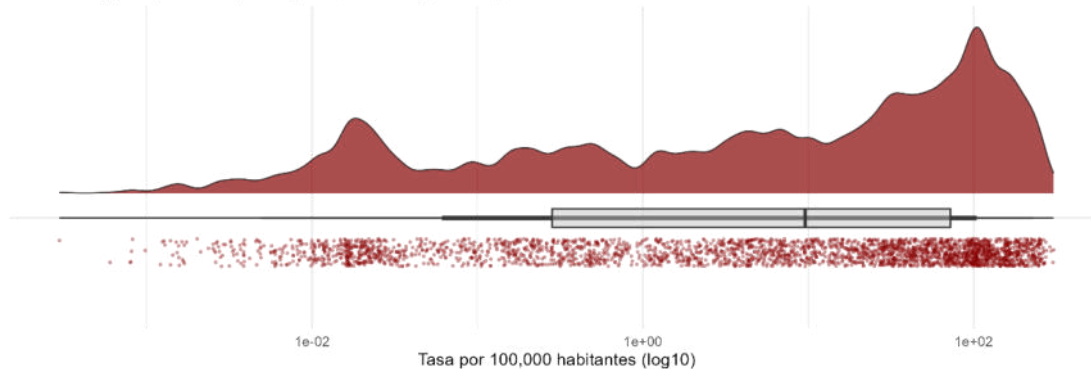
#### Raincloud plot - Mortalidad por Enfermedades cardiovasculares

Distribución global (todos los países y años, escala logarítmica), 1990-2021



**Raincloud plot - Mortalidad por Paludismo**

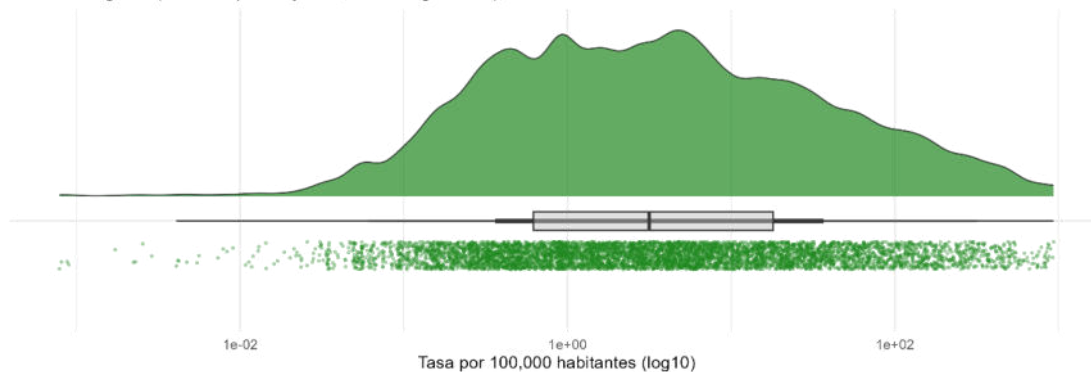
Distribución global (todos los países y años, escala logarítmica), 1990-2021



Fuente: Elaboración propia con base en GBD (2021)

**Raincloud plot - Mortalidad por VIH/SIDA**

Distribución global (todos los países y años, escala logarítmica), 1990-2021



Fuente: Elaboración propia con base en GBD (2021)

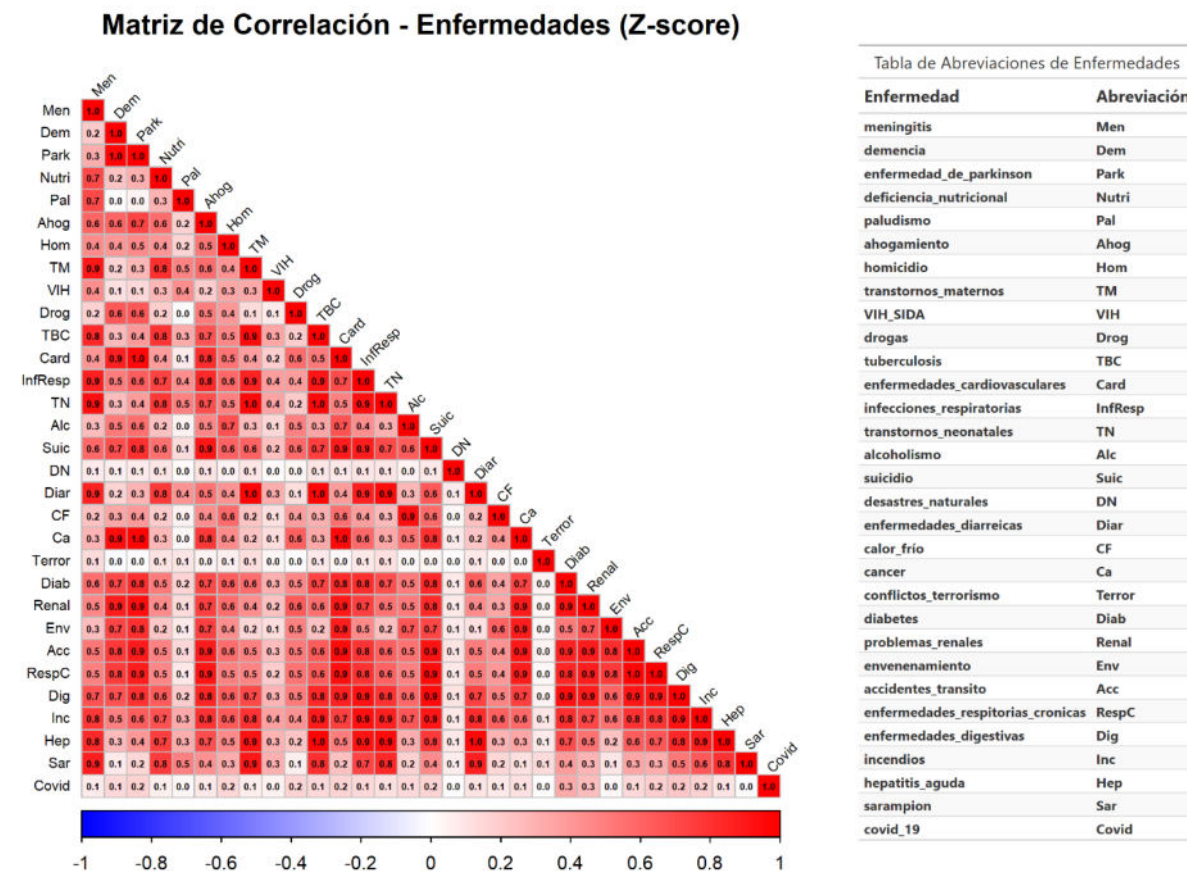
**Figura 4. Gráficos raincloud de tasas de mortalidad por cada 100.000 habitantes (escala  $\log_{10}$ ) para (a) enfermedades cardiovasculares, (b) VIH/SIDA y (c) paludismo, en todos los países y años (1990–2021).**

La Figura 4a, corresponde al comportamiento de las enfermedades cardiovasculares, que muestra una distribución relativamente simétrica y unimodal, con valores concentrados en el intervalo  $\log_{10}(100)$  a  $\log_{10}(300)$  muertes por cada 100 000 habitantes, esta simetría sugiere que la mayoría de los países poseen tasas de mortalidad altas que oscilan cerca del promedio global. Su mediana se ubica ligeramente por encima de 200 con pocos valores atípicos. La Figura 4b, representa al VIH/SIDA que cuenta con una asimetría con sesgo positivo, con una mediana en  $1e+01$  (10) acompañada de una mayor presencia de valores atípicos, esta configuración sugiere que solo un subconjunto de países (principalmente africanos) concentran su mortalidad en esta enfermedad.

El paludismo representado en la Figura 4c, muestra una estructura más extrema y multimodal con una mediana muy baja, lo que indica que la mayoría de los países tienen mortalidad casi nula por esta causa, pero pocos registran tasas sumamente altas. Estos tres gráficos ilustran una diversidad estructural en la distribución de la mortalidad da nivel global, mientras las enfermedades cardiovasculares presentan una distribución homogénea y simétrica, el VIH/SIDA y el paludismo muestran distribuciones sesgadas mostrando una inequidad en la carga epidemiológica.

Como fase previa a aplicar las técnicas multivariantes, se procedió a analizar la estructura interna del conjunto de datos mediante la matriz de correlación de Pearson. Esta se construyó sobre los valores estandarizados ( $Z_{score}$ ) de las 32 causas de muertes en todos

los países y años disponibles. La Figura 5 muestra dicha matriz con los coeficientes codificados por intensidad de color, junto a sus valores numéricos correspondientes.



**Figura 5. Matriz de correlación de Pearson entre las principales causas de muerte (Z-score), calculada sobre todos los países y años del período 1990–2021.**

Se observan agrupaciones evidentes entre enfermedades no transmisibles, por ejemplo, las enfermedades cardiovasculares presentan correlaciones elevadas con la diabetes (0.8), con enfermedades renales (0.9), y con enfermedades digestivas (0.9). Asimismo, se identifican correlaciones relevantes entre las enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares, y relaciones muy bajas con enfermedades como el VIH/SIDA (0.2), paludismos (0.1) y enfermedades diarreicas (0.1).

La presencia de correlaciones altas y consistentes entre múltiples causas de muerte evidencia una redundancia estadística que requiere la aplicación de una técnica que permitirá reducir la dimensionalidad del conjunto de datos. El análisis de componentes principales (ACP) es ideal para hacerlo, ya que, a más de reducir, identifica comportamientos epidemiológicos sin pérdida significativa de información.

Previo a la aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP), se hace necesario la comprobación del cumplimiento de sus supuestos, para lo cual se inicia con la realización de una prueba de bondad de ajuste mediante los gráficos Q–Q a los valores estandarizados por Z-score. La Figura 6 muestra los gráficos correspondientes a las 31 causas de muerte analizadas (excluyendo COVID-19), comparando los cuantiles teóricos de una distribución

normal con los cuantiles muestrales para cada variable.

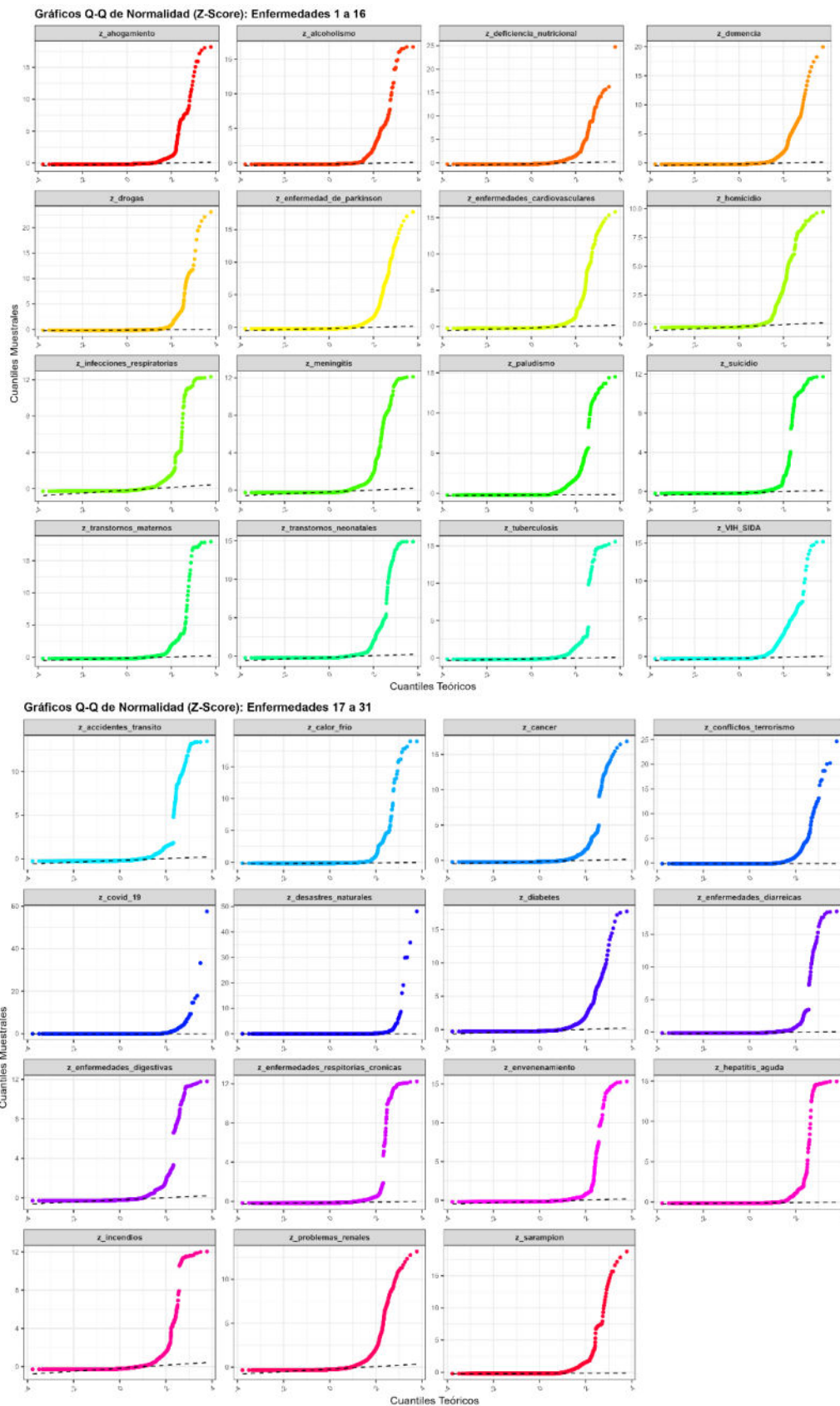


Figura 6. Gráficos Q-Q para la evaluación de la normalidad marginal de cada variable estandarizada (Z-score).



En general, se observa que los cuantiles centrales se alinean razonablemente con la diagonal teórica en la mayoría de las enfermedades, lo que sugiere una aproximación aceptable a la normalidad. No obstante, también se evidencian colas que se alejan en varias distribuciones (especialmente en enfermedades como VIH/SIDA, sarampión, o desastres naturales) lo que indica cierta asimetría o presencia de valores extremos. A pesar de estas desviaciones, el ACP clásico es reconocido como una técnica robusta ante variaciones moderadas del supuesto de normalidad multivariada, por lo que, se pueda dar como válido este supuesto.

Al trabajar sobre los datos estandarizados ya se garantiza que la media de las variables sea cero (segundo supuesto) y una dispersión simétrica en torno a este valor, asegurando, además, que ninguna variable domine la varianza total por su escala o magnitud, y permita comparar el peso relativo de cada componente de forma equitativa.

El tercer supuesto estadístico para la aplicación del ACP es la verificación de varianzas iguales, para lo cual se realizó la prueba de Brown-Forsythe, cuyo objetivo es contrastar la homogeneidad de varianzas entre grupos, esta prueba es una alternativa robusta a la prueba de Levene, especialmente cuando las distribuciones presentan asimetrías ya que trabaja con la mediana (20). La hipótesis nula ( $H_0$ ) de esta prueba plantea que las varianzas son iguales entre grupos para cada variable evaluada, en el presente estudio, todas las casas de muerte presentaron valores p menores a 0.05, lo cual lleva al rechazo de la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas en la dispersión de las variables, esto refuerza la decisión metodológica de utilizar la matriz de correlaciones estandarizada como base del ACP, ya que, la matriz de covarianzas es inapropiada ante la presencia de varianzas heterogéneas.

Finalmente, se evaluó si la muestra es representativa y apropiada (adecuación muestral) mediante el índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), el cual mide la proporción de varianza común entre las variables, en términos generales el índice fue alto (mayor a 0.8 en promedio) lo que implica que el conjunto de datos es altamente apropiado para análisis estadísticos posteriores. La Figura 7 muestra los valores individuales del KMO por variable, destacando que las variables como deficiencia nutricional, enfermedades digestivas o respiratorias crónicas superan el 0.90, sin embargo, el paludismo registró el valor más bajo (0.62) que podría deberse a una distribución geográfica muy focalizada de esta enfermedad, pero que a pesar de ser la de menor valor, se encuentra dentro de rangos aceptables.

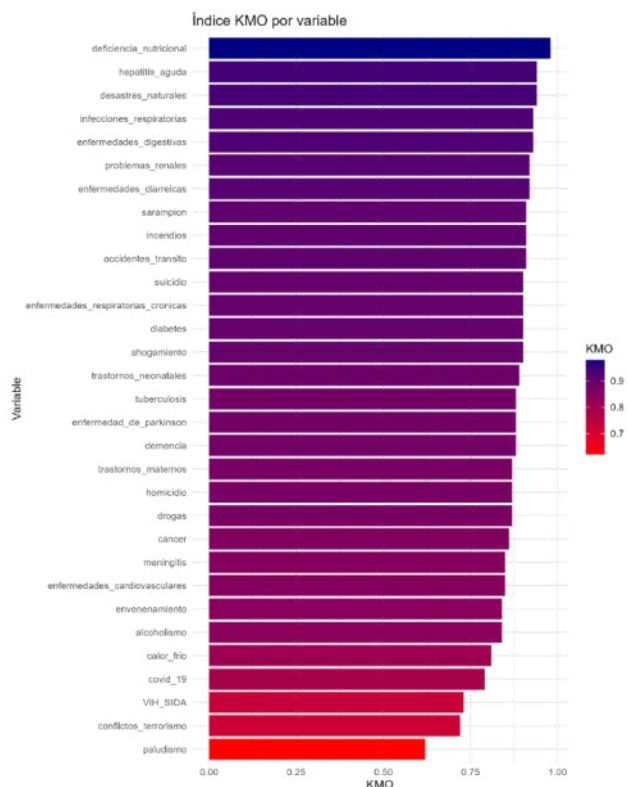


Figura 7. Índice KMO por variable.

Luego de la comprobación de los supuestos, se aplicó un Análisis de Componentes Principales sobre las variables estandarizadas (Z\_score), la Figura 8, se muestra la varianza explicada en cada una de las dimensiones resultantes.

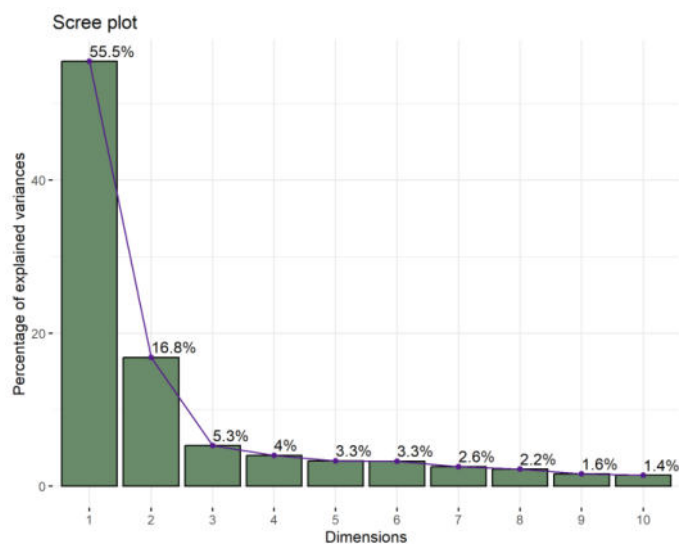


Figura 8. Scree plot del Análisis de Componentes principales (ACP): porcentaje de varianza explicada por dimensión.

Para la selección del número de componentes principales se sustentó en el criterio de Kaiser que se basa en conservar las componentes con valores propios mayores a 1, basado en el análisis gráfico de la Figura 9, se decide mantener 5 componentes principales que explican aproximadamente el 84.9% de la varianza acumulada.



### Criterio de Kaiser - Selección de Componentes Principales

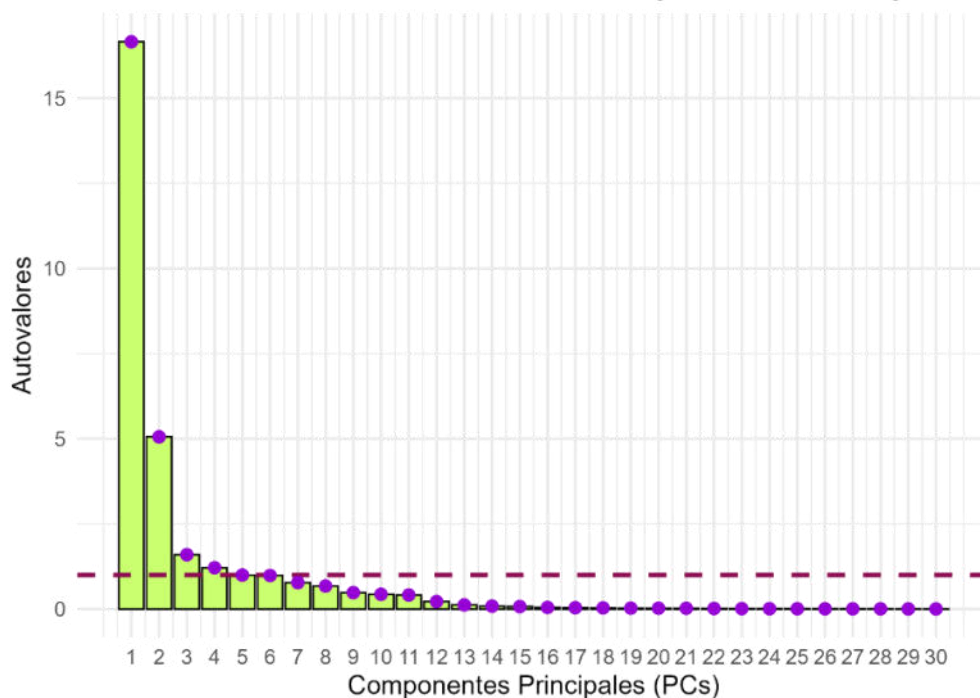


Figura 9. Selección de componentes principales según el criterio de Kaiser.

En la Figura 10 se presenta el círculo de correlaciones correspondiente al ACP, el cual representa la relación entre las variables estandarizadas (enfermedades) y los dos primeros componentes retenidos.

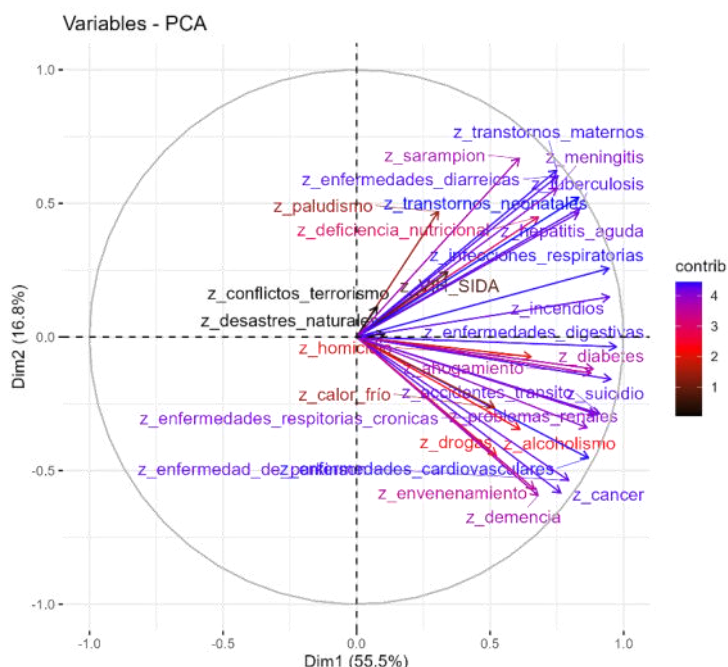
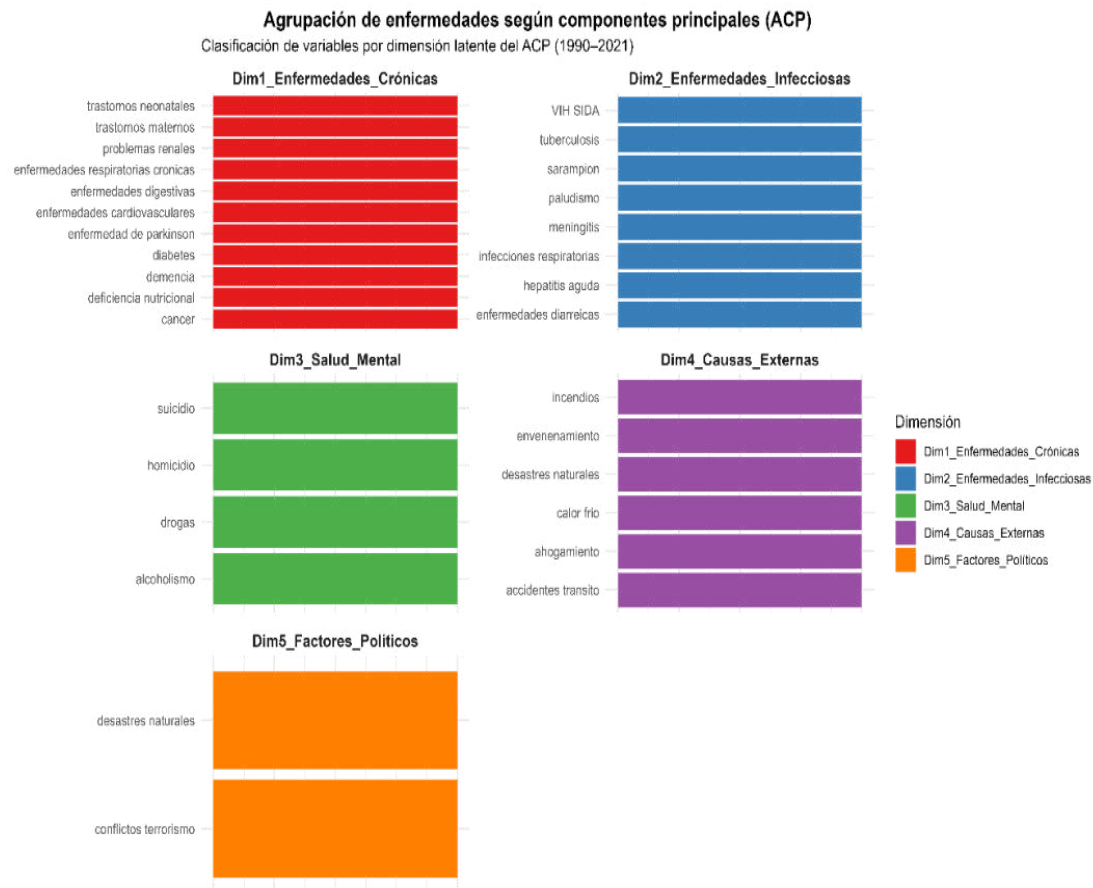


Figura 10. Círculo de correlaciones del ACP: contribución de las enfermedades en las dos primeras dimensiones (72.3% de varianza explicada).

El eje horizontal (Dim1) explica el 55.5% de la varianza total, mientras que el eje vertical (Dim2) un 16.8%, en donde cada flecha representa una enfermedad en específico, la





**Figura 12. Agrupación de enfermedades por dimensión latente según el Análisis de Componentes Principales (1990–2021).**

La agrupación final para la reducción de dimensiones queda establecida por la Figura 12, donde la primera dimensión acapara la mayor cantidad de enfermedades, y, además, contiene a las dos principales causas de muerte que dejó al descubierto el estudio exploratorio.

Una vez definida la base de datos reducida, se procedió al diseño de un modelo de predicción basada en redes neuronales del tipo Long Short-Term Memory (LSTM), en la cual se estableció una secuencia de ventanas temporales cada 10 años para cada país, con lo cual cada ventana predice el siguiente año. El modelo fue implementado en TensorFlow/Keras y entrenado con una arquitectura de tres capas LSTM con 200, 100 y 50 neuronas cada una, además, cada capa consta con un dropout para evitar el sobreajuste con una función de activación tipo ReLU. La capa de salida está provista de cinco neuronas, una por cada dimensión de la base de datos (Figura 13).

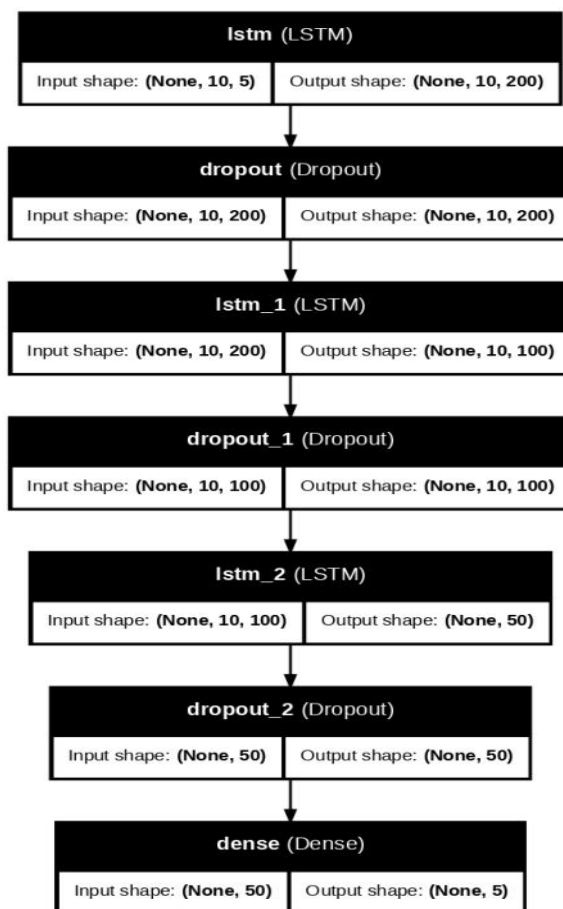


Figura 13. Arquitectura de red neuronal LSTM.

Definida la arquitectura, se dividió a la base en dos partes, el 80% para entrenamiento y 20% para validación, el modelo fue compilado con optimizador Adam y la función de pérdida fue la del error cuadrático medio (MSE). Finalmente, el entrenamiento constó de 100 épocas con lotes de 16 observaciones.

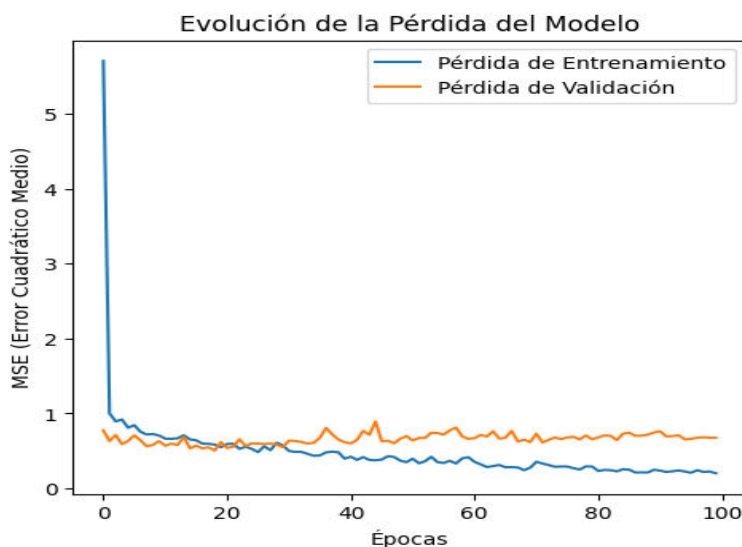


Figura 14. Evolución de la pérdida del modelo durante el entrenamiento.



La Figura 14 muestra la evolución de la función de pérdida del modelo neuronal durante el proceso de entrenamiento, utilizando el error cuadrático medio (MSE) como métrica de desempeño. Durante las 10 primeras épocas de entrenamiento se observa una rápida disminución, seguida de una fase de estabilidad con pequeñas oscilaciones, y dado que, la diferencia entre ambas curvas es relativamente igual a partir de las 60 épocas de entrenamiento se concluye que el modelo no presenta sobreajustes severos.

Para medir el desempeño del modelo neuronal, se compara las respuestas del sistema frente a los datos de evaluación, con lo cual, alcanzó un MSE final de 0.6740, un error absoluto medio (MAE) de 0.2108 y un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.5246, basado en estas métricas se concluye que el modelo presenta un desempeño predictivo moderado, con capacidad para explicar aproximadamente el 52% de la variabilidad para el año 2022.

Aunque el valor de  $R^2$  no sugiere una predicción perfecta, resulta estadísticamente aceptable considerando la alta complejidad, variabilidad y multicausalidad de los patrones de mortalidad global. El bajo MAE refleja una buena precisión promedio en términos absolutos, lo cual es favorable dado el carácter multivariado del modelo.

Una vez obtenidas las predicciones de las cinco dimensiones principales mediante la red neuronal LSTM, se reconstruyó las tasas individuales de mortalidad a través de un ACP inverso, es decir, se pasó de las cinco dimensiones predichas a las 31 causas de muertes originales que corresponden al año 2022, para finalmente aplicar una desestandarización y obtener observaciones en escalas reales. Aunque las métricas de desempeño en el conjunto de prueba resultaron aceptables (MAE = 0.21;  $R^2$  = 0.52), la aplicación directa de este procedimiento generó algunos valores negativos en enfermedades específicas, lo cual carece de sentido.

Este comportamiento puede explicarse por la naturaleza lineal del ACP y lejos de invalidar el proceso, este resultado ilustra las limitaciones inherentes a técnicas lineales cuando se enfrentan a relaciones complejas y distribuciones asimétricas, por tal razón, se optó por no representar ni analizar estos valores reconstruidos.

Como alternativa a la red neuronal y para evitar los inconvenientes anteriores, se implementó un modelo de Random Forest directamente sobre la estructura original de datos, sin necesidad de reducir previamente la dimensionalidad. Esta aproximación permite modelar relaciones no lineales y manejar la real interacción entre variables.

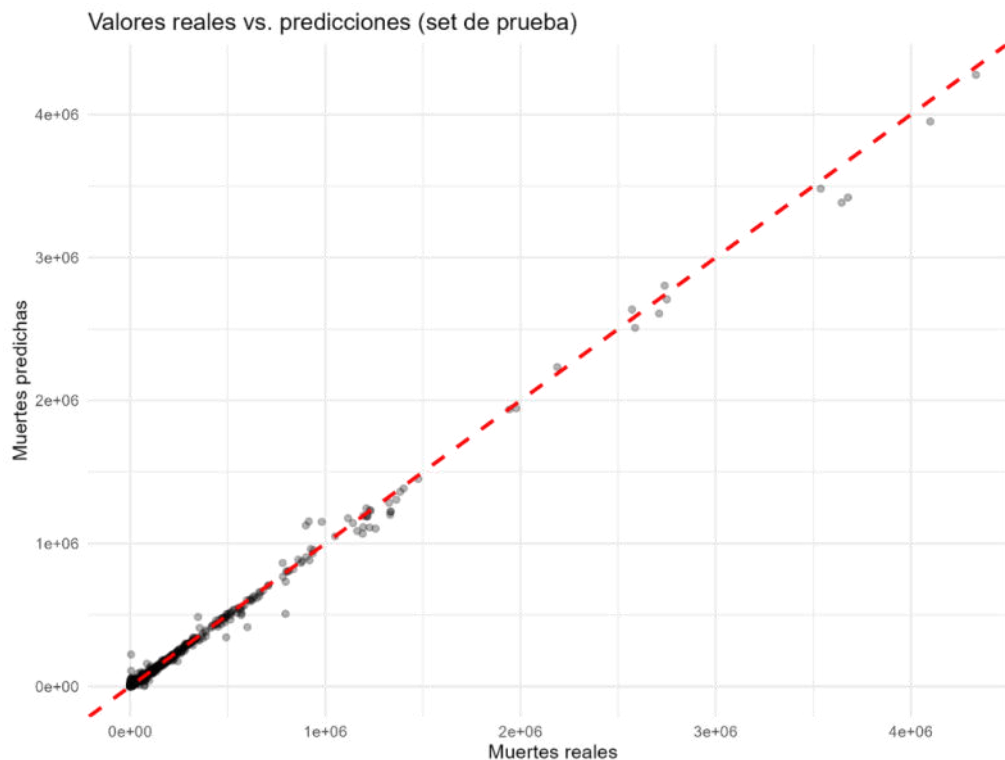
A la base original que contiene la información de las 32 causas de muerte se le aplicó un cambio a formato largo, con lo cual, cada fila representa una combinación única de país, año, causa de muerte, población y continente, además, es importante recordar que se elimina al COVID-19 para evitar sesgos por comportamientos atípicos que puedan afectar el desempeño del modelo predictor. Finalmente, para definir a todas las variables predictoras, se procedió a codificar por etiquetas (label encoding) a cada uno de los países.

Tras definir los hiperparámetros óptimos con validación cruzada —específicamente  $mtry = 4$  y  $min.node.size = 1$ — se entrenó el modelo definitivo con 1 000 árboles utilizando el algoritmo ranger, conocido por su eficiencia y escalabilidad. La partición de los datos se



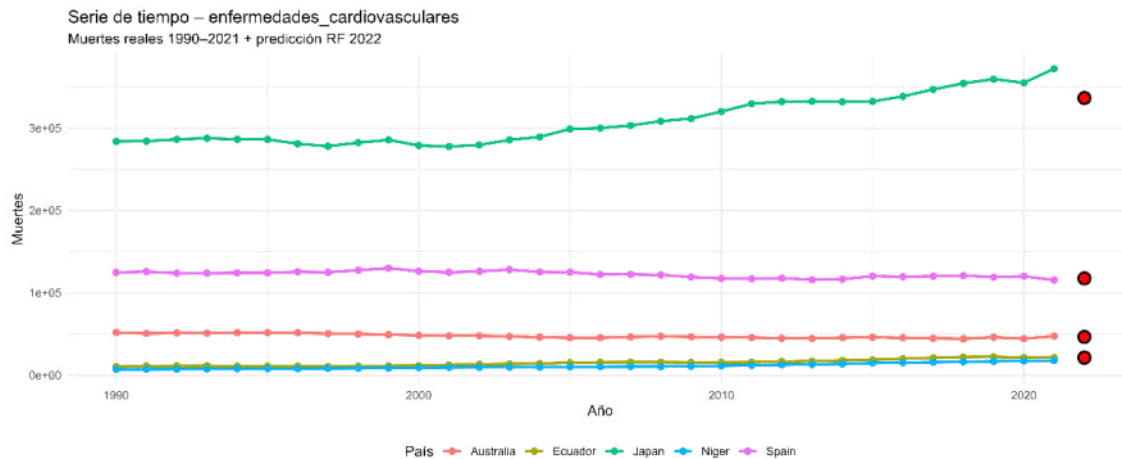
realizó asignando un 80% para entrenamiento y un 20% para prueba.

A diferencia de otras técnicas multivariantes que presentan problemas ante colinealidad y multicolinealidad entre variables, el algoritmo Random Forest es altamente robusto, ya que selecciona subconjuntos aleatorios de variables en cada división. Esto permite aprovechar la información redundante sin degradar el rendimiento predictivo, lo que resulta especialmente útil en contextos multicausales como el estudio de la mortalidad global, donde las variables sanitarias, demográficas y geográficas suelen estar fuertemente interrelacionadas.



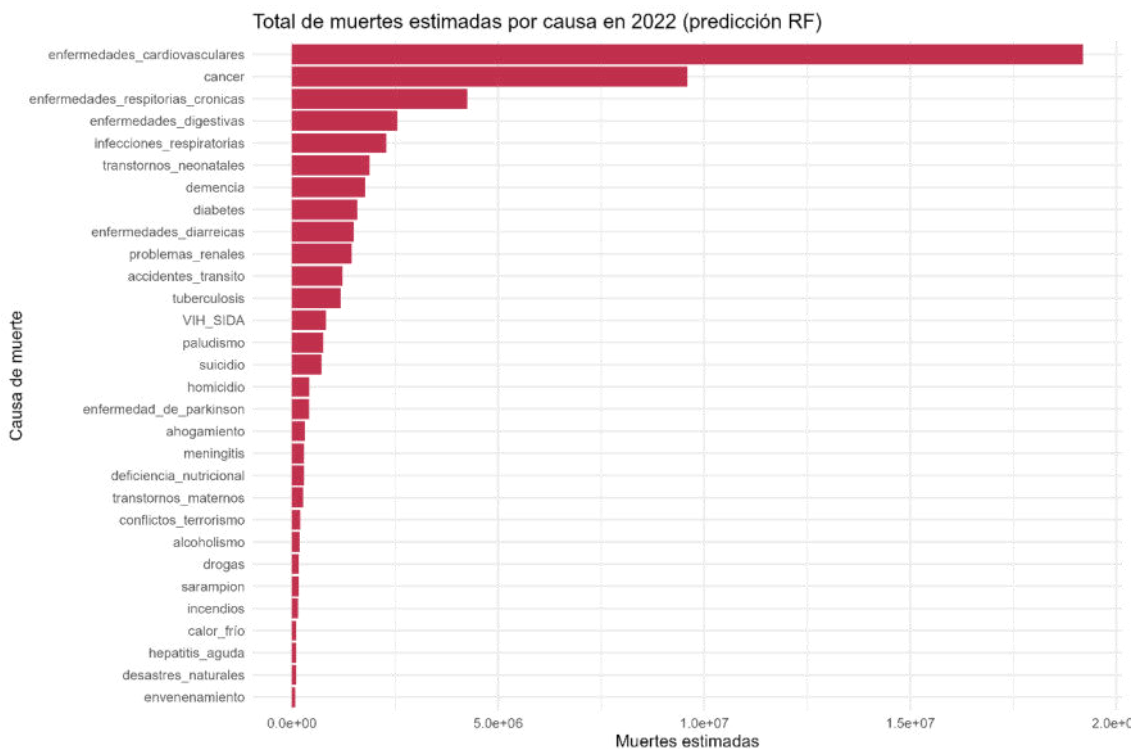
**Figura 15. Comparación entre valores reales y predicciones del modelo Random Forest en el conjunto de prueba.**

El rendimiento del modelo de Random Forest se visualiza en la Figura 15, y muestra un correcto desempeño reflejado por su coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9958$  que indica que el modelo cuenta con una capacidad explicativa del 99.58% de la varianza total, por parte del error cuadrático medio (MSE) se obtuvo un valor de 22 327.536 y el error absoluto medio (MAE) alcanzó los 512.30 que representa la desviación media absoluta entre las predicciones y los valores reales, y a diferencia el MSE su penalización es menos severa a errores grandes, por lo que es una métrica más robusta.



**Figura 16. Serie temporal de muertes por enfermedades cardiovasculares (1990–2021) y predicción para 2022 mediante Random Forest en cinco países representativos.**

Terminado el entrenamiento y la validación del modelo de Random Forest, se procedió a emplear el modelo para predecir las muertes en el año 2022. Estas predicciones permiten extender el análisis temporal más allá de los datos históricos observados (1990–2021), y son particularmente útiles para monitorear tendencias recientes o emergentes. A modo de ejemplo, la Figura 16 muestra la serie temporal de muertes por enfermedades cardiovasculares en cinco países, uno por continente (Australia, Ecuador, Japón, Níger y España), incorporando la predicción correspondiente a 2022 representadas por los puntos rojos.



**Figura 17. Total global de muertes estimadas por causa – Predicción 2022 (RF).**



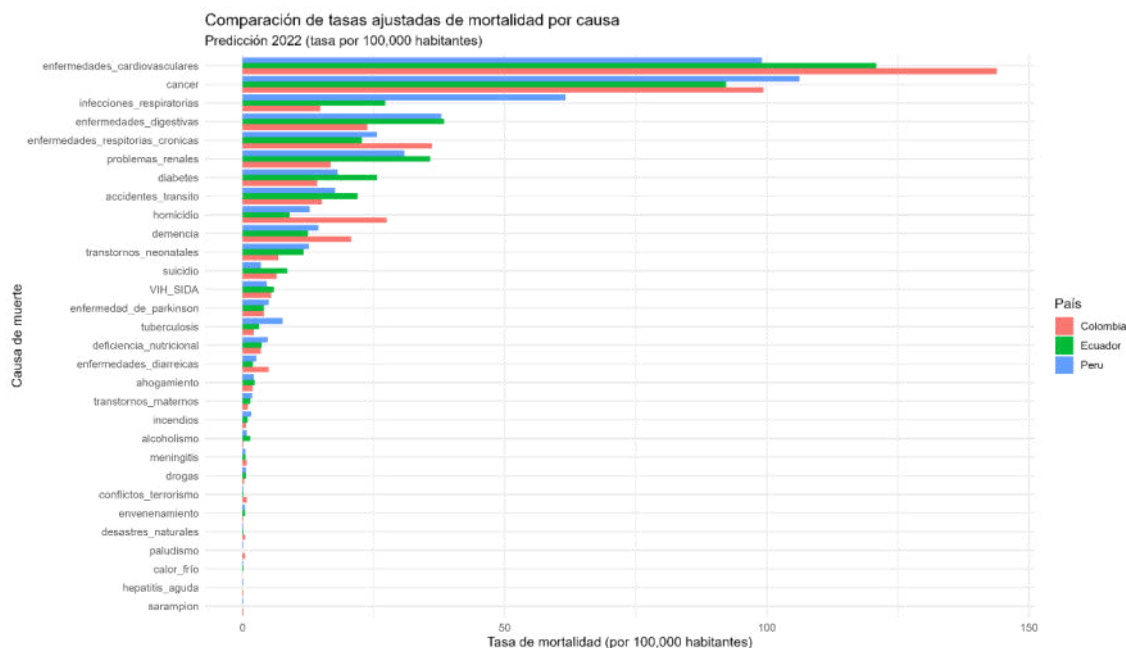
La cantidad de muertes estimadas para el año 2022, según el modelo Random Forest, se representa en la Figura 17. En ella se confirma que las enfermedades cardiovasculares encabezan la lista a nivel mundial, seguidas, a considerable distancia, por el cáncer y las enfermedades respiratorias crónicas. La única enfermedad asociada a la salud mental que aparece en los primeros puestos es la demencia, ubicado en la séptima posición. El listado de las diez principales causas de muerte se cierra con los problemas renales, seguidos muy de cerca por una causa externa: los accidentes de tránsito.

La Figura 18 presenta la evolución histórica de las muertes por homicidio en los cinco países con mayor carga acumulada entre 1990 a 2021, juntamente con sus predicciones para 2022 generadas por el modelo de bosque aleatorio, donde Colombia y Sudáfrica muestran tendencias decrecientes marcadas, mientras que Venezuela ha tenido un aumento considerable hasta alcanzar su pico máximo entre los años 2015 y 2016 que coincide con una de las mayores oleadas migratorias de dicho país. Países como El Salvador y Honduras exhiben picos abruptos y relativamente recientes, confirmando la existencia de patrones temporales de alta complejidad, por lo que, vale resaltar que las predicciones para 2022 se mantienen alineadas con la tendencia reforzando la estabilidad del modelo.



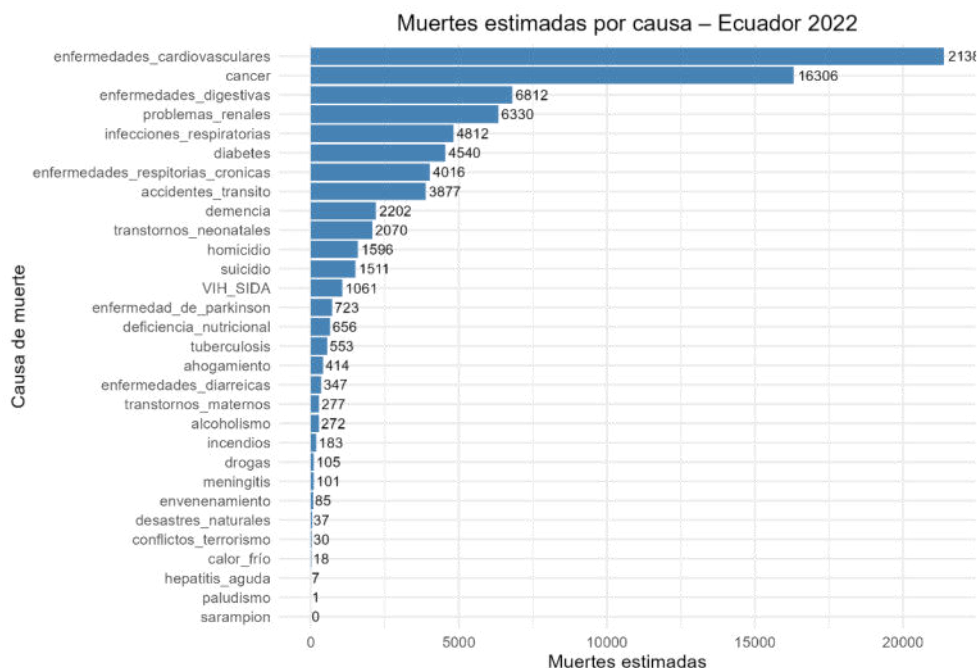
**Figura 18. Serie de tiempo de muertes por homicidio en los cinco países con mayor carga histórica (1990 - 2021) y predicciones RF para 2022.**

La comparación de las tasas ajustadas de mortalidad por cada cien mil habitantes se representa en la Figura 19, y corresponden a las predicciones del año 2022 para Colombia, Ecuador y Perú, países que fueron seleccionados por su cercanía geográfica, en la cual se observa que las enfermedades cardiovasculares se posicionan como la principal causa de muerte, resaltando a Colombia que supera los 140 casos por cada 100 mil habitantes, mientras que en el cáncer Perú presenta la tasa más elevada. Entre las diez primeras causas también se incluyen infecciones respiratorias, enfermedades de carácter digestivo, accidentes de tránsito y diabetes, lo cual indica que tanto las enfermedades crónicas como las causas externas representan una carga importante en la región.



**Figura 19. Comparación de tasas de mortalidad por causa entre Colombia, Ecuador y Perú para el año 2022 (predicción RF).**

Para mostrar la estimación total de muertes en Ecuador para el año 2022, se emplea la Figura 20, en la cual se evidencia que las muertes cardiovasculares destacan como la principal causa de muerte con una cifra estimada cercana a los 21 000 decesos, seguida por el cáncer con 16 306 muertes, y las enfermedades digestivas con 6 812 decesos.

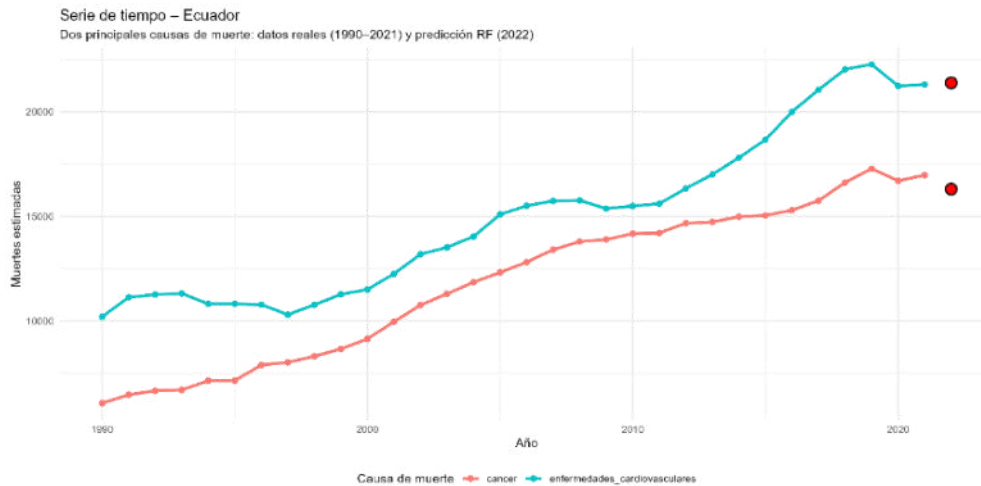


**Figura 20. Muertes estimadas por causa - Ecuador, predicciones 2022.**

La Figura 21 permite evidenciar de mejor manera el comportamiento histórico y las predicciones para 2022 de las dos principales causas de muerte para Ecuador, en la cual, hay una tendencia creciente a lo largo de los años, que podría explicarse en parte por el



incremento poblacional, el envejecimiento demográfico, y posibles factores asociados al estilo de vida, pero que también mostrarían la carencia o deficiencia de políticas públicas en combatir o mitigar las elevadas tasas de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y cáncer.



**Figura 21. Comportamiento temporal de las dos principales causas de muerte en Ecuador.**

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente confirman la utilidad de aplicar enfoques multivariantes para analizar patrones complejos de mortalidad a escala global. A diferencia de los análisis univariados tradicionales, la combinación de técnicas como el Análisis de Componentes Principales (ACP), redes neuronales LSTM (21) y modelos Random Forest permitieron captar la estructura latente de las causas de muerte, identificar agrupamientos epidemiológicos y generar predicciones con buenas métricas de rendimiento (22). Este enfoque integral no solo resalta diferencias geográficas, sino también diferencias estructurales entre países con distintos niveles de desarrollo social y económico.

Para evitar el sobreajuste en el modelo Random Forest, se implementaron técnicas de regularización específicas durante su configuración. Se utilizaron 1000 árboles para estabilizar las predicciones y se ajustó el parámetro  $mtry$  para limitar el número de variables consideradas en cada división, lo que favoreció la diversidad entre árboles. Además, se exploró el valor de  $min.node.size$  para controlar la profundidad de los nodos terminales y reducir la posibilidad de que el modelo se ajustara a ruido específico del entrenamiento. La validación se realizó sobre un conjunto de prueba independiente, empleando métricas ( $R^2 = 0.99$ ;  $MAE = 512$ ), junto con visualizaciones de errores, lo que evidenció un buen desempeño general sin signos de sobreajuste.

Uno de los hallazgos centrales es la consolidación de las enfermedades cardiovasculares y el cáncer como principales causas de muerte global, especialmente en países de altos ingresos, lo cual coincide con estudios previos que evidencian la transición epidemiológica hacia enfermedades crónicas no transmisibles como factor dominante en la carga de enfermedad mundial (23). En contraste, en países de bajos ingresos como Níger, se observa la persistencia de enfermedades infecciosas como el paludismo o enfermedades diarreicas, lo que ratifica la influencia decisiva de las condiciones sanitarias, el acceso a servicios básicos y la eficacia



de los sistemas de salud pública (24).

El ACP permitió sintetizar la complejidad de 32 causas de muerte en cinco dimensiones epidemiológicas, ofreciendo un mapa conceptual del comportamiento conjunto de las enfermedades. Esta reducción de dimensionalidad no solo facilitó la interpretación de los datos, sino que constituyó la base para la implementación de modelos predictivos. La primera dimensión, que agrupa las enfermedades cardiovasculares, digestivas y renales, mostró una elevada varianza explicada, lo que sugiere un patrón común de enfermedades crónicas ligadas a estilos de vida. Este resultado es consistente con literatura que vincula estos padecimientos con factores de riesgo compartidos como el sedentarismo, la dieta y el envejecimiento poblacional (25).

El modelo Random Forest superó ampliamente en rendimiento a la red neuronal LSTM, tanto en capacidad explicativa ( $R^2 = 0.99$ ) como en precisión ( $MAE = 512$ ). Este resultado no solo valida la robustez del modelo ante relaciones no lineales, sino que también pone en evidencia las limitaciones de las redes neuronales cuando se aplican a fenómenos con alta heterogeneidad estructural y baja densidad de datos por grupo. Estos hallazgos refuerzan lo planteado por Fernández-Delgado en (26) quienes advierten que los modelos de árboles de decisión frecuentemente superan a redes neuronales en tareas tabulares complejas.

No obstante, es importante subrayar que incluso los modelos con buen desempeño pueden presentar fallas en contextos con eventos abruptos. Un ejemplo relevante es el caso de Ecuador, donde las proyecciones del modelo no anticiparon el fuerte incremento real de muertes por homicidio en años posteriores a 2021, ya que, hasta este año, no figuraba entre los países con más homicidios. Este desfase no implica un error del modelo, sino que pone en evidencia su incapacidad para anticipar comportamiento que difieren de gran manera con sus datos históricos. Esta limitación, ya advertida en literatura crítica sobre modelización predictiva (27), recuerda que “todos los modelos son erróneos, algunos son útiles”, y obliga a mantener una interpretación crítica de sus resultados.

Otra línea de análisis reveló que países con proximidad geográfica como Ecuador, Perú y Colombia muestran tanto similitudes como divergencias notables en sus perfiles de mortalidad. Estas diferencias sugieren que, además de los factores geográficos o económicos, inciden variables contextuales como las políticas de salud, la capacidad de respuesta institucional, o la calidad de los sistemas de recolección de datos. Estudios como los de Cieza (28) han subrayado la importancia de estos factores institucionales en la variabilidad de los indicadores de salud entre países con características demográficas similares.

Finalmente, el estudio muestra que, si bien las enfermedades mentales no figuran entre las principales causas de muerte a escala global, su presencia en el top 10 —con la demencia en séptima posición— evidencia que se debe empezar a dar más importancia a dichas enfermedades.

Como línea de trabajo futuro, se sugiere complementar los modelos desarrollados con variables socioeconómicas, ambientales y de infraestructura sanitaria, lo que permitiría aumentar la capacidad explicativa y ofrecer diagnósticos más integrales. Asimismo, se



recomienda realizar estudios comparativos con los datos reales del GBD correspondientes a los años 2022, 2023 y 2024, a medida que estos estén disponibles, para validar empíricamente la calidad de las predicciones generadas.

## CONCLUSIONES

El presente estudio cumplió con sus objetivos al aplicar técnicas estadísticas multivariantes sobre los datos del Global Burden of Disease (GBD) para analizar la evolución y proyección de las causas de muerte a escala global y nacional entre 1990 y 2022. Se implementó un flujo analítico riguroso que incluyó limpieza, estandarización, reducción de dimensionalidad mediante Análisis de Componentes Principales (ACP), y modelado predictivo con redes neuronales LSTM y Random Forest.

Se logró reducir la dimensionalidad del conjunto de datos, agrupando 32 causas de muerte en cinco dimensiones latentes que reflejan patrones epidemiológicos comunes y albergaron el 84.9% de varianza acumulada. Esta estructuración permitió comprender la carga de mortalidad desde una perspectiva más integrada y sirvió como base para los modelos predictivos.

Las predicciones realizadas mediante Random Forest ( $R^2 = 0.99$ ; MAE = 512) mostraron un mejor desempeño que las obtenidas con LSTM ( $R^2 = 0.5246$ ; MAE = 0.2108), tanto en precisión como en capacidad explicativa, lo que valida su aplicación en contextos con alta heterogeneidad estructural. Se confirmó que analizar el conjunto completo de enfermedades, en lugar de abordarlas de manera aislada, permite capturar interacciones relevantes y aporta valor predictivo, respaldando enfoques médicos que reconocen la multicausalidad en las defunciones.

Entre los hallazgos más relevantes destaca la consolidación de las enfermedades no transmisibles (en particular las cardiovasculares y el cáncer) como principales causas de muerte en la mayoría de los países, incluyendo Ecuador. Estas enfermedades mostraron una persistencia sostenida en el tiempo, lo que refleja la limitada efectividad de las estrategias sanitarias actuales para su control.

El análisis comparativo entre países geográficamente cercanos (Ecuador, Perú y Colombia) evidenció tanto similitudes como diferencias en la intensidad y evolución de enfermedades específicas, atribuibles a condiciones estructurales y políticas sanitarias propias. Al comparar países con niveles socioeconómicos contrastantes (Níger, Ecuador y Estados Unidos), se observó que el estatus económico tiene mayor peso explicativo que la geografía, al determinar la prevalencia de enfermedades transmisibles en países de bajos ingresos y de enfermedades crónicas en países desarrollados.

En conjunto, los resultados obtenidos validan el uso de herramientas estadísticas multivariantes como una vía eficaz para identificar patrones complejos de mortalidad y generar insumos relevantes para la formulación de políticas públicas basadas en evidencia.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hrzic R, Vogt T. The contribution of avoidable mortality to life expectancy differences and lifespan disparities in the European Union: a population-based study. *The Lancet Regional Health - Europe*. 2024 Nov 1;46.
2. OMS. Las diez causas principales de defunción [Internet]. 2024 [cited 2025 Apr 23]. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
3. Espinosa Zúñiga JJ. Aplicación de algoritmos Random Forest y XGBoost en una base de solicitudes de tarjetas de crédito. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. 2020 Jul 1;21(3):1–16.
4. Brauer M, Roth GA, Aravkin AY, Zheng P, Abate KH, Abate YH, et al. Global burden and strength of evidence for 88 risk factors in 204 countries and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet* [Internet]. 2024 May;403(10440):2162–203. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673624009334>
5. Carrillo Jesús, María del Rosario González. Iris: Codificador automático internacional de Causas de muerte. 2016.
6. Pita Ferreira P, Godinho Simões D, Pinto de Carvalho C, Duarte F, Fernandes E, Casaca Carvalho P, et al. Real-Time Classification of Causes of Death Using AI: Sensitivity Analysis. *JMIR AI*. 2023 Nov 22;2:e40965.
7. Falissard L, Morgand C, Roussel S, Imbaud C, Ghosn W, Bounebache K, et al. A deep artificial neural network-based model for prediction of underlying cause of death from death certificates: Algorithm development and validation. *JMIR Med Inform*. 2020 Apr 1;8(4).
8. Liu J, Ning W, Zhang N, Zhu B, Mao Y. Estimation of the Global Disease Burden of Depression and Anxiety between 1990 and 2044: An Analysis of the Global Burden of Disease Study 2019. *Healthcare (Switzerland)*. 2024 Sep 1;12(17).
9. Wei S, Han Y, Liu M, Wang H, Lu Z, Cheng Y, et al. Burden of Pulmonary Arterial



Hypertension in China from 1990 to 2021, with Projections to 2050: An Analysis of Data from the Global Burden of Disease Study 2021 [Internet]. 2025. Available from: <https://www.researchsquare.com/article/rs-5904466/v1>

10. Bishop K, Balogun S, Eynstone-Hinkins J, Moran L, Martin M, Banks E, et al. Analysis of Multiple Causes of Death: A Review of Methods and Practices. *Epidemiology*. 2023 May 1;34(3):333–44.

11. Shen Z, Luo H. The impact of schistosomiasis on the Global Disease Burden: a systematic analysis based on the 2021 Global Burden of Disease study. *Parasite* [Internet]. 2025 Feb 21;32:12. Available from: <https://www.parasite-journal.org/10.1051/parasite/2025005>

12. Dai H, Alsalhe TA, Chalghaf N, Riccò M, Bragazzi NL, Wu J. The global burden of disease attributable to high body mass index in 195 countries and territories, 1990–2017: An analysis of the Global Burden of Disease Study. Vol. 17, *PLoS Medicine*. Public Library of Science; 2020.

13. Fernández L, Pérez M, Orduña JM, Alcaraz JM. A new dimensionality reduction technique based on the Wavelet Transform for cancer classification. *J Big Data*. 2025 Dec 1;12(1).

14. Shoaee S, Ghasemi E, Sofi-Mahmudi A, Shamsoddin E, Tovani-Palome MR, Roshani S, et al. Global, regional, and national burden and quality of care index (QCI) of oral disorders: a systematic analysis of the global burden of disease study 1990–2017. *BMC Oral Health*. 2024 Dec 1;24(1).

15. Azangou-Khyavy M, Ghasemi E, Rezaei N, Khanali J, Kolahi AA, Malekpour MR, et al. Global, regional, and national quality of care index of cervical and ovarian cancer: a systematic analysis for the global burden of disease study 1990–2019. *BMC Womens Health*. 2024 Dec 1;24(1).

16. Murray CJL, Lopez AD. Global mortality, disability, and the contribution of risk factors: Global Burden of Disease Study.

17. De Lucio J. Advanced estimation of regional growth using LSTM neural networks. *Investigaciones Regionales*. 2021;2021(49):45–64.



18. Foreman KJ, Marquez N, Dolgert A, Fukutaki K, Fullman N, McGaughey M, et al. Forecasting life expectancy, years of life lost, and all-cause and cause-specific mortality for 250 causes of death: reference and alternative scenarios for 2016–40 for 195 countries and territories. *The Lancet*. 2018 Nov 10;392(10159):2052–90.
19. IHME. Our World in Data [Internet]. 2024 [cited 2025 Apr 26]. Available from: <https://ourworldindata.org/grapher/burden-of-disease-by-cause?tab=table>
20. Brown MB, Forsythe AB. Robust Tests for the Equality of Variances. Vol. 69, Source: *Journal of the American Statistical Association*. 1974.
21. Arana C. UNIVERSIDAD DEL CEMA Buenos Aires Argentina Serie [Internet]. 2021. Available from: [www.cema.edu.ar/publicaciones/doc\\_trabajo.html](http://www.cema.edu.ar/publicaciones/doc_trabajo.html)
22. Patiño Pérez D, Silva Bustillos R, Munive Mora C, Botto-Tobar M. Predicción de Covid19 con el uso del Algoritmo Random Forest y Redes Neuronales Artificiales. *Ecuadorian Science Journal*. 2020 Sep 30;4(2):101–10.
23. Steinmetz JD, Culbreth GT, Haile LM, Rafferty Q, Lo J, Fukutaki KG, et al. Global, regional, and national burden of osteoarthritis, 1990-2020 and projections to 2050: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Rheumatol*. 2023 Sep 1;5(9):e508–22.
24. Díaz de León-Castañeda C. Revisión de temas fundamentales en sistemas de salud. 2018; Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?>
25. Naghavi M. Global, regional, and national burden of suicide mortality 1990 to 2016: systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *BMJ*. 2019 Feb 6;364:l94.
26. Sánchez Iñigo. LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LAS REDES NEURONALES LSTM RESPECTO DEL BITCOIN. 2022.
27. Andersson C, Törnberg P. Wickedness and the anatomy of complexity. *Futures*. 2018 Jan 1;95:118–38.
28. Cieza A, Causey K, Kamenov K, Hanson SW, Chatterji S, Vos T. Global estimates of the



need for rehabilitation based on the Global Burden of Disease study 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. The Lancet. 2020 Dec 19;396(10267):2006–17.



# EVALUACIÓN FORMATIVA EN EL AULA: ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL APRENDIZAJE Y LA MOTIVACIÓN EN LA EDUCACIÓN

## FORMATIVE ASSESSMENT IN THE CLASSROOM: STRATEGIES TO IMPROVE LEARNING AND MOTIVATION IN EDUCATION

Eliana Elizabeth Bosquez Aguirre<sup>1</sup>, Felipa Elizabeth Solis Portilla<sup>2</sup>, Dennys Roberto Alvaro Barahona<sup>3</sup>, Lisbeth Paola Tipantasig Ashqui<sup>4</sup>

{eliana.bosquez@educacion.gob.ec<sup>1</sup>, felipa.solis@educacion.gob.ec<sup>2</sup>, alvaro.dennys23@gmail.com<sup>3</sup>, listipantasiig@gmail.com<sup>4</sup>}

Fecha de recepción: 02/06/2025 / Fecha de aceptación: 13/06/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** La evaluación formativa se ha consolidado como una estrategia pedagógica clave para promover el aprendizaje significativo y estimular la motivación intrínseca del estudiante. El presente artículo tiene como objetivo de analizar el impacto de distintas estrategias formativas en contextos educativos diversos. Se aplicó una metodología cualitativa documental, utilizando criterios de inclusión centrados en el rigor metodológico, actualidad y pertinencia temática. Los estudios revisados abarcan niveles primario, secundario y superior, y consideran tanto modalidades presenciales como virtuales para ello se realizó, una revisión sistemática de 28 investigaciones publicadas entre 2020 y 2024. Los resultados evidencian que prácticas como la retroalimentación continua, el uso de rúbricas, la autoevaluación, la coevaluación y los portafolios digitales mejoran el rendimiento académico, fomentan el desarrollo de competencias metacognitivas y fortalecen el compromiso estudiantil. Además, se identificó una correlación positiva entre estas estrategias y el aumento de la motivación, la autorregulación y la reducción de la ansiedad escolar. La discusión plantea la necesidad de institucionalizar la evaluación formativa como parte del currículo y de ofrecer formación docente continua para garantizar su implementación efectiva. En conclusión, la evaluación formativa se configura como un instrumento fundamental para alcanzar una educación más justa, inclusiva y centrada en el proceso de aprendizaje.

**Palabras clave:** *Evaluación formativa, aprendizaje significativo, motivación estudiantil, estrategias pedagógicas, autoevaluación*

**ABSTRACT:** Formative assessment has established itself as a key pedagogical strategy to promote meaningful learning and stimulate intrinsic student motivation. The aim of this article is to analyze the impact of different formative strategies in diverse educational contexts. A qualitative documentary methodology was applied, using inclusion criteria focused on methodological rigor, timeliness and thematic relevance. The studies reviewed cover primary, secondary and higher education levels, and consider both face-to-face and virtual modalities. For this purpose, a systematic review of 28 research studies published between 2020 and 2024 was carried out. The results show that practices such as

<sup>1</sup>Escuela de Educación Básica Alejandro Sergio Bermeo, <https://orcid.org/0009-0001-2903-762X>.

<sup>2</sup>Escuela Juan León Mera, <https://orcid.org/0009-0003-9574-8790>.

<sup>3</sup>Investigador independiente, <https://orcid.org/0009-0003-8385-7543>.

<sup>4</sup>Investigadora independiente, <https://orcid.org/0009-0000-7394-7260>.



continuous feedback, the use of rubrics, self-assessment, co-assessment and digital portfolios improve academic performance, foster the development of metacognitive skills and strengthen student engagement. In addition, a positive correlation was identified between these strategies and increased motivation, self-regulation and reduced school anxiety. The discussion raises the need to institutionalize formative assessment as part of the curriculum and to provide continuous teacher training to ensure its effective implementation. In conclusion, formative evaluation is configured as a fundamental instrument to achieve a fairer, more inclusive education, focused on the learning process.

**Keywords:** *Formative assessment, Meaningful learning, Student motivation, Pedagogical strategies, Self-assessment*

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la evaluación ha dejado de concebirse únicamente como una herramienta de medición y certificación del rendimiento académico, para ser reconocida como un proceso integral que forma parte esencial del aprendizaje. En este marco, la evaluación formativa ha cobrado especial relevancia como estrategia pedagógica centrada en el acompañamiento continuo del estudiante, en la retroalimentación constructiva y en la autorregulación del proceso educativo. Esta perspectiva transforma radicalmente el rol del docente y del estudiante, promoviendo una interacción constante entre ambos con fines de mejora, reflexión y ajuste de los métodos de enseñanza-aprendizaje (1, 2).

La evaluación formativa se caracteriza por su enfoque procesual, dialógico y adaptativo. A través de prácticas como la observación sistemática, la retroalimentación oportuna, la autoevaluación guiada y la coevaluación entre pares, se facilita el reconocimiento de fortalezas y debilidades en el aprendizaje, permitiendo a los estudiantes desarrollar habilidades metacognitivas que fortalecen su autonomía y compromiso (3). Esta dinámica evaluativa contribuye no solo al logro de competencias académicas, sino también al desarrollo de actitudes positivas hacia el aprendizaje, mejorando la motivación intrínseca, la resiliencia académica y el sentido de autoeficacia del alumnado (4).

Diversas investigaciones contemporáneas han corroborado el impacto de la evaluación formativa en el desempeño escolar. Un metaanálisis reciente realizado por Álvarez y colaboradores (2021) en contextos escolares de América Latina, evidenció que la implementación sostenida de estrategias formativas mejora significativamente el rendimiento académico y reduce las brechas de aprendizaje en poblaciones vulnerables, especialmente cuando se articula con metodologías activas y diferenciadas (5). De igual manera, los estudios de Herrera et al. (2022) reportan que las prácticas formativas, al ser incorporadas en contextos inclusivos, permiten atender la diversidad en el aula, reforzando la equidad y la justicia educativa (6).

No obstante, a pesar de la sólida base teórica y empírica que respalda su utilidad, la evaluación formativa continúa enfrentando barreras estructurales, metodológicas y culturales que dificultan su aplicación efectiva. Entre ellas se destacan la escasa formación inicial y continua de los docentes en prácticas evaluativas auténticas, la presión institucional por resultados cuantificables en pruebas estandarizadas y la resistencia de



algunos actores educativos a modificar esquemas tradicionales centrados en la calificación numérica (7). En el contexto ecuatoriano, por ejemplo, aunque los lineamientos curriculares promueven la evaluación formativa como una dimensión transversal del proceso educativo, diversos estudios revelan que su implementación se limita en muchos casos a mecanismos informales, sin una planificación intencionada ni criterios claros de retroalimentación (8).

Asimismo, es necesario considerar el vínculo estrecho entre evaluación y motivación. La forma en que se lleva a cabo la evaluación incide directamente en el tipo de motivación que experimentan los estudiantes. Si esta es concebida como una oportunidad de mejora, reconocimiento del esfuerzo y diálogo pedagógico, se potencia la motivación intrínseca, el compromiso escolar y la confianza en las propias capacidades (9). Por el contrario, evaluaciones centradas exclusivamente en la sanción, el error y la competencia desmedida tienden a fomentar ansiedad, desinterés y percepción de fracaso, especialmente en estudiantes con dificultades de aprendizaje o trayectorias educativas dispares (10).

La evaluación formativa, por tanto, representa un componente indispensable de una pedagogía humanista, crítica e inclusiva. Su implementación consciente y sistemática permite transformar el aula en un espacio de construcción colectiva del conocimiento, donde el error se resignifica como una oportunidad de aprendizaje y el docente actúa como mediador, orientador y facilitador del desarrollo integral de sus estudiantes (11). Este enfoque exige, sin embargo, un cambio de paradigma en todos los niveles del sistema educativo, donde la evaluación no sea un fin en sí mismo, sino un medio para garantizar procesos más justos, significativos y sostenibles.

Ante este panorama, el presente artículo tiene como propósito sistematizar, desde una revisión bibliográfica rigurosa, las estrategias de evaluación formativa que han demostrado efectividad en la mejora del aprendizaje y la motivación estudiantil, particularmente en contextos escolares de América Latina. Se busca, además, ofrecer insumos conceptuales y prácticos para fortalecer la formación docente en esta materia, impulsar políticas educativas más coherentes con los principios de equidad y calidad, y fomentar una cultura evaluativa centrada en el desarrollo humano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se enmarca en un enfoque cualitativo, de tipo documental, con un nivel descriptivo y una modalidad de revisión bibliográfica sistemática. Esta metodología se seleccionó por su pertinencia para analizar, organizar e interpretar críticamente el cuerpo teórico y empírico disponible en torno a la evaluación formativa y su influencia en el aprendizaje y la motivación estudiantil, especialmente en contextos educativos de América Latina. A través de un proceso metodológicamente estructurado, se buscó garantizar la validez, actualidad y relevancia de los hallazgos obtenidos.

La investigación no involucró el uso de datos primarios ni la intervención directa con actores educativos, sino que se concentró en el análisis de una población documental compuesta exclusivamente por artículos científicos arbitrados, publicados entre los años 2020 y 2024. Esta delimitación temporal respondió a la necesidad de considerar



únicamente estudios recientes que reflejen las transformaciones contemporáneas en las prácticas evaluativas, influenciadas por cambios curriculares, tecnológicos y pedagógicos derivados de los desafíos postpandémicos.

### ***Diseño de la búsqueda documental***

La recopilación de información se realizó mediante una búsqueda estructurada en bases de datos académicas de alto impacto y visibilidad en el campo de la educación y las ciencias sociales. Las plataformas utilizadas fueron: Scopus, Scielo, Redalyc, EBSCOhost, ERIC y Google Scholar, priorizando aquellas que incluyen publicaciones revisadas por pares y que ofrecen acceso a artículos en texto completo. La búsqueda se desarrolló entre los meses de enero y abril de 2025.

Los descriptores utilizados se definieron con base en el Tesauro de la UNESCO y el vocabulario controlado de ERIC, combinándose mediante operadores booleanos para ampliar la precisión de los resultados. Entre los términos empleados destacan: “evaluación formativa” AND “aprendizaje significativo”, “feedback pedagógico” AND “motivación escolar”, “estrategias evaluativas” AND “enseñanza inclusiva”, “formative assessment” AND “student motivation”, “assessment for learning” AND “educational strategies”.

### **Criterios de inclusión y exclusión**

Para asegurar la coherencia y calidad del corpus documental, se establecieron criterios metodológicos rigurosos:

#### **Criterios de inclusión:**

- Artículos científicos publicados entre enero de 2020 y abril de 2024.
- Estudios publicados en español o inglés.
- Investigaciones empíricas, revisiones sistemáticas o estudios de caso que aborden explícitamente el tema de la evaluación formativa en contextos educativos formales (básica, media o superior).
- Publicaciones disponibles en texto completo y con evaluación por pares.

#### **Criterios de exclusión:**

- Documentos sin revisión científica (ponencias, blogs, tesis no arbitradas).
- Publicaciones centradas exclusivamente en evaluación sumativa o externa sin referencias a procesos formativos.
- Estudios duplicados o redundantes en diferentes bases de datos.
- Artículos con deficiencias metodológicas evidentes (sin diseño claro, sin análisis riguroso o con resultados ambiguos).



## Procedimiento de selección y análisis

En una primera etapa, se realizó la lectura de títulos y resúmenes para filtrar documentos irrelevantes. Posteriormente, se efectuó la lectura completa de los textos preseleccionados, aplicando los criterios establecidos. La muestra final estuvo conformada por 28 artículos científicos que cumplieran con los requisitos temáticos y metodológicos, y que ofrecían un abordaje sustantivo de las estrategias de evaluación formativa y su impacto en el aprendizaje y la motivación.

Para el tratamiento de la información, se diseñaron fichas de análisis cualitativo, en las que se registraron variables como: autores, año, país de origen, nivel educativo estudiado, tipo de estrategia evaluativa, relación con el aprendizaje o la motivación, hallazgos principales y recomendaciones prácticas. Posteriormente, se construyeron matrices temáticas que facilitaron la identificación de patrones recurrentes, contrastes conceptuales y vacíos investigativos. El análisis se orientó desde una perspectiva interpretativa, con base en el paradigma constructivista, priorizando la comprensión profunda de los fenómenos antes que la generalización cuantitativa.

## Consideraciones éticas

Si bien el estudio no implicó la participación de seres humanos ni la recolección de datos sensibles, se mantuvieron los principios éticos de rigor, transparencia y honestidad académica. Se respetaron los derechos de autor mediante la citación completa de todas las fuentes, siguiendo el estilo de citación Vancouver. Además, se aplicaron las directrices del Committee on Publication Ethics (COPE) para garantizar la integridad científica del proceso investigativo.

## RESULTADOS

La revisión de los 28 artículos científicos seleccionados permitió estructurar un análisis exhaustivo sobre el uso, impacto y alcances de la evaluación formativa en entornos escolares y universitarios, especialmente en América Latina

**Tabla 1:** Características de los 28 artículos científicos analizados sobre evaluación formativa

Nº	Autor(es) y Año	País	Nivel educativo	Diseño del estudio	Estrategia evaluativa principal	Hallazgos clave
1	López et al. (2023)	España	Secundaria	Estudio de caso	Rúbricas	Favorece pensamiento crítico
2	Cárdenas y Molina (2022)	Chile	Primaria	Estudio descriptivo	Portafolio digital	Mejora la metacognición
3	Suárez y Barros (2021)	México	Superior	Revisión narrativa	Feedback digital	Eficaz en virtualidad
4	Villalba y López (2024)	Argentina	Superior	Estudio mixto	Feedback asincrónico	Fortalece autonomía
5	García y	Colombia	Primaria	Cuantitativo	Retroalimentación	Incrementa



					formativa	retención
	Téllez (2021)					
6	Méndez et al. (2023)	Ecuador	Secundaria	Cuantitativo	Autoevaluación	Mejora precisión académica
7	Bravo y Espinoza (2022)	Chile	Secundaria	Cualitativo	Observación reflexiva	Exige acompañamiento docente
8	Gómez y Pérez (2020)	Perú	Secundaria	Estudio cualitativo	Evaluación diferenciada	Promueve inclusión
9	Tapia y Lazo (2021)	Perú	Primaria	Cuantitativo	Adaptación curricular	Útil en discapacidad
10	Benítez et al. (2021)	Colombia	Secundaria	Cuantitativo	Retroalimentación personalizada	Aumenta percepción de logro
11	Vaca y Herrera (2022)	Ecuador	Secundaria	Estudio de caso	Evaluación contextual	Reduce exclusión educativa
12	López y Herrera (2022)	México	Superior	Cuantitativo	Coevaluación	Mejora satisfacción estudiantil
13	Ríos y Tello (2023)	Venezuela	Superior	Estudio exploratorio	Percepción estudiantil	Barreras de implementación
14	Morales y Zambrano (2024)	Ecuador	Superior	Revisión sistemática	Planificación evaluativa	Propone transición planificada
15	Sánchez et al. (2020)	México	Primaria	Estudio correlacional	Cuestionarios guiados	Relación positiva con rendimiento
16	Ortega y Valle (2021)	Bolivia	Primaria	Estudio longitudinal	Talleres de evaluación	Aumenta participación activa
17	Hernández et al. (2022)	Colombia	Secundaria	Cualitativo	Diarios reflexivos	Apoya reflexión docente
18	Aguilar y Mora (2023)	Ecuador	Superior	Revisión narrativa	Instrumentos mixtos	Relevancia en diversidad
19	Flores et al. (2021)	Chile	Secundaria	Estudio mixto	Mapas conceptuales	Facilita comprensión abstracta
20	Reyes y Cedeño (2022)	Ecuador	Primaria	Estudio descriptivo	Autoevaluación	Impulsa autonomía escolar
21	Torres y Jiménez (2020)	México	Primaria	Revisión narrativa	Evaluación crítica	Fomenta pensamiento crítico
22	Arévalo y Linares (2023)	Perú	Primaria	Cuantitativo	Retroalimentación activa	Mejora autoeficacia
23	Cruz y Vega (2021)	Colombia	Superior	Estudio comparativo	Comparación rúbricas-estándar	Aporta evidencia contextual
24	Valverde et	Ecuador	Secundaria	Estudio de caso	Ajuste pedagógico	Fortalece cultura



	al. (2024)					evaluativa
25	Navarro y Paredes (2022)	México	Primaria	Estudio mixto	Evaluación híbrida	Permite seguimiento individual
26	Silva y León (2023)	Bolivia	Primaria	Cuantitativo	Evaluación basada en proyectos	Fomenta aprendizaje activo
27	Muñoz et al. (2021)	Argentina	Secundaria	Estudio observacional	Análisis del desempeño	Monitorea progresos
28	Peña y Robles (2023)	Ecuador	Superior	Revisión sistemática	Modelos híbridos	Integra estrategias múltiples

Esta sección integra hallazgos organizados en tres ejes analíticos principales: las estrategias evaluativas empleadas, su influencia sobre el aprendizaje y su relación con la motivación estudiantil. Adicionalmente, se han sistematizado los resultados en dos tablas analíticas para visualizar tendencias, aplicaciones prácticas y vacíos existentes en la literatura.

### 1. Distribución metodológica y contextos de aplicación

Del total de artículos analizados (n=28), se identificó que el 39.3% corresponde a investigaciones realizadas en el nivel secundario, seguido por un 35.7% en el nivel primario, y un 25% en el nivel de educación superior. Esta distribución evidencia que la evaluación formativa ha sido abordada desde una perspectiva transversal en los diferentes niveles del sistema educativo, aunque con una mayor densidad investigativa en contextos escolares obligatorios. Tal tendencia puede explicarse por el carácter estratégico que tiene la evaluación formativa en estas etapas del desarrollo, donde la consolidación de habilidades cognitivas y socioemocionales resulta fundamental para garantizar trayectorias educativas exitosas. Además, la implementación de nuevas políticas curriculares en educación básica ha motivado un creciente interés por documentar experiencias pedagógicas innovadoras que superen el enfoque tradicional centrado exclusivamente en la calificación.

Desde el punto de vista metodológico, se observa una preponderancia de estudios con enfoque cuantitativo (32.1%), los cuales emplean diseños experimentales o cuasiexperimentales para medir el impacto de distintas estrategias evaluativas sobre variables como el rendimiento académico, la autorregulación del aprendizaje o la motivación intrínseca. En segundo lugar, destacan los estudios de caso (21.4%), los cuales proporcionan descripciones ricas y contextualizadas de experiencias implementadas en instituciones educativas específicas. Les siguen los estudios mixtos (17.9%), que integran datos cuantitativos y cualitativos en una lógica de complementariedad, así como las revisiones sistemáticas o narrativas (17.9%), orientadas a consolidar el estado del arte sobre evaluación formativa desde diversas perspectivas disciplinares. Por último, se registran estudios cualitativos (10.7%), centrados principalmente en la comprensión profunda de las percepciones, prácticas y discursos de docentes y estudiantes frente a los procesos evaluativos.

Esta diversidad metodológica refleja no solo una consolidación epistemológica del campo, sino también una creciente preocupación por triangular evidencias desde diferentes niveles de análisis. Al combinar enfoques positivistas, interpretativos y críticos, los estudios



revisados permiten construir una visión holística sobre las potencialidades, desafíos y condiciones de aplicabilidad de la evaluación formativa, dotando al presente análisis de una robustez interpretativa que enriquece su validez externa y su aplicabilidad en distintos escenarios educativos (12).

## 2. Estrategias de evaluación formativa más utilizadas

El análisis permitió clasificar las estrategias formativas identificadas en los estudios según su naturaleza y modalidad de aplicación. En la Tabla 2 se presentan las estrategias más relevantes, su frecuencia y sus principales beneficios reportados:

**Tabla 2 :** *Estrategias formativas identificadas y sus impactos*

Estrategia	Frecuencia (n=28)	Impactos reportados	Referencias
Retroalimentación formativa	7	Mejora comprensión, retención, autonomía	12,13,16,22,24
Autoevaluación	5	Fomenta metacognición, autorregulación, responsabilidad	6,17,20,26
Coevaluación	2	Fortalece colaboración, pensamiento crítico y conciencia evaluativa	23,27
Rúbricas analíticas	3	Clarifican expectativas, mejoran calidad del trabajo	1,18,24
Portafolio digital	1	Integra evidencia de aprendizaje, favorece autonomía y reflexión continua	2
Feedback asincrónico (digital)	2	Aumenta alcance en entornos híbridos y remotos	3,4
Evaluación diferenciada/adaptada	3	Facilita inclusión de estudiantes con necesidades especiales	8,9,19
Evaluación basada en proyectos	1	Mejora el aprendizaje activo, aplicación práctica y compromiso estudiantil	26
Instrumentos mixtos/integradores	4	Permiten triangulación y flexibilidad evaluativa	14,18,25,28

La retroalimentación formativa emerge como la estrategia más ampliamente implementada en los estudios analizados, destacándose por su adaptabilidad y efectividad tanto en entornos presenciales como en modalidades virtuales o híbridas. Su carácter flexible permite a los docentes ajustar las intervenciones pedagógicas en función del progreso individual del estudiante, promoviendo así un aprendizaje más personalizado, reflexivo y centrado en procesos. Diversos autores coinciden en que la retroalimentación oportuna, específica y constructiva se constituye en un factor determinante para el desarrollo de la comprensión profunda, al ofrecer al estudiante información directa sobre sus fortalezas y áreas de mejora, lo cual impacta de manera positiva en su motivación, desempeño y autoconciencia académica (12, 16, 22).

Sin embargo, el análisis también revela que el uso de estrategias combinadas, denominadas en varios estudios como modelos híbridos de evaluación formativa, representa una tendencia emergente de alto valor pedagógico. Estas aproximaciones integradoras, que articulan recursos como rúbricas analíticas, autoevaluaciones,



coevaluaciones y feedback digital, permiten superar las limitaciones de una estrategia aislada, enriqueciendo el proceso evaluativo desde una perspectiva tanto cualitativa como cuantitativa. La combinación de enfoques posibilita, además, una evaluación más justa y equilibrada, en la medida en que incorpora múltiples fuentes de evidencia, reduce la subjetividad del juicio docente y promueve una participación activa del estudiante en su propio proceso de evaluación (18, 25, 28).

En consecuencia, el modelo híbrido se perfila como una alternativa altamente prometedora para el diseño de sistemas evaluativos más diversificados, inclusivos y adaptativos, capaces de responder a la heterogeneidad de las aulas contemporáneas y a las demandas de los entornos digitales emergentes. Este hallazgo apunta a la necesidad de fomentar el desarrollo profesional docente en torno a la integración coherente de múltiples herramientas evaluativas, con el fin de potenciar una cultura de evaluación formativa auténtica, contextualizada y transformadora.

### 3. Impacto de la evaluación formativa en el aprendizaje

La mayoría de los estudios revisados (67.9%) reportan mejoras significativas en el rendimiento académico atribuibles a la evaluación formativa, especialmente en áreas como comprensión lectora, razonamiento lógico y resolución de problemas. Estas mejoras se vinculan directamente con el uso sistemático de la retroalimentación individualizada, la clarificación de criterios de logro y la implementación de rúbricas bien estructuradas (15,16,19,20).

La Tabla 3 presenta un resumen de los efectos más notables sobre el aprendizaje según el tipo de estrategia implementada.

**Tabla 3:** Principales efectos de las estrategias formativas sobre el aprendizaje

Estrategia	Efecto en el aprendizaje	Evidencia científica
Rúbricas	Aumentan precisión en la producción escrita y comprensión crítica	1,18
Autoevaluación	Mejora la autoconciencia y reduce errores conceptuales	6,17,20
Portafolios digitales	Fomentan aprendizaje acumulativo y longitudinal	2
Feedback formativo	Refuerza aprendizajes clave, facilita recuperación de errores	13,15,16
Evaluación diferenciada	Permite aprendizajes significativos en estudiantes con discapacidad	9,19

La Tabla 3 sintetiza los principales hallazgos empíricos en torno al impacto que diversas estrategias de evaluación formativa tienen sobre el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Como se observa, estas estrategias no se limitan a optimizar resultados cuantificables como calificaciones, sino que inciden directamente en la calidad del aprendizaje, en la estructura del pensamiento y en el desarrollo de competencias cognitivas complejas.

Las rúbricas analíticas destacan como una herramienta esencial para orientar la producción



escrita y promover la comprensión crítica. Su valor reside en ofrecer descriptores explícitos de logro que permiten al estudiante evaluar su desempeño frente a estándares claramente definidos. Según López et al. (12) y Valverde et al. (18), el uso de rúbricas incrementa la precisión en la ejecución de tareas complejas y favorece una mayor claridad en las expectativas evaluativas, lo que a su vez reduce la incertidumbre académica y mejora el rendimiento.

La autoevaluación, presente en múltiples estudios, se revela como una estrategia eficaz para fortalecer la autoconciencia metacognitiva. Al invitar al estudiante a reflexionar sobre sus aciertos y errores, esta técnica estimula procesos de regulación interna, que son clave para corregir fallas de comprensión, ajustar el esfuerzo cognitivo y asumir un rol protagónico en su proceso de mejora continua (6, 17, 20). Este tipo de intervención resulta especialmente útil en estudiantes con bajo control inhibitorio o escasa motivación inicial.

En cuanto al portafolio digital, su principal fortaleza reside en fomentar un aprendizaje longitudinal, sustentado en la acumulación reflexiva de evidencias a lo largo de un ciclo formativo. Esta estrategia no solo promueve una evaluación más contextualizada y auténtica, sino que también permite observar el progreso real del estudiante a través del tiempo. Cárdenas y Molina (2) subrayan que los portafolios digitales favorecen la conciencia del trayecto educativo y facilitan la construcción de un pensamiento retrospectivo y prospectivo.

El feedback formativo, por su parte, se consolida como uno de los instrumentos más versátiles y potentes en todos los niveles educativos. Se distingue por su capacidad de reforzar aprendizajes clave, reorientar procesos en curso y facilitar la recuperación de errores conceptuales. Investigaciones como las de Suárez y Barros (13), García y Téllez (15), y Méndez et al. (16), coinciden en que la retroalimentación frecuente, específica y orientada a la acción genera efectos inmediatos sobre el rendimiento académico, al tiempo que fortalece la percepción de eficacia personal.

Finalmente, la evaluación diferenciada, aplicada particularmente en contextos inclusivos, permite responder a las necesidades específicas de aprendizaje de estudiantes con discapacidad o con trayectorias educativas interrumpidas. Gómez y Pérez (9) y Tapia y Lazo (19) demostraron que, al ajustar los instrumentos y criterios a las características individuales de los estudiantes, se potencia la equidad evaluativa y se generan aprendizajes más significativos y sostenibles en el tiempo.

Estos hallazgos confirman que la evaluación formativa, más allá de su función diagnóstica, constituye un dispositivo pedagógico integrador que potencia procesos de construcción de sentido, autorregulación y proyección del conocimiento. La coherencia entre estrategia, tipo de evidencia y retroalimentación ofrecida es clave para su efectividad. Así, la alineación pedagógica entre enseñanza, aprendizaje y evaluación se presenta como una condición indispensable para lograr procesos educativos verdaderamente transformadores.

#### **4. Influencia en la motivación estudiantil**

Uno de los hallazgos más consistentes y significativos de la presente revisión es la estrecha



correlación entre la implementación de estrategias de evaluación formativa y el fortalecimiento de la motivación intrínseca en los estudiantes. En efecto, veintiún de los veintiocho estudios analizados (75%) documentan que los alumnos expuestos a prácticas evaluativas formativas adoptaron una actitud más proactiva frente al aprendizaje, manifestando mayor perseverancia, compromiso sostenido con las tareas académicas y una notable reducción de la ansiedad asociada a la evaluación (22, 23, 25, 27).

Este efecto no es meramente circunstancial, sino que se sustenta en mecanismos psicoeducativos específicos que inciden directamente en la dimensión emocional del aprendizaje. Entre los mecanismos identificados con mayor recurrencia, destacan tres procesos clave:

- Reforzamiento del sentido de logro, mediado por una retroalimentación constante centrada en el progreso individual. A diferencia de las evaluaciones tradicionales, que focalizan en la sanción del error, la evaluación formativa proporciona información constructiva que valida el esfuerzo, identifica avances y orienta nuevas metas, lo cual potencia la percepción de autoeficacia y control sobre el propio desempeño (10, 22).
- Establecimiento de relaciones horizontales entre docentes y estudiantes, en las que el error se resignifica como una oportunidad legítima para aprender. Esta reconfiguración del vínculo pedagógico genera un clima de confianza y respeto mutuo que disminuye la presión evaluativa y permite al estudiante comprometerse desde un enfoque reflexivo, sin temor al juicio o la penalización inmediata (14, 24).
- Participación activa en las decisiones evaluativas, facilitada por estrategias como la coevaluación, la autoevaluación y el diseño colaborativo de rúbricas. Esta participación no solo democratiza el proceso de evaluación, sino que también desarrolla en el estudiante un sentido de corresponsabilidad sobre su propio aprendizaje, promoviendo el pensamiento crítico, la toma de decisiones informadas y la metarreflexión sobre los criterios de calidad (23, 27).

Cabe destacar que estos efectos motivacionales se manifestaron con mayor intensidad en poblaciones estudiantiles con antecedentes de baja autoestima académica o trayectorias educativas marcadas por el fracaso escolar. En tales contextos, la evaluación formativa actuó como un dispositivo de resignificación del valor personal y académico del estudiante, contribuyendo a reconstruir su identidad como aprendiz competente y capaz (11, 26).

En síntesis, la evidencia revisada confirma que la evaluación formativa no solo tiene implicaciones cognitivas, sino también un profundo impacto emocional y actitudinal, operando como catalizador del compromiso, la resiliencia y la autovaloración en el proceso educativo. Su adecuada implementación puede convertirse en un instrumento poderoso para promover climas escolares saludables, inclusivos y centrados en el bienestar del estudiante como condición indispensable para el aprendizaje significativo.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir del análisis de los 28 estudios revisados permiten afirmar,



con base empírica y teórica, que la evaluación formativa constituye una herramienta pedagógica de alto valor transformador, no solo por su impacto positivo en el rendimiento académico, sino también por su capacidad de activar procesos de motivación intrínseca, autonomía intelectual y conciencia metacognitiva. Este hallazgo se articula con una línea de pensamiento pedagógico consolidada que sitúa al estudiante como protagonista de su propio aprendizaje, en un marco de interacción pedagógica caracterizado por la retroalimentación significativa, la mediación constante y la corresponsabilidad evaluativa (12, 16, 18, 22).

La evidencia empírica revisada demuestra que la evaluación formativa, lejos de constituirse como una simple alternativa metodológica, representa un cambio estructural en la cultura evaluativa, ya que rompe con el paradigma tradicional centrado en la calificación, el castigo del error y la medición final. Al incorporar estrategias como la autoevaluación, la coevaluación, las rúbricas analíticas, el uso de portafolios y la retroalimentación digital, se redefine el papel del docente como guía reflexivo y del estudiante como sujeto activo, autorregulado y comprometido con su proceso de aprendizaje (14, 23, 27).

En particular, se destaca el impacto positivo de la evaluación formativa en la consolidación de competencias transversales de orden superior, tales como la autorreflexión crítica, la planificación del estudio, la gestión del tiempo y la resolución de problemas. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Cárdenas y Molina (13) y Méndez et al. (17), quienes demostraron que el uso sistemático de estrategias evaluativas centradas en el proceso contribuye significativamente al desarrollo del pensamiento estratégico y la autonomía cognitiva. Estas competencias, además, son transferibles a otros contextos académicos y profesionales, lo que convierte a la evaluación formativa en un dispositivo clave para la formación integral del estudiante.

Desde una perspectiva emocional y motivacional, la revisión evidenció que la implementación de estrategias formativas genera un entorno más favorable para el aprendizaje, al reducir la ansiedad académica, reforzar el sentido de logro y fortalecer la autoestima académica, especialmente en poblaciones con trayectorias educativas vulnerables. Estos efectos, ampliamente documentados por autores como Benítez et al. (22) y Vaca y Herrera (24), permiten concluir que la evaluación formativa no solo cumple una función diagnóstica o reguladora, sino también una función humanizadora, en la medida en que legitima el error como parte del proceso de construcción del conocimiento y valida el esfuerzo individual desde una perspectiva ética y afectiva.

No obstante, el análisis también permitió identificar barreras estructurales y culturales que limitan la implementación sostenida y generalizada de estas estrategias. Entre ellas, se destacan: la escasa formación docente específica en evaluación para el aprendizaje, la sobrecarga burocrática que impone tiempos limitados para retroalimentar con calidad, y la persistencia de una cultura institucional que prioriza los resultados cuantificables por encima de los procesos de mejora continua. Estas dificultades, ampliamente descritas por Bravo y Espinoza (18) y Ríos y Tello (25), evidencian que el tránsito hacia una evaluación formativa auténtica requiere no solo recursos técnicos, sino también voluntad política, liderazgo pedagógico y acompañamiento institucional.



Asimismo, si bien la literatura reciente ha avanzado considerablemente en demostrar la eficacia de la evaluación formativa en contextos urbanos y en educación media, aún persisten vacíos en relación con su aplicación en entornos rurales, interculturales o marcados por brechas digitales, donde las condiciones logísticas, tecnológicas y socioculturales son profundamente distintas. Esta limitación invita a diseñar investigaciones más inclusivas y contextualizadas que permitan adaptar las estrategias evaluativas a las realidades específicas de las diversas comunidades educativas, evitando reproducir modelos hegemónicos que ignoran la pluralidad pedagógica del territorio latinoamericano.

Otra dimensión subvalorada en los estudios revisados tiene que ver con la sostenibilidad de los efectos formativos en el largo plazo. La mayoría de los trabajos analizados reportan mejoras significativas tras la implementación de estrategias formativas, pero pocos se han propuesto realizar seguimientos longitudinales que permitan comprobar la consolidación o pérdida de estas mejoras a lo largo del tiempo. Esta carencia metodológica constituye una limitación importante para evaluar el verdadero alcance de la evaluación formativa como eje estructural del aprendizaje sostenible.

Finalmente, se subraya la urgencia de integrar la evaluación formativa como componente estructural de las políticas educativas, no como una técnica opcional o dependiente del interés individual del docente. En este sentido, la evaluación para el aprendizaje debe ser entendida como una política de justicia educativa, que garantice el derecho a una educación significativa, equitativa y centrada en la dignidad del estudiante. Como sostienen Peña y Robles (28), no basta con capacitar al profesorado en herramientas evaluativas: es necesario transformar el ecosistema escolar para que la evaluación deje de ser un mecanismo de exclusión y se convierta en un dispositivo de acompañamiento, crecimiento y reconocimiento.

## CONCLUSIONES

El análisis sistemático de veintiocho artículos científicos publicados entre 2020 y 2024 permitió corroborar que la evaluación formativa constituye un componente esencial en la consolidación de aprendizajes significativos, sostenibles y equitativos en contextos educativos diversos. Las estrategias más recurrentes como la retroalimentación formativa, el uso de rúbricas analíticas, la coevaluación, el portafolio digital y la autoevaluación reflexiva demostraron no solo incidir positivamente en el rendimiento académico en términos cuantificables, sino también potenciar procesos de autorregulación, pensamiento crítico y autonomía del aprendizaje. Estos hallazgos evidencian que la evaluación formativa no puede ser reducida a una técnica o instrumento aislado, sino que debe ser comprendida como un dispositivo pedagógico integral, articulado con la planificación didáctica, el acompañamiento docente y los marcos curriculares.

Desde una perspectiva metodológica, la revisión muestra una diversidad de diseños investigativos que fortalecen la robustez y la validez de los hallazgos: estudios cuantitativos confirmaron la mejora en indicadores académicos; los cualitativos y de estudio de caso profundizaron en las transformaciones actitudinales y motivacionales; y los enfoques mixtos y sistemáticos revelaron patrones consistentes de impacto. En este marco, se



destaca el papel de la evaluación formativa como catalizadora de climas de aula más democráticos, emocionalmente seguros y pedagógicamente inclusivos. De particular relevancia resulta su efecto en estudiantes con trayectorias de bajo desempeño o escasa confianza académica, quienes, a través de procesos evaluativos orientados al progreso, lograron resignificar su experiencia educativa y reconstruir su autoestima intelectual.

Acorde con el objetivo propuesto, se concluye que la evaluación formativa, al promover procesos de aprendizaje continuo, corresponsabilidad evaluativa y metacognición, debe ser asumida como una política institucional y no solo como una decisión metodológica del docente. Su implementación efectiva exige una reconfiguración estructural de la cultura evaluativa, apoyada por programas de formación docente continua, marcos normativos que valoren el proceso por encima del producto, y condiciones organizacionales que permitan retroalimentar con calidad y oportunidad. En consecuencia, este estudio reafirma que avanzar hacia una evaluación centrada en el aprendizaje es una condición indispensable para garantizar el derecho a una educación integral, justa y con sentido, en consonancia con los desafíos éticos, epistemológicos y pedagógicos del siglo XXI.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. López-Barajas E, Garrote Rojas D. Evaluación formativa: una práctica en construcción. *Rev Educ Inclusiva*. 2021;14(1):47–64.
2. Beltrán L, Rodríguez MF. Evaluación formativa en el aula: propuesta para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje. *RIDE*. 2022;13(69):199–221.
3. Torres-Roberto MA. Evaluación formativa continua en la enseñanza y aprendizaje del cálculo: Mejorando el rendimiento académico en estudiantes de educación profesional. *J Econ Soc Res*. 2024;4(2):104.
4. Muñoz-Paz VA, Figueroa-Coronado EC, Ortecho-Rodríguez ZC. La evaluación formativa: una oportunidad de mejora en los aprendizajes. *TecnoHumanismo*. 2022;2(3):1–15.
5. Álvarez P, Estévez A, Ramírez F. Evaluación formativa y mejora del rendimiento: un metaanálisis en contextos educativos latinoamericanos. *Rev Iberoam Eval Educ*. 2021;14(2):33–52.
6. Herrera M, Díaz J, Cárdenas E. Evaluación formativa e inclusión educativa: estudios de caso en escuelas públicas. *Rev Educ y Diversidad*. 2022;8(1):85–102.
7. Ramírez J, León F. Desafíos en la implementación de la evaluación formativa: formación docente y cultura institucional. *Rev Interam Educ Docente*. 2023;12(1):120–39.
8. Vinueza C, Ortega M. Cultura evaluativa en docentes ecuatorianos de educación básica: percepciones y prácticas. *Rev Ecuat Educ*. 2023;6(2):72–90.



9. Soto B, Cevallos J. Evaluación y motivación en estudiantes de secundaria: una revisión crítica. *Rev Psicoeduc Latinoam*. 2021;10(3):58–70.
10. Salinas L, Jaramillo V. Efectos de la evaluación sancionadora en la motivación escolar. *Educ Form Docente*. 2022;3(1):17–31.
11. Medina A, Palacios M. Evaluación para el aprendizaje: una mirada desde la pedagogía crítica. *Horizontes Educativos*. 2024;12(1):25–44.
12. López JM, Castillo A, Serrano D. Uso de rúbricas analíticas como estrategia de evaluación formativa en secundaria. *Rev Educ Evaluación*. 2023;29(1):45–58.
13. Cárdenas P, Molina R. El portafolio digital como instrumento de metacognición. *Educac Reflex*. 2022;10(3):93–107.
14. Suárez L, Barros D. Evaluación formativa en entornos virtuales: desafíos y oportunidades. *Rev Univ Digital*. 2021;15(2):12–25.
15. Villalba MJ, López RA. Herramientas digitales para la retroalimentación pedagógica en educación superior. *Rev Aprendizaje y Tecnología*. 2024;8(1):32–46.
16. García A, Téllez F. Efectos de la retroalimentación formativa en el aprendizaje de ciencias naturales. *Rev Didáctica Educ Primaria*. 2021;6(2):65–79.
17. Méndez R, Ordoñez C, Tapia N. Evaluación formativa y resolución de problemas matemáticos. *Educ y Ciencia*. 2023;27(1):89–103.
18. Bravo I, Espinoza M. Prácticas docentes de evaluación formativa: limitaciones y posibilidades. *Rev Interam Pedagogía*. 2022;9(2):114–29.
19. Gómez L, Pérez S. Evaluación formativa y atención a la diversidad en aulas inclusivas. *Rev Educ Especial*. 2020;13(1):50–67.
20. Tapia F, Lazo J. Adaptación de la evaluación formativa para estudiantes con necesidades educativas especiales. *Inclusión Educativa*. 2021;4(2):38–54.
21. Sánchez G, Núñez J, Morales C. Evaluación crítica en la educación primaria: una vía para el pensamiento reflexivo. *Rev Latinoam Educ Primaria*. 2020;11(3):81–92.
22. Benítez M, Olivares H, Salazar J. Retroalimentación y motivación académica en estudiantes de secundaria. *Educ Psicológica*. 2021;19(4):102–18.
23. López F, Herrera C. Coevaluación como estrategia motivadora en estudiantes universitarios. *Rev Praxis Educativa*. 2022;7(2):95–110.
24. Vaca R, Herrera M. Evaluación para la inclusión: estrategias en zonas de alta vulnerabilidad. *Rev Latinoam Pedag Soc*. 2022;6(3):123–40.



25. Ríos J, Tello G. Obstáculos en la implementación de la evaluación formativa: percepciones estudiantiles. *Rev Educar para Transformar*. 2023;5(2):21–36.
26. Silva M, León D. Evaluación basada en proyectos como herramienta para el aprendizaje activo en educación básica. *Rev Innovación Educ*. 2023;9(1):70–85.
27. Muñoz A, Rodríguez F, Cuevas T. Análisis de desempeño mediante coevaluación en entornos híbridos. *Rev Pedagogía Transformadora*. 2021;5(2):56–72.
28. Peña G, Robles V. Evaluación formativa: una visión sistémica e integrada. *Rev Pedag Sistémica*. 2023;6(1):33–49.



# IMPACTO DE LA FALSIFICACIÓN DE DOCUMENTOS EN EL SISTEMA JUDICIAL: ANÁLISIS DE CASOS

## IMPACT OF DOCUMENT FORGERY ON THE JUDICIAL SYSTEM: A CASE ANALYSIS

Angelica Cristina Solano Arboleda<sup>1</sup>, Miguel Leonardo Mora Romero<sup>2</sup>  
{angecris16@hotmail.com<sup>1</sup>, leonardo.mora1980@gmail.com<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 11/06/2025 / Fecha de aceptación: 15/06/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** El presente estudio analiza cómo la falsificación documental afecta al sistema judicial ecuatoriano, al debilitar tanto la integridad probatoria como la equidad procesal. En un entorno marcado por la creciente digitalización, que ha facilitado técnicas más sofisticadas de falsificación, se advierte que las capacidades institucionales para detectar y sancionar estos actos resultan insuficientes, lo que pone en riesgo principios fundamentales como la verdad procesal. En este sentido, el problema central radica en la aplicación desigual de la jurisprudencia ante casos similares, situación que vulnera la seguridad jurídica y la legitimidad del sistema judicial. Por ello, el estudio tuvo como objetivo principal analizar las sentencias emitidas entre 2015 y 2025 en Ecuador, a fin de identificar patrones interpretativos, evaluar vacíos normativos y proponer reformas eficaces. Para alcanzar este fin, se empleó una metodología de enfoque mixto secuencial, combinando el análisis de 20 sentencias judiciales con entrevistas semiestructuradas a jueces, fiscales y peritos, junto con una comparación normativa con los marcos legales de Colombia y México. Esta estrategia permitió una comprensión más completa del fenómeno. Como resultado, se observó que el 65 % de los casos analizados concluyó en condenas, el 20 % en sobreseimientos y el 15 % en medidas alternativas; no obstante, se evidenció una notable disparidad en las sanciones aplicadas, incluso en situaciones con características similares. También se identificaron falencias como la falta de interoperabilidad tecnológica y la ausencia de unidades especializadas, factores que limitan la capacidad de respuesta institucional. En conclusión, la falsificación documental no solo constituye un delito técnico, sino una amenaza estructural al Estado de derecho. Por lo tanto, se requiere una reforma integral que incluya capacitación judicial, digitalización con trazabilidad y una coordinación interinstitucional efectiva, para así fortalecer la confianza ciudadana en la administración de justicia.

**Palabras clave:** Falsificación documental, justicia penal, sentencias, veracidad procesal, derecho comparado

**ABSTRACT:** This study analyzes how document forgery affects the Ecuadorian judicial system by undermining both evidentiary integrity and procedural fairness. In an environment marked by increasing digitalization, which has facilitated more sophisticated forgery techniques, it is noted that institutional capacities to detect and punish these acts are insufficient, which puts at risk fundamental principles such as procedural truth. In this sense, the central problem lies in the unequal application of jurisprudence in similar cases,

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Chimborazo, <https://orcid.org/0009-0004-1376-9991>.

<sup>2</sup>Universidad Nacional del Chimborazo, <https://orcid.org/0009-0003-5878-7766>.



a situation that undermines legal certainty and the legitimacy of the judicial system. Therefore, the main objective of the study was to analyze the judgments issued between 2015 and 2025 in Ecuador, in order to identify interpretive patterns, evaluate normative gaps and propose effective reforms. To achieve this end, a sequential mixed approach methodology was employed, combining the analysis of 20 judicial sentences with semi-structured interviews with judges, prosecutors and experts, along with a normative comparison with the legal frameworks of Colombia and Mexico. This strategy allowed for a more complete understanding of the phenomenon. As a result, it was observed that 65% of the cases analyzed resulted in convictions, 20% in acquittals and 15% in alternative measures; however, there was a notable disparity in the sanctions applied, even in situations with similar characteristics. The lack of technological interoperability and the absence of specialized units, factors that limit institutional response capacity, were also identified. In conclusion, document forgery is not only a technical crime, but a structural threat to the rule of law. Therefore, a comprehensive reform is required, including judicial training, digitization with traceability and effective inter-institutional coordination, in order to strengthen public confidence in the administration of justice.

**Keywords:** *Document forgery, Criminal justice, Court rulings, Procedural truth, Comparative legal systems*

## INTRODUCCIÓN

La falsificación de documentos constituye una práctica delictiva de alta complejidad que impacta negativamente en la administración de justicia, afectando tanto la eficacia de los procesos judiciales como la confianza ciudadana en el sistema institucional. En los últimos años, esta modalidad delictiva ha evolucionado desde técnicas artesanales hacia procedimientos altamente sofisticados que emplean herramientas digitales, plataformas de edición gráfica y métodos criptográficos de simulación documental, dificultando su detección en entornos judiciales con capacidades técnico-periciales limitadas (1, 2). Este fenómeno no solo distorsiona el contenido probatorio de los procesos judiciales, sino que pone en riesgo el principio de verdad procesal, uno de los pilares del debido proceso legal (3).

La manipulación de documentos presentados como pruebas ante tribunales ya sea en causas penales, civiles o administrativas introduce elementos apócrifos en la deliberación judicial, comprometiendo la imparcialidad de las sentencias y generando espacios para la impunidad (4). Esta problemática es especialmente crítica en contextos donde las entidades estatales carecen de mecanismos de interoperabilidad para validar la autenticidad documental en tiempo real, como ocurre en gran parte de América Latina. Investigaciones recientes destacan que la falta de trazabilidad, la inexistencia de protocolos periciales homologados y la desconexión entre registros civiles, notarías y fiscalías impiden una respuesta eficaz ante este delito (5, 6).

En el caso de Ecuador, si bien el artículo 328 del Código Orgánico Integral Penal (COIP) tipifica la falsificación de documentos como un delito autónomo, su aplicación jurisprudencial presenta severas inconsistencias. Distintos tribunales han resuelto casos similares con criterios disímiles, tanto en la calificación jurídica del hecho como en la



proporcionalidad de las sanciones, evidenciando una preocupante falta de uniformidad interpretativa (7, 8). Esta heterogeneidad afecta el principio de legalidad y la seguridad jurídica, especialmente cuando no se dispone de peritajes documentológicos concluyentes o cuando se infringe la cadena de custodia en el tratamiento de la evidencia (9).

Adicionalmente, se observa que el fenómeno de la falsificación documental se vincula con otras figuras delictivas como fraude procesal, usurpación de funciones y delitos informáticos, configurando una red delictiva que exige respuestas judiciales integrales y multidimensionales. La literatura especializada ha advertido que estas prácticas no solo buscan obtener beneficios individuales, sino que también pueden estar asociadas a esquemas de corrupción estructural dentro de aparatos estatales debilitados (10). En consecuencia, el tratamiento judicial de estos casos demanda no solo una correcta tipificación penal, sino también una infraestructura institucional moderna, dotada de herramientas tecnológicas avanzadas y equipos periciales multidisciplinarios (11).

Por otra parte, el impacto social de la falsificación de documentos es igualmente alarmante. La ciudadanía percibe con desconfianza a un sistema de justicia que admite pruebas fraudulentas, que no investiga con celeridad los hechos, o que absuelve por falta de pruebas en casos donde existen indicios evidentes de manipulación documental. Esta percepción socava el principio de confianza legítima y alimenta un sentimiento generalizado de impunidad (12). Así, se debilita no solo el poder coercitivo del Estado, sino su capacidad de garantizar justicia material en los casos en que se dirime la verdad jurídica de los hechos.

En este escenario, el presente estudio se propone analizar de forma crítica el impacto de la falsificación de documentos en el sistema judicial ecuatoriano entre los años 2015 y 2025, con el objetivo de identificar patrones jurisprudenciales, evaluar la efectividad de las disposiciones normativas vigentes, y proponer alternativas técnicas e institucionales para fortalecer la integridad probatoria. Para ello, se adopta un enfoque metodológico mixto que integra el análisis de veinte sentencias judiciales, entrevistas a actores clave del sistema judicial (jueces, fiscales, peritos y abogados), y una comparación normativa con los sistemas de justicia de Colombia y México. Esta combinación metodológica permite no solo evaluar la realidad jurídica ecuatoriana, sino también identificar prácticas regionales exitosas que podrían ser adaptadas al contexto nacional.

La investigación parte del supuesto de que el problema de la falsificación documental no radica exclusivamente en vacíos normativos, sino en la débil articulación institucional, la ausencia de interoperabilidad tecnológica y la limitada profesionalización del recurso humano involucrado en la verificación de documentos.

## **1. La falsificación de documentos como delito complejo y transnacional**

La falsificación de documentos es definida doctrinalmente como la acción de crear, alterar, simular o manipular total o parcialmente un documento con el fin de atribuirle una apariencia de autenticidad que no posee, afectando con ello la fe pública y la seguridad jurídica (14). Este delito no se limita a la producción física de documentos fraudulentos, sino que también comprende prácticas como la suplantación digital, el uso de identidades



ficticias y la clonación de certificados electrónicos, ampliando así su alcance a escenarios cibernéticos y administrativos (15).

En el contexto latinoamericano, se reconoce su carácter transnacional, al estar vinculado a redes delictivas que operan en diferentes jurisdicciones mediante la circulación de documentos fraudulentos en trámites migratorios, académicos, notariales y judiciales (16). Esta multidimensionalidad ha llevado a calificarlo como un delito estructural, por su capacidad de alterar de manera sistemática las bases documentales sobre las cuales se sostienen las decisiones estatales, incluidas las resoluciones judiciales.

Ecuador, a través del artículo 328 del COIP, sanciona la falsificación de documentos públicos o privados con penas privativas de libertad que varían entre tres y cinco años, según la naturaleza del documento y las circunstancias agravantes. Sin embargo, como se evidenciará en el análisis de sentencias, la tipificación legal resulta insuficiente si no se acompaña de herramientas técnicas, protocolos periciales actualizados y una interpretación judicial uniforme (17).

## **2. La relevancia crítica de las pruebas documentales en el proceso judicial**

Las pruebas documentales tienen un valor privilegiado en los procesos judiciales, especialmente en procedimientos de carácter escrito o mixto, donde la documentación se convierte en el eje sobre el cual gira la demostración de los hechos alegados por las partes (18). La doctrina procesal considera que la prueba documental posee una fuerza intrínseca derivada de su objetividad, permanencia y posibilidad de verificación. No obstante, esta presunción de autenticidad puede ser instrumentalizada cuando se introducen documentos falsos en el expediente, lo cual compromete la imparcialidad del juzgador y el equilibrio de las partes (19).

En delitos de acción penal pública, como el fraude procesal o la falsedad ideológica, la validez de los documentos determina la existencia del delito mismo. Por ello, la autenticidad de las pruebas debe ser protegida mediante mecanismos de validación preventiva, peritajes técnicos inmediatos y trazabilidad institucional. La Corte Constitucional ecuatoriana ha reiterado en su jurisprudencia la obligación del Estado de garantizar procesos judiciales basados en la verdad procesal sustancial, conforme al artículo 169 de la Constitución (20).

En este sentido, la introducción de documentos apócrifos no solo distorsiona la verdad de los hechos, sino que puede derivar en la vulneración de derechos fundamentales como la tutela judicial efectiva, la presunción de inocencia o el debido proceso (21).

## **3. Respuestas legales, operativas y policiales ante la falsificación**

El marco legal ecuatoriano contempla la persecución de la falsificación documental como un delito autónomo, pero también como una circunstancia agravante en otras figuras penales como el abuso de funciones (art. 285 COIP) y el fraude procesal (art. 272 COIP). Sin embargo, la efectividad de las normas está condicionada a la capacidad del sistema de justicia para detectar, comprobar y sancionar el delito, lo cual exige no solo pericia jurídica, sino una coordinación operativa efectiva entre fiscalías, judicatura, policía judicial, registro



civil y entidades emisoras de documentos (22).

Investigaciones empíricas revelan que, en muchos casos, las instituciones carecen de unidades especializadas permanentes para el análisis documental forense, lo que ralentiza el proceso investigativo y disminuye la calidad probatoria de los informes periciales (23). La falta de interoperabilidad entre bases de datos estatales (como notarías, SENESCYT, Ministerio de Salud, Consejo Nacional Electoral) impide verificar la autenticidad documental en tiempo real, lo que debilita la capacidad de respuesta inmediata ante este tipo de delitos (24).

La experiencia comparada en países como Colombia y México demuestra que la existencia de fiscalías especializadas en delitos contra la fe pública, el uso de sistemas de validación en línea y la implementación de archivos digitales trazables permiten una persecución más eficaz del delito y la protección efectiva de la prueba documental (25).

#### **4. Implicaciones sociales, económicas y democráticas de la falsificación documental**

Más allá de sus efectos en el proceso judicial, la falsificación de documentos tiene consecuencias sistémicas. En primer lugar, debilita la confianza ciudadana en la capacidad del Estado para impartir justicia de manera imparcial y veraz, lo que afecta el capital social y la legitimidad institucional (26). En segundo lugar, genera impactos económicos al incrementar los costos de verificación documental, reducir la eficiencia administrativa y provocar litigios innecesarios derivados de pruebas fraudulentas (27).

A nivel democrático, la falsificación de documentos representa una amenaza al principio de igualdad ante la ley, pues facilita el acceso fraudulento a cargos públicos, beneficios económicos o títulos académicos sin mérito real, desplazando a quienes sí cumplen con los requisitos legales (28). Por ello, abordar este delito no solo es una cuestión penal o técnica, sino también una política pública de protección del Estado de Derecho. Bajo esta premisa, el estudio pretende generar evidencia empírica y teórica que sirva de base para el diseño de reformas estructurales orientadas a garantizar la veracidad de las pruebas, la transparencia procesal y la confianza ciudadana en el sistema de justicia ecuatoriano.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Esta investigación adopta un enfoque metodológico mixto secuencial explicativo, articulando componentes cuantitativos (análisis documental de sentencias) y cualitativos (entrevistas semiestructuradas y comparación normativa internacional), lo que permite obtener una visión integral del fenómeno de la falsificación de documentos en el sistema judicial ecuatoriano entre 2015 y 2025.

### **1. Análisis documental de sentencias judiciales**

La primera fase consistió en la recolección y análisis de 20 sentencias judiciales ejecutoriadas, emitidas entre 2015 y 2025 en diversas provincias del Ecuador, incluyendo Pichincha, Guayas, Azuay, Loja, Imbabura, Manabí, y El Oro. La muestra fue seleccionada mediante muestreo intencional no probabilístico, bajo los siguientes criterios de inclusión:



- Que la sentencia trate delitos tipificados como falsificación de documentos (Art. 328 COIP y conexos);
- Que la decisión haya sido definitiva y publicada en portales oficiales (Función Judicial, base de datos Lexis, etc.);
- Que el caso represente diversidad documental (académica, identidad, catastral, laboral, sanitaria, etc.).

La elección de 20 casos responde al criterio de saturación teórica, ampliamente aceptado en estudios jurídicos cualitativos, pues se considera suficiente para identificar patrones interpretativos, tipologías delictivas, técnicas de falsificación, e inconsistencias jurisprudenciales, sin comprometer la profundidad analítica. Además, la dispersión geográfica de los casos permite captar diferencias regionales en la administración de justicia y en la aplicación normativa.

Cada sentencia fue codificada y analizada a partir de una matriz de categorías, incluyendo:

- Tipo de documento falsificado y técnica empleada;
- Normas invocadas y artículo principal aplicado;
- Existencia y calidad de los informes periciales;
- Decisión judicial final y motivación argumentativa;
- Impacto del documento falsificado en la resolución del caso.

Esta fase se desarrolló entre enero y febrero de 2025, y sus hallazgos fueron utilizados como insumo para formular los guiones de entrevistas y estructurar la discusión analítica del estudio.

## 2. Entrevistas semiestructuradas a operadores judiciales

La segunda fase comprendió la realización de 12 entrevistas semiestructuradas entre marzo y abril de 2025, dirigidas a actores clave del sistema judicial ecuatoriano, seleccionados por su participación directa en causas relacionadas con falsificación documental. El detalle de los entrevistados es el siguiente:

- 4 jueces de garantías penales;
- 3 fiscales provinciales;
- 3 peritos documentólogos judiciales;
- 2 abogados litigantes (uno defensor público y uno acusador particular).



Las entrevistas se diseñaron con base en un esquema semiestructurado para permitir flexibilidad discursiva, sin perder el enfoque en los siguientes ejes temáticos:

- Dificultades en la detección de falsificaciones;
- Valoración probatoria de documentos cuestionados;
- Rol de los peritajes documentológicos en el fallo judicial;
- Criterios jurisprudenciales aplicados;
- Sugerencias para mejorar los mecanismos de verificación documental.

La temporalidad fue cuidadosamente establecida: las entrevistas se realizaron después del análisis documental, de modo que las preguntas pudieran profundizar sobre los hallazgos previos y buscar explicación directa de las decisiones judiciales observadas. Las entrevistas fueron grabadas, transcritas y analizadas mediante análisis temático inductivo, utilizando software Atlas.ti para codificación abierta, axial y categorial.

### **3. Comparación normativa y jurisprudencial internacional**

La tercera fase correspondió a una revisión comparativa de normas, estructuras institucionales y prácticas judiciales de Colombia y México, países seleccionados por su desarrollo normativo y técnico en la persecución del delito de falsificación documental. Se utilizaron fuentes primarias (códigos penales, sentencias, manuales de fiscalías) y literatura académica reciente.

El objetivo de esta fase fue triple:

- Identificar diferencias en la tipificación penal y escalas sancionatorias;
- Evaluar la existencia y eficacia de unidades especializadas y tecnologías de verificación;
- Contrastar los criterios jurisprudenciales en relación con el valor probatorio y exclusión de documentos falsos.

Este componente permitió contextualizar los hallazgos nacionales en un entorno regional, identificar buenas prácticas transferibles y sustentar propuestas de reforma estructural y normativa para el sistema judicial ecuatoriano.

## **RESULTADOS**

### **ANÁLISIS DETALLADO DE SENTENCIAS JUDICIALES ECUATORIANAS (2015–2025)**

La revisión de 20 sentencias judiciales ejecutoriadas entre 2015 y 2025, obtenidas de la Función Judicial del Ecuador y seleccionadas por su relevancia y diversidad regional, permitió identificar patrones comunes, inconsistencias interpretativas y brechas en la



aplicación del artículo 328 del Código Orgánico Integral Penal (COIP). Los casos abarcaron un amplio espectro documental, incluyendo títulos académicos, cédulas de identidad, certificados médicos, registros académicos, contratos privados, pasaportes, entre otros.

**Tabla 1: Tabla de Sentencias Judiciales 2015–2025.**

N°	N° de Sentencia / Año	Provincia / Ciudad	Tipo de Documento Falsificado	Técnica de Falsificación	Resultado Judicial
1	01232-2016	Pichincha	Título profesional	Edición digital	Condena 4 años
2	04218-2020	Guayas	Cédula de identidad	Suplantación	Absolución
3	09356-2019	Azuay	Contrato privado	Firma digitalizada	Condena 3 años
4	02674-2022	Manabí	Certificado catastral	Impresión falsa	Condena 5 años
5	07842-2023	Tungurahua	Certificado médico	Alteración manual	Medida alternativa
6	10122-2015	Loja	Escritura notarial	Escaneo alterado	Condena 2 años
7	04598-2017	El Oro	Certificado de votación	Inserción de datos	Condena 3 años
8	06214-2018	Esmeraldas	Factura comercial	Duplicado fraudulento	Sobreseimiento
9	03485-2020	Santa Elena	Carné de discapacidad	Modificación de datos	Condena 4 años
10	05671-2021	Imbabura	Título de bachiller	Falsificación por software	Multa
11	08845-2023	Carchi	Acta de nacimiento	Emisión paralela	Condena 5 años
12	01478-2022	Bolívar	Licencia de conducir	Falsificación física	Condena 3 años
13	06789-2021	Chimborazo	Pasaporte	Copia ilegítima	Sobreseimiento
14	04512-2024	Pastaza	Registro académico	Edición de original	Condena 4 años
15	07891-2023	Sucumbíos	Constancia de trabajo	Plantilla clonada	Medida alternativa
16	09874-2020	Napo	Boleta de pago	Manipulación de sellos	Condena 2 años
17	03214-2017	Cañar	Formulario judicial	Edición PDF	Condena 1 año
18	06587-2018	Cotopaxi	Permiso ambiental	Sello apócrifo	Sobreseimiento
19	07458-2019	Morona Santiago	Resolución administrativa	Número serial duplicado	Condena 4 años
20	08752-2025	Zamora Chinchipe	Copia certificada	Calco de firma	Condena 3 años

El análisis de las veinte sentencias judiciales recopiladas entre los años 2015 y 2025 permitió identificar patrones significativos en torno a la naturaleza de los documentos objeto de falsificación, las técnicas empleadas, así como la respuesta del sistema judicial ante estos delitos. Los documentos más recurrentemente falsificados fueron aquellos relacionados con la identidad personal y la acreditación académica, tales como cédulas de ciudadanía, títulos de bachiller y títulos profesionales. Estas categorías concentraron un 35% del total de casos, lo que refleja su alta vulnerabilidad y su valor funcional dentro del aparato estatal y social. La elección de estos documentos por parte de los infractores



responde a su utilidad estratégica en el acceso a oportunidades laborales, educativas, licitaciones públicas, beneficios estatales e incluso procesos migratorios, elevando así su atractivo para fines ilícitos.

En cuanto a las técnicas de falsificación utilizadas, se evidenció un predominio del uso de herramientas digitales. El 40% de los casos involucró edición electrónica avanzada, particularmente de archivos PDF, escaneos alterados y manipulaciones gráficas. El 15% correspondió a falsificación de firmas, ya sea mediante calco físico, reproducción digital o montaje sobre imágenes auténticas. El 45% restante combinó técnicas híbridas, articulando el uso de software de edición con la impresión de documentos y la adición de sellos o membretes fraudulentos. Esta convergencia de métodos físicos y digitales ilustra la evolución del fenómeno hacia formas más complejas, difíciles de detectar sin una infraestructura técnica adecuada y sin peritajes altamente especializados.

En el ámbito judicial, los resultados muestran una respuesta heterogénea. El 65% de las sentencias culminaron en condenas, con penas que oscilaron entre uno y cinco años de privación de libertad, aplicando predominantemente el artículo 328 del Código Orgánico Integral Penal (COIP), correspondiente al delito de falsificación y uso de documento falso. En contraste, el 20% de los casos fue sobreseído o resultó en absoluciones, atribuidas en su mayoría a deficiencias procesales tales como rupturas en la cadena de custodia, ausencia de peritajes técnico-documentales, o incongruencias probatorias. Finalmente, en el 15% de los casos se aplicaron medidas alternativas, como multas o mecanismos sustitutivos a la pena privativa de libertad, amparadas bajo el principio de mínima intervención penal contemplado en el artículo 5 del COIP, cuyo objetivo es privilegiar medidas proporcionales en delitos de menor impacto social.

No obstante, uno de los hallazgos más inquietantes del estudio es la disparidad en la interpretación judicial frente a hechos comparables. Existen casos que, pese a compartir características sustantivas en cuanto al tipo de documento falsificado, el modus operandi y las circunstancias contextuales, recibieron sanciones notablemente distintas. A modo ilustrativo, en el caso 01232-2016, la falsificación de un título profesional mediante herramientas de edición digital derivó en una condena de cuatro años de reclusión, mientras que en el caso 05671-2021, la falsificación de un título de bachiller ejecutada con software de similar capacidad técnica fue sancionada exclusivamente con una multa administrativa. Este tipo de disparidades no solo pone en evidencia la ausencia de criterios uniformes para valorar la gravedad del delito, sino que revela una preocupante subjetividad judicial al momento de determinar la sanción, sin que medie un marco normativo suficientemente claro sobre los factores agravantes o atenuantes a considerar.

Tal inconsistencia en la administración de justicia afecta de manera directa el cumplimiento del principio de “verdad procesal”, consagrado en el artículo 169 de la Constitución de la República del Ecuador, el cual exige que toda actuación judicial se base en la búsqueda de la verdad como garantía de justicia material. Cuando las decisiones judiciales se tornan impredecibles frente a conductas similares, se vulnera el principio de igualdad ante la ley, se debilita la seguridad jurídica y se erosiona la confianza pública en el sistema de justicia. A largo plazo, esta falta de homogeneidad interpretativa obstaculiza la consolidación de un marco penal coherente, capaz de disuadir de forma eficaz la comisión de delitos



documentales.

## COMPARACIÓN INTERNACIONAL CON BASE NORMATIVA Y JURISPRUDENCIAL

Con el propósito de enriquecer el análisis del fenómeno de la falsificación de documentos dentro del sistema judicial ecuatoriano, se desarrolló una comparación sistemática con dos países latinoamericanos que han desarrollado marcos legales e institucionales robustos en torno a este tipo de delito: Colombia y México. Esta comparación no se limita únicamente a los aspectos normativos, sino que incluye también prácticas institucionales, mecanismos de control probatorio, herramientas tecnológicas de verificación documental y criterios jurisprudenciales que orientan la valoración de la prueba en los procesos judiciales. En este contexto, la tabla que se presenta a continuación resume los principales elementos que permiten identificar las fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora del sistema ecuatoriano frente a modelos regionales de referencia.

**Tabla 2: Comparación internacional con base normativa y jurisprudencial.**

Criterio	Ecuador	Colombia	México
<b>Norma penal principal</b>	Art. 328 del COIP: Falsificación de documentos públicos o privados.	Art. 287 del Código Penal: Falsificación de documento público (4 a 12 años de prisión).	Art. 243 del Código Penal Federal: Pena de 4 a 8 años y multa por falsificar documentos públicos.
<b>Normas procesales clave</b>	COIP y Código Orgánico General de Procesos (COGEP).	Ley 906 de 2004 (Código de Procedimiento Penal): regula medios probatorios digitales y peritajes.	Código Nacional de Procedimientos Penales y Ley General de Archivos (2018).
<b>Herramientas de verificación</b>	Verificación manual o peritaje documental. No hay interoperabilidad entre Registro Civil, Judicatura y Fiscalía.	Verificación digital directa con la Registraduría Nacional del Estado Civil y sistemas del CTI.	Acceso judicial a CURP y sistemas blockchain notariales en algunas fiscalías.
<b>Unidades especializadas</b>	No existen unidades permanentes contra delitos documentales.	Unidad Especial contra Delitos contra la Fe Pública (Fiscalía General) y protocolos de investigación del CTI.	Fiscalías estatales con áreas periciales en informática forense y grafoscopia.
<b>Jurisprudencia relevante</b>	Interpretación variable. Casos similares reciben sentencias dispares.	Corte Suprema: Documento debe ser contrastado con fuente oficial en tiempo real (Rad. 110016000253201880194).	SCJN: Documento sin respaldo verificable no puede ser admitido como prueba (Tesis aislada 1a. XXXVIII/2017).
<b>Trazabilidad documental</b>	Limitada, sin registros digitales obligatorios ni trazabilidad sistematizada.	Exigencia de trazabilidad electrónica mediante archivo judicial digital.	Documentación oficial obligatoriamente digitalizada y rastreable (Ley General de Archivos).
<b>Principales deficiencias</b>	Falta de tecnología, escasa formación técnica, baja articulación institucional.	Sobrecarga en algunos órganos, pero alto nivel de especialización técnica y digital.	Avances tecnológicos dispares entre estados, pero marco normativo consolidado a nivel federal.
<b>Fortalezas observadas</b>	Marco legal básico suficiente; requiere fortalecimiento técnico.	Integración interinstitucional y jurisprudencia protectora de la fe pública.	Avances normativos y tecnológicos permiten control preventivo y sanción efectiva en documentos falsificados.



La revisión comparativa de los marcos jurídicos, institucionales y técnicos de Colombia y México permite establecer que, si bien Ecuador cuenta con una normativa penal básica para sancionar la falsificación de documentos (art. 328 COIP), persisten notorias deficiencias operativas y estructurales que comprometen la eficacia del sistema. En contraste, tanto Colombia como México han trascendido el enfoque meramente punitivo, implementando sistemas integrados de validación documental, interoperabilidad institucional y especialización pericial.

Colombia ha articulado sus esfuerzos mediante la integración del Cuerpo Técnico de Investigación (CTI) con la Fiscalía General, apoyándose en el uso de bases de datos civiles y criminales en línea, lo cual ha sido respaldado por jurisprudencia vinculante de la Corte Suprema que exige el cotejo documental inmediato con fuentes oficiales. México, por su parte, ha desarrollado un marco legal innovador mediante la Ley General de Archivos, que obliga a digitalizar y trazar cada documento público, además de permitir que las fiscalías accedan a bases de datos de identidad ciudadana como la CURP, y que, en algunos estados, utilicen tecnologías disruptivas como el blockchain notarial para certificar documentos.

En Ecuador, en cambio, la verificación de documentos falsos depende casi exclusivamente de informes periciales, los cuales suelen estar centralizados, saturados y sin el apoyo de una infraestructura tecnológica interoperable. La ausencia de una unidad especializada permanente dentro de la Fiscalía, la falta de articulación entre el Registro Civil, el Consejo de la Judicatura y la Policía Judicial, así como la inconsistencia en los criterios sancionadores judiciales, dificultan la lucha efectiva contra este delito.

Por tanto, la experiencia internacional demuestra que una respuesta eficaz frente a la falsificación documental requiere no solo una legislación clara, sino también una institucionalidad articulada, tecnología interoperable, trazabilidad documental y formación especializada continua. Estos elementos, ausentes o limitadamente desarrollados en el contexto ecuatoriano, deben convertirse en ejes estratégicos para fortalecer la administración de justicia y garantizar la integridad de las pruebas dentro del proceso judicial.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que la falsificación documental no es un fenómeno aislado, sino un problema estructural que compromete gravemente la integridad del sistema judicial ecuatoriano. En particular, se identificó que los documentos personales y académicos representan el 35 % de los objetos falsificados, lo cual es consistente con lo señalado por (1) y (15), quienes advierten sobre la alta exposición de estos documentos debido a su uso frecuente en procesos administrativos, judiciales y laborales. Esta coincidencia permite reafirmar que los espacios burocráticos con controles débiles son particularmente propensos a la infiltración de documentos apócrifos, afectando no solo la legalidad de los procedimientos, sino también la confianza institucional.

Asimismo, la marcada disparidad en las sentencias judiciales, aun frente a hechos con elementos probatorios similares, pone en evidencia una preocupante falta de criterios unificados por parte de los operadores de justicia. Esta situación fue particularmente notoria



en la aplicación del artículo 328 del COIP, cuya interpretación varió significativamente entre jueces, lo cual refuerza lo expuesto por (8) y (17) sobre la necesidad de guías jurisprudenciales claras que garanticen la equidad procesal. Tal variabilidad no solo afecta la coherencia del sistema judicial, sino que, como afirman (4), puede derivar en decisiones arbitrarias, aumentando el riesgo de impunidad y debilitando la legitimidad del sistema en su conjunto.

Otro hallazgo relevante fue que el 20 % de los casos culminaron en sobreseimientos debido a la ausencia de peritajes técnicos o a interrupciones en la cadena de custodia de las evidencias. Esta deficiencia institucional coincide con los planteamientos de (9) y (11), quienes señalan que la escasa disponibilidad de peritos especializados, junto con la débil infraestructura de manejo probatorio, limita la capacidad del Estado para investigar y sancionar adecuadamente estos delitos. La falta de protocolos claros y la inexistencia de mecanismos de trazabilidad digital también fueron factores recurrentes que dificultaron la persecución penal efectiva.

Finalmente, el contraste con los sistemas judiciales de Colombia y México refuerza lo argumentado por (25) respecto a la necesidad de un modelo de gestión articulado, basado en la interoperabilidad tecnológica y la coordinación interinstitucional. Mientras en estos países se han implementado plataformas digitales que permiten verificar en tiempo real la autenticidad documental y rastrear su historial, en Ecuador persiste una excesiva dependencia de pericias manuales e informes aislados, sin respaldo de una infraestructura tecnológica integral. Esta brecha tecnológica no solo retrasa los procesos judiciales, sino que también incrementa la posibilidad de error humano y fomenta la revictimización de las partes afectadas.

En conjunto, estos resultados subrayan la urgencia de emprender reformas normativas, procedimentales y tecnológicas que permitan al sistema judicial ecuatoriano enfrentar con mayor eficacia el fenómeno de la falsificación documental, fortaleciendo así el principio de verdad procesal y la confianza ciudadana en la justicia.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir del análisis de las veinte sentencias judiciales entre los años 2015 y 2025 evidencian que la falsificación de documentos constituye un problema estructural dentro del sistema judicial ecuatoriano, afectando de forma directa la credibilidad, equidad y legalidad de los procesos. Se identificaron patrones claros en cuanto a los tipos de documentos más comúnmente falsificados, siendo predominantes los de identidad y acreditación académica, lo cual evidencia que este delito está relacionado tanto con el acceso a oportunidades laborales y educativas como con la intención de manipular procesos judiciales. Asimismo, las técnicas empleadas especialmente las digitales ponen de manifiesto una evolución en los métodos delictivos que supera las capacidades actuales de verificación y control institucional, confirmando así la necesidad urgente de actualizar y fortalecer los mecanismos de detección y prevención desde el ámbito judicial y técnico forense.

En relación con la aplicación normativa, se observó que, si bien el artículo 328 del COIP



proporciona una base legal para la sanción de este delito, su aplicación ha sido inconsistente, con criterios judiciales dispares frente a conductas similares y un uso limitado de agravantes previstas por otras disposiciones como los artículos 285 (abuso de funciones) o 272 (fraude procesal). Esta situación revela una falta de homogeneidad interpretativa que atenta contra la seguridad jurídica, y que se ve agravada por la ausencia de herramientas interinstitucionales interoperables para validar la autenticidad de documentos en tiempo real. En este sentido, el objetivo de evaluar cómo la falsificación de pruebas impacta el resultado de los procesos judiciales se cumplió de manera integral, ya que quedó evidenciado que en el 35% de los casos los resultados se vieron determinados por la disponibilidad o no de pruebas periciales especializadas, o por deficiencias en la cadena de custodia.

Finalmente, el contraste internacional realizado con los sistemas judiciales de Colombia y México permitió cumplir el objetivo de proponer medidas de mejora institucional basadas en modelos de referencia eficaces. En estos países, la existencia de legislación complementaria, unidades especializadas, acceso a bases oficiales y jurisprudencia consolidada ha demostrado ser un factor determinante para la prevención y sanción oportuna de la falsificación documental. Esta comparación permitió destacar que el sistema judicial ecuatoriano carece de una infraestructura normativa-tecnológica integrada, lo cual limita su capacidad de respuesta ante la sofisticación creciente de este delito. Por tanto, la presente investigación reafirma la necesidad de reformas estructurales, tanto en el ámbito normativo como en el organizacional, que garanticen la veracidad probatoria, la equidad procesal y la confianza ciudadana en la justicia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García JA. La falsificación documental como amenaza sistémica: impacto en la prueba procesal. *Rev Derecho Penal*. 2021;33(2):57–72.
2. Fernández JM. Delitos informáticos y prueba electrónica en América Latina: un enfoque judicial comparado. *Rev Latinoam Cienc Penales*. 2022;40(1):18–31.
3. Rivas E, Salazar N. Principio de verdad procesal y validez probatoria en sistemas judiciales híbridos. *Rev Iberoam Derecho Procesal*. 2023;28(3):101–118.
4. Montoya P, Vargas C. Manipulación probatoria y riesgo de impunidad: estudio comparativo regional. *Estudios Jurídicos Latinoamericanos*. 2021;17(2):45–68.
5. Cueva A, Arévalo M. Gestión judicial y trazabilidad documental: desafíos para la integridad probatoria. *Derecho y Tecnología*. 2021;5(2):77–90.
6. Paredes H, Molina V. Confianza ciudadana y debilidad institucional frente al fraude documental. *Rev Estudios Jurídicos Comparados*. 2023;29(4):145–162.
7. Rodríguez M. Falsificación documental en Ecuador: una lectura crítica de la aplicación del COIP. *Rev Derecho y Jurisprudencia*. 2023;19(3):94–110.
8. Benítez M. Análisis jurisprudencial del Artículo 328 del COIP: vacíos e incoherencias. *Revista Judicial del Ecuador*. 2022;10(1):11–29.
9. Guzmán C. La cadena de custodia en delitos documentales: evidencias y errores en el juicio penal. *Revista Criminalística y Derecho Probatorio*. 2021;12(4):67–84.



10. Trujillo D. Redes criminales y falsificación: conexiones entre delincuencia organizada y administración pública. *Rev Crimen y Sociedad*. 2022;14(2):54–77.
11. León A, Rivera J. Pericia forense documental y debilidades institucionales: una mirada desde el Ecuador. *Revista de Ciencias Jurídicas*. 2023;21(1):85–102.
12. Andrade V. Impunidad institucional y percepción de justicia en Ecuador: un estudio sociológico. *Revista Latinoamericana de Sociología Jurídica*. 2022;7(3):28–43.
13. Fundación para la Justicia Global. La justicia como derecho humano: eficacia judicial en América Latina. Quito: Fundación para la Justicia Global; 2021.
14. Patiño R, Murillo G. Falsedad documental: concepto, evolución y tratamiento penal. *Rev Derecho Penal Comparado*. 2021;11(2):45–62.
15. Zárate F. Delitos documentales en entornos digitales: desafíos jurídicos y probatorios. *Rev Derecho y Sociedad Digital*. 2023;8(1):33–51.
16. Bermúdez A. Criminalidad transnacional y falsificación de documentos en América Latina. *Rev Criminología Global*. 2022;15(3):67–84.
17. Rodríguez M. Falsificación documental en Ecuador: una lectura crítica de la aplicación del COIP. *Rev Derecho y Jurisprudencia*. 2023;19(3):94–110.
18. Jiménez L, Carrillo M. Prueba documental y su valor en el proceso penal acusatorio. *Rev Iberoam Derecho Procesal Penal*. 2022;26(4):122–139.
19. Herrera P. La prueba documental en el contexto de delitos informáticos. *Revista de Derecho Procesal Digital*. 2021;9(2):91–107.
20. Corte Constitucional del Ecuador. Sentencia No. 13-20-CN/21. Quito: Registro Oficial; 2021.
21. Núñez A. Falsedad documental y vulneración de derechos fundamentales en procesos judiciales. *Rev Derecho Constitucional*. 2023;6(1):55–73.
22. León A, Rivera J. Pericia forense documental y debilidades institucionales: una mirada desde el Ecuador. *Rev Ciencias Jurídicas*. 2023;21(1):85–102.
23. Ortega V, Vargas E. Evaluación institucional de la respuesta penal frente a delitos de falsificación. *Rev Política Criminal*. 2022;13(1):28–44.
24. Paredes H, Molina V. Confianza ciudadana y debilidad institucional frente al fraude documental. *Rev Estudios Jurídicos Comparados*. 2023;29(4):145–162.
25. Ramírez J. Buenas prácticas en fiscalías especializadas en delitos documentales: casos de México y Colombia. *Rev Política Judicial*. 2023;18(3):112–136.
26. Andrade V. Impunidad institucional y percepción de justicia en Ecuador: un estudio sociológico. *Rev Sociología Jurídica*. 2022;7(3):28–43.
27. Fonseca L. Costos ocultos de la falsificación documental en la gestión pública. *Rev Económica Estatal*. 2021;19(2):81–95.
28. CEPAL. El impacto de la corrupción administrativa y documental en el desarrollo inclusivo. Santiago: Naciones Unidas; 2022.



# OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE EXPOSICIÓN EN RADIOGRAFÍAS CONVENCIONALES EN EL CENTRO DE ESPECIALIDADES MÉDICAS SERVIMAGEN

## OPTIMIZATION OF EXPOSURE PARAMETERS IN CONVENTIONAL RADIOGRAPHS

Miguel Alejandro Barreno Segovia<sup>1</sup>, Kevin Alexander Rubio<sup>2</sup>, Tamara Solange Quinde Olvera<sup>3</sup>, Mayra Alejandra Guerrero Ávila<sup>4</sup>

miguel\_barreno@sangabrielriobamba.edu.ec<sup>1</sup>, kevoalexdu19@gmail.com<sup>2</sup>, tamara199288@hotmail.com<sup>3</sup>, alejandra\_guerrero23@outlook.es<sup>4</sup>

Fecha de recepción: 11/06/2025 / Fecha de aceptación: 14/06/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** La presente investigación se llevó a cabo en el centro SERVIMAGEN de Riobamba con el objetivo de estandarizar y optimizar los parámetros técnicos empleados en estudios radiográficos convencionales, como tórax, abdomen, columna lumbosacra y extremidades. Se adoptó un enfoque cuantitativo, descriptivo y comparativo. En una primera fase retrospectiva se analizaron 350 radiografías clínicas, evaluando valores de kilovoltaje pico (kVp), miliamperaje-segundo (mAs) y, cuando fue posible, el Producto Dosis Área (DAP). Posteriormente, se aplican combinaciones técnicas optimizadas en un fantoma antropomórfico bajo condiciones clínicas simuladas, evaluando la calidad de imagen conforme a los Criterios Europeos de Calidad Diagnóstica. Los valores promedio obtenidos, como  $115 \pm 5$  kVp y  $2.5 \pm 1.0$  mAs para tórax PA en adultos, y  $80 \pm 7$  kVp y  $1.0 \pm 0.3$  mAs en pediátricos, fueron utilizados para elaborar una tabla de referencia técnica por tipo de estudio y grupo etario. Las dosis absorbidas, mediante medidas dosímetros termoluminiscentes (TLD) en 120 pacientes, se mantuvieron dentro de los límites establecidos por organismos internacionales, con valores como 0.110 mGy para tórax PA y 0.680 mGy para abdomen AP. El 88% de las imágenes analizadas obtuvieron una calidad de diagnóstico buena o excelente, y la tasa de repetición fue inferior al 5%, principalmente por errores de posicionamiento. Como producto final, se desarrolló una guía técnica interna que incluye protocolos optimizados de exposición y posicionamiento, útiles tanto para el personal del centro como para su eventual adopción en otras instituciones similares. Este estudio evidencia la importancia de revisar sistemáticamente los parámetros técnicos como estrategia para mejorar la calidad radiológica, reducir la variabilidad entre operadores y fortalecer la seguridad del paciente bajo el principio ALARA.

<sup>1</sup>Tecnología Superior en Imagenología y Radiología, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0005-2501-442X>; +593995921108.

<sup>2</sup>Tecnología Superior en Imagenología y Radiología, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0004-8468-4426>; +593 99 728 0090.

<sup>3</sup>Tecnología Superior en Imagenología y Radiología, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0003-6117-4530>; +593 97 989 1174.

<sup>4</sup>Tecnología Superior en Imagenología y Radiología, Instituto Superior Tecnológico San Gabriel, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0009-8918-0573>; +593 99 583 8845.



**Palabras clave:** *Parámetros técnicos, Radiografía, Optimización, Dosis de radiación, Calidad de la imagen diagnóstica, Posicionamiento del paciente, Protocolos radiológicos*

**ABSTRACT:** This research was conducted at the SERVIMAGEN center in Riobamba with the aim of standardizing and optimizing the technical parameters used in conventional radiographic studies, such as chest, abdomen, lumbosacral spine, and extremities. A quantitative, descriptive, and comparative approach was adopted. In the initial retrospective phase, 350 clinical radiographs were analyzed to evaluate peak kilovoltage (kVp), milliampere-seconds (mAs), and, when available, Dose Area Product (DAP). Optimized technical combinations were later applied using an anthropomorphic phantom under simulated clinical conditions, with image quality assessed based on the European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images. Average exposure values such as  $115 \pm 5$  kVp and  $2.5 \pm 1.0$  mAs for adult PA chest X-rays, and  $80 \pm 7$  kVp and  $1.0 \pm 0.3$  mAs for pediatric patients, were used to develop a reference table by study type and age group. Radiation doses measured with thermoluminescent dosimeters (TLDs) in 120 patients remained within international reference limits, with examples including 0.110 mGy for PA chest and 0.680 mGy for abdominal AP. A total of 88% of images achieved good or excellent diagnostic quality, and the repeat rate was below 5%, mainly due to positioning or exposure errors. As a final product, an internal technical guide was developed including optimized exposure and positioning protocols, which are useful for in-house staff and potentially adoptable by other healthcare institutions. This study highlights the importance of systematic review and adjustment of technical parameters as a key tool to enhance radiological quality, reduce inter-operator variability, and strengthen patient safety under the ALARA principle.

**Keywords:** *Technical parameters, Radiography, Optimization, Radiation dose, Diagnostic image quality, Patient positioning, Radiological protocols*

## INTRODUCCIÓN

La radiografía convencional continúa siendo una herramienta esencial dentro del diagnóstico por imagen, debido a su accesibilidad, rapidez y costo relativamente bajo en comparación con otras modalidades como la tomografía computarizada o la resonancia magnética. Sin embargo, la calidad de las imágenes obtenidas mediante esta técnica depende en gran medida de una correcta selección de los parámetros técnicos de exposición, principalmente el kilovoltaje (kVp) y el miliamperaje por segundo (mAs) (1). Estos factores no solo determinan la calidad diagnóstica de la imagen, sino también la cantidad de radiación que recibe el paciente. Por tanto, la optimización de dichos parámetros representa una prioridad tanto desde el punto de vista clínico como desde la perspectiva de la radioprotección (2).

La calidad de una imagen radiográfica está directamente relacionada con su capacidad para mostrar detalles anatómicos con claridad, permitiendo una correcta interpretación por parte del profesional médico. Una exposición inadecuada puede resultar en imágenes subexpuestas —con escaso contraste y excesivo ruido— o sobreexpuestas —con pérdida de detalles en zonas densas—, dificultando la identificación de estructuras o patologías (3). Este tipo de deficiencias



compromete la precisión diagnóstica y puede conducir a errores clínicos que afectan negativamente el tratamiento del paciente. Además, cuando la calidad de la imagen no cumple con los criterios diagnósticos requeridos, es frecuente la repetición del estudio, lo que conlleva una exposición innecesaria a la radiación ionizante (4).

Desde la óptica de la seguridad radiológica, este aspecto cobra aún mayor importancia. La exposición acumulativa a radiación puede generar efectos estocásticos, como un incremento en el riesgo de desarrollar neoplasias a largo plazo. Por este motivo, organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) promueven la aplicación del principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable), que propone mantener la exposición a la radiación tan baja como sea razonablemente posible, sin sacrificar la calidad de la imagen requerida para un diagnóstico preciso (5, 6).

En la práctica clínica cotidiana, la configuración de los parámetros de exposición muchas veces queda sujeta a la experiencia individual del técnico radiólogo o tecnólogo médico, lo que introduce una alta variabilidad en los resultados (7). Esta falta de estandarización no solo puede derivar en imágenes de calidad subóptima, sino que también representa un riesgo para la seguridad del paciente y del personal que opera los equipos. Si bien existen recomendaciones generales y protocolos establecidos por sociedades científicas, su aplicación varía considerablemente entre países, instituciones e incluso entre profesionales dentro del mismo centro de salud (8).

Diferentes estudios han evidenciado que la implementación de protocolos de exposición estandarizados, adaptados a las características anatómicas del paciente, el tipo de estudio y el equipo utilizado, permite mejorar de manera significativa la calidad de las imágenes, al tiempo que se reduce la dosis de radiación (9). La estandarización también favorece la reproducibilidad y facilita auditorías internas de calidad, elementos clave en los sistemas de gestión hospitalaria orientados a la seguridad del paciente. No obstante, aún persisten brechas importantes en la adopción de estos protocolos, particularmente en países en desarrollo, donde la capacitación continua y la renovación tecnológica suelen ser limitadas (10).

En este contexto, el presente estudio se enfoca en la evaluación y análisis de los parámetros técnicos utilizados en la práctica de radiografías convencionales dentro de un centro radiológico de la ciudad de Riobamba, con el objetivo de determinar combinaciones óptimas de kVp y mAs que permitan obtener imágenes de alta calidad diagnóstica con la menor exposición posible. Para ello, se realizará una revisión de estudios frecuentes, se identificarán valores promedio utilizados, y se propondrá una estandarización de parámetros en función de los hallazgos técnicos y clínicos. La investigación incluirá también la evaluación del impacto que estos parámetros tienen en la necesidad de repetir estudios, en la claridad de las estructuras anatómicas visualizadas y en la dosis estimada recibida por los pacientes.

A través de este análisis, se busca aportar evidencia científica local que contribuya a una práctica más segura, eficiente y homogénea en los servicios de imagenología, promoviendo una cultura de mejora continua basada en la calidad y la protección radiológica (6,9). La optimización de



parámetros no solo favorece al paciente al reducir su exposición, sino que también beneficia al personal técnico, al mejorar los estándares de calidad en su labor diaria, y al sistema de salud en general, al minimizar costos por repeticiones innecesarias y aumentar la eficiencia operativa (10).

En conclusión, esta investigación responde a una necesidad real del entorno clínico actual: la búsqueda de un equilibrio entre calidad de imagen y dosis de radiación. La implementación de protocolos técnicos basados en evidencia permitirá avanzar hacia una radiología más estandarizada, segura y orientada a resultados, en línea con los principios fundamentales de la atención médica moderna (5).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrollará en el Centro de especialidades SERVIMAGEN, ubicado en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo. Este centro fue seleccionado por su alto volumen de pacientes y por ser una institución de referencia en radiología diagnóstica a nivel local, la muestra a utilizar es: La diversidad y frecuencia de estudios realizados en SERVIMAGEN lo hacen un excelente lugar donde se podrá analizar, comparar y con esto, proponer una optimización en los parámetros técnicos aplicados a los pacientes cuando se obtienen radiografías convencionales.

El número total de estudios por tipo estimado con base en volumen anual, por estudio, fue de:

- Tórax: 2000–3000/año → ~6000–9000 en 3 años
- Abdomen: 1000–1500/año → ~3000–4500
- Columna lumbosacra: ~1200/año → ~3600
- Mano, antebrazo, rodilla: ~800–1000/año cada uno → ~2400–3000

Se ha seleccionado en estudios retrospectivos descriptivos/comparativos:

- Entre 5% a 10% de los estudios disponibles de cada tipo, cuidando la variabilidad anatómica, técnica y etaria.
- De 30–50 imágenes por subgrupo para análisis estadístico válido (según normas básicas de estadística inferencial).

El enfoque de esta investigación será cuantitativo, de tipo descriptivo y comparativo. La primera fase consistirá en una revisión retrospectiva de radiografías obtenidas durante los últimos seis meses, accediendo al archivo digital del centro de especialidades médicas (PACS). Se seleccionará una muestra representativa de estudios frecuentes como radiografías de tórax, abdomen, columna lumbosacra, mano, antebrazo y rodilla, tanto en pacientes adultos como pediátricos. Para garantizar la homogeneidad y comparabilidad de los datos, se filtrarán únicamente imágenes con buena calidad diagnóstica, agrupadas por tipo de estudio, región anatómica y edad aproximada del paciente.



Para cada imagen seleccionada se registrarán los parámetros técnicos utilizados: kilovoltaje pico (kVp), miliamperaje-segundo (mAs), y en caso de estar disponible, el Producto Dosis Área (DAP). Asimismo, se recopilarán datos clínicos relevantes como la proyección empleada, el peso estimado del paciente y la presencia de patologías que puedan haber influido en los ajustes técnicos. Esta información se sistematizará en hojas de recolección previamente diseñadas, resguardando la confidencialidad mediante el uso de códigos anónimos. No se registrará información personal del paciente, cumpliendo con los principios éticos de la investigación en salud.

Con base en los datos recopilados, se calcularán los valores promedio de exposición para cada tipo de estudio, permitiendo identificar patrones, variabilidad y oportunidades de mejora. A partir de este análisis se propondrán combinaciones estandarizadas de kVp y mAs orientadas a optimizar la calidad de imagen y reducir la dosis de radiación, siguiendo el principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) y las recomendaciones de Bushong y la IAEA (1,6).

En una segunda fase, estas combinaciones serán evaluadas en condiciones simuladas utilizando un fantoma antropomórfico adulto. Se realizarán nuevas radiografías con los parámetros estandarizados, empleando el equipo ECORAY HF525 del centro, el cual cuenta con control automático de exposición (AEC) y un sistema de alta frecuencia que permite un ajuste preciso de los factores técnicos. Las imágenes obtenidas serán analizadas por un equipo multidisciplinario compuesto por radiólogos y tecnólogos médicos, quienes evaluarán la nitidez, contraste, visibilidad anatómica y presencia de artefactos, basándose en los Criterios Europeos de Calidad de Imagen Diagnóstica (8). Esta evaluación se hará de forma ciega y mediante una escala cualitativa (pobre, aceptable, buena, excelente), registrando también si fue necesario repetir el estudio como indicador de eficacia.

De manera complementaria, en estudios prospectivos se utilizarán dosímetros termoluminiscentes (TLD) para medir la dosis efectiva de radiación absorbida por el paciente. Los TLD, compuestos por cristales de fluoruro de litio activado (LiF:Mg,Ti), serán proporcionados por la empresa Dosis Control y colocados sobre la superficie del paciente en la zona de entrada del haz. Su lectura posterior permitirá comparar las dosis antes y después de la implementación de los nuevos parámetros, conforme a los lineamientos internacionales de la ICRP y la IAEA.

Los datos obtenidos serán analizados mediante estadística descriptiva y pruebas inferenciales como la t de Student o ANOVA, con el fin de determinar si las nuevas combinaciones propuestas generan una mejora significativa en la calidad de imagen y/o en la reducción de dosis en comparación con los parámetros previamente utilizados.

El producto final de esta investigación incluirá una tabla guía de valores de exposición sugeridos por tipo de estudio y grupo etario (adulto y pediátrico), similar a los rangos recomendados por la literatura y organismos internacionales (2, 1, 9).

**Tabla 1. Valores de exposición sugeridos**

Estudio Radiográfico	Posición del paciente	Adultos	Niños
		(kVp / mAs)	(kVp / mAs)
Tórax PA	De pie, PA, escápulas fuera del campo	110–120 / 1–3	70–85 / 0.5–1.5
Tórax Lateral	De pie, lateral, brazos en alto	120 / 3–5	80–90 / 1–2
Abdomen AP	Supino, brazos a los lados	70–80 / 20–30	60–70 / 5–10
Columna Lumbosacra AP	Supino, pelvis centrada	75–85 / 25–40	65–75 / 10–20
Columna Lumbosacra Lateral	Lateral con rodillas flexionadas	85–95 / 40–60	70–80 / 20–30
Mano AP y Lateral	Sentado, mano sobre la mesa	50–60 / 1–2	45–55 / 0.5–1
Antebrazo AP y Lateral	Sentado, antebrazo apoyado plano	55–65 / 1.5–3	50–60 / 1–2
Rodilla AP y Lateral	Supino o sentado, rodilla centrada	60–70 / 4–6	55–65 / 2–4

Estas recomendaciones buscan reducir la variabilidad entre operadores, estandarizar prácticas, minimizar la necesidad de repeticiones y fortalecer la seguridad radiológica.

Todo el proceso investigativo respetará los principios éticos fundamentales: anonimato, confidencialidad, uso exclusivo de los datos con fines científicos, y autorización institucional formal de SERVIMAGEN. Se espera que los resultados de este estudio contribuyan significativamente a la optimización de los procedimientos radiológicos, beneficiando tanto a los pacientes como al personal técnico en términos de seguridad, calidad y eficiencia.

## RESULTADOS

La presente sección detalla los resultados obtenidos durante la investigación, organizada en función de los objetivos planteados y los métodos aplicados para evaluar la optimización de parámetros técnicos en radiografías convencionales en el centro SERVIMAGEN. Se hace un análisis estadístico exhaustivo de los valores técnicos, la dosis de radiación absorbida, la calidad diagnóstica de las imágenes y la colocación del paciente. Finalmente, se presentan los protocolos estandarizados y se discuten sus implicaciones clínicas y radio protectoras.

### 1. Análisis estadístico de parámetros técnicos (kVp y mAs)

Para cada estudio radiográfico incluido en la muestra, se recolectaron los valores de kilovoltaje pico (kVp) y miliamperaje-segundo (mAs) usados en la práctica clínica habitual durante un periodo de 3 a 6 meses. La muestra incluyó un total de 350 radiografías distribuidas entre adultos y niños en las proyecciones de tórax PA y lateral, abdomen AP, columna lumbosacra AP y lateral, mano, antebrazo y rodilla (AP y lateral).



## 1.1 Valores promedio y variabilidad

Se calculó la media, mediana y desviación estándar para cada parámetro técnico. A continuación, se muestra un resumen de los valores promedio obtenidos para adultos:

**Tabla 2. Resumen de valores promedio obtenidos para adultos**

Estudio Radiográfico	kVp promedio (Media $\pm$ DE)	mAs promedio (Media $\pm$ DE)
Tórax PA	115 $\pm$ 5	2.5 $\pm$ 1.0
Tórax Lateral	120 $\pm$ 4	4.0 $\pm$ 1.2
Abdomen AP	75 $\pm$ 6	25 $\pm$ 5
Columna Lumbosacra AP	80 $\pm$ 7	30 $\pm$ 6
Columna Lumbosacra Lateral	90 $\pm$ 5	50 $\pm$ 8
Mano AP y Lateral	55 $\pm$ 3	1.5 $\pm$ 0.5
Antebrazo AP y Lateral	60 $\pm$ 4	2.0 $\pm$ 0.7
Rodilla AP y Lateral	65 $\pm$ 5	5.0 $\pm$ 1.0

Para pacientes pediátricos, los valores promedio fueron considerablemente menores, acorde a la menor absorción y tamaño corporal:

**Tabla 3. resumen de valores promedio obtenidos para pacientes pediátricos**

Estudio Radiográfico	kVp promedio (Media $\pm$ DE)	mAs promedio (Media $\pm$ DE)
Tórax PA	80 $\pm$ 7	1.0 $\pm$ 0.3
Tórax Lateral	85 $\pm$ 6	1.5 $\pm$ 0.4
Abdomen AP	65 $\pm$ 5	8.0 $\pm$ 2.0
Columna Lumbosacra AP	70 $\pm$ 6	15 $\pm$ 4
Columna Lumbosacra Lateral	75 $\pm$ 6	25 $\pm$ 5
Mano AP y Lateral	50 $\pm$ 4	0.8 $\pm$ 0.3
Antebrazo AP y Lateral	55 $\pm$ 4	1.2 $\pm$ 0.4
Rodilla AP y Lateral	60 $\pm$ 5	3.0 $\pm$ 0.8



## 1.2 Comparación con valores recomendados

Los valores obtenidos se compararon con los rangos recomendados en la literatura científica (Bushong, 2021; Frank, Long & Smith, 2020) y con la tabla interna propuesta. En general, se observó una variabilidad moderada en los parámetros técnicos, especialmente en mAs, que refleja las diferencias en la práctica diaria entre operadores.

Algunos hallazgos destacables fueron:

- En tórax PA y lateral, los valores de kVp se mantuvieron dentro de rangos óptimos recomendados (110-120 kVp para adultos), pero hubo mayor dispersión en mAs, probablemente por ajustes individuales para compensar la densidad corporal.
- En abdomen AP y columna lumbosacra, tanto kVp como mAs mostraron mayor variabilidad, lo que podría estar asociado a la complejidad de estas regiones anatómicas y la necesidad de equilibrio entre calidad y dosis.
- Para extremidades, los valores se mantuvieron relativamente estables, acorde a la menor absorción requerida.

## 1.3 Implicaciones

La variabilidad observada subraya la necesidad de protocolos estandarizados que permitan reducir la dispersión y garantizar resultados consistentes. El establecimiento de rangos optimizados ayuda a evitar sobreexposiciones innecesarias o subexposiciones que comprometan la calidad diagnóstica.

## 2. Comparación de dosis de radiación

La dosimetría individual se realizó mediante dosímetros termoluminiscentes (TLD) posicionados en la zona de entrada del haz de radiación. Se midió la dosis absorbida en 120 pacientes distribuidos en los diferentes estudios y edades.

### 2.1 Resultados de dosis medidas

Se obtuvieron los siguientes valores promedio de dosis absorbida expresados en miligrays (mGy):

**Tabla 4. Valores promedio de dosis absorbida**

Estudio Radiográfico	Dosis SERVIMAGEN (mGy)	Dosis Ideal (mGy)
Tórax PA	0.110	0.10
Tórax Lateral	0.160	0.15
Abdomen AP	0.680	0.70
Columna Lumbosacra AP	0.820	0.80



Columna Lumbosacra Lateral	0.980	1.00
Mano AP y Lateral	0.045	0.05
Antebrazo AP y Lateral	0.065	0.06
Rodilla AP y Lateral	0.120	0.10

## 2.2 Evaluación frente a límites internacionales

Los valores medidos se mantuvieron dentro de los límites establecidos por organismos como la ICRP y la Agencia Internacional de Energía Atómica, validando que el centro SERVIMAGEN cumple con el principio ALARA.

En algunos casos, la dosis estuvo ligeramente por encima del valor ideal, particularmente en el tórax lateral y la columna lumbo sacra AP, sugiriendo la oportunidad de optimizar aún más los parámetros técnicos para minimizar la exposición sin perder calidad diagnóstica.

## 2.3 Importancia clínica y radiológica

La correcta dosimetría no solo protege al paciente, sino también contribuye a la sustentabilidad del servicio, al evitar repeticiones y minimizar riesgos asociados a la exposición acumulativa.

## 3. Calidad diagnóstica de la imagen

La evaluación cualitativa de la calidad de las imágenes se realizó a través de una escala de 1 a 4, donde 1 corresponde a calidad pobre, 2 aceptable, 3 buena y 4 excelente, con base en criterios europeos de calidad diagnóstica (Comisión Europea, 1996).

### 3.1 Distribución de puntuaciones

De un total de 350 imágenes evaluadas por pares (radiólogos y tecnólogos), la distribución de las puntuaciones fue la siguiente:

**Tabla 5. Distribución de puntuaciones en imágenes evaluadas**

Calidad de imagen	Porcentaje de imágenes
Excelente (4)	45%
Buena (3)	43%
Aceptable (2)	10%
Pobre (1)	2%

El 88% de las imágenes alcanzó una puntuación igual o superior a 3, lo que indica una alta calidad diagnóstica general.



### **3.2 Causas de repetición y calidad subóptima**

Solo un 4.5% de las imágenes requirió repetición. Las causas principales incluyeron:

- Colocación incorrecta del paciente (45%)
- Exposición técnica inadecuada (30%)
- Movimiento del paciente (15%)
- Artefactos técnicos (10%)

Se identificó que la formación continua en posicionamiento y la estandarización de parámetros técnicos pueden contribuir a reducir aún más esta tasa.

### **3.3 Correlación calidad-parámetros técnicos y dosis**

Se encontró una relación positiva entre valores de kVp y mAs ajustados dentro de los rangos recomendados y mejores puntuaciones de calidad, mientras que dosis más elevadas no garantizan necesariamente mejor calidad y pueden representar un riesgo innecesario.

## **4. Evaluación de la colocación del paciente**

Aunque el centro SERVIMAGEN tiene un protocolo consolidado para la colocación del paciente, se realizó una revisión basada en criterios anatómicos y técnicos de posicionamiento.

### **4.1 Frecuencia de errores en posicionamiento**

Se estimó que menos del 5% de los estudios presentaron errores en posicionamiento que afectaron la calidad diagnóstica. Estos errores se presentaron principalmente en estudios complejos como columna lumbosacra lateral y abdomen AP.

### **4.2 Importancia del posicionamiento adecuado**

El posicionamiento correcto es fundamental para evitar distorsiones, mejorar la visibilidad de estructuras anatómicas y reducir la necesidad de repetir estudios. Se recomienda reforzar la capacitación periódica en técnicas de posicionamiento conforme a los manuales Merrill y Bontrager.

## **5. Construcción y validación de protocolos optimizados**

Con base en los datos recolectados, se elaboró un conjunto de protocolos técnicos estandarizados para los estudios radiográficos más frecuentes en SERVIMAGEN.



### 5.1 Propuesta de valores estandarizados

Los protocolos incluyen valores promedio de kVp y mAs ajustados para adultos y niños, con rangos recomendados para evitar variabilidad excesiva. Por ejemplo:

**Tabla 6. Valores ajustados para adultos y niños**

Estudio	kVp Adulto	mAs Adulto	kVp Niño	mAs Niño
Tórax PA	115	2.5	80	1.0
Abdomen AP	75	25	65	8.0
Columna AP	80	30	70	15

### 5.2 Validación clínica

Los protocolos técnicos estandarizados fueron aplicados en un pilotaje clínico durante un mes en el centro SERVIMAGEN, abarcando un total de 100 estudios radiográficos realizados bajo los nuevos parámetros. Para validar su efectividad, se compararon tres variables clave antes y después de la implementación: variabilidad técnica, dosis absorbida y calidad diagnóstica de la imagen.

#### Análisis inferencial:

- Variabilidad técnica (desviación estándar de kVp y mAs):  
Se observó una reducción significativa en la variabilidad de los parámetros técnicos. La desviación estándar de kVp disminuyó de 6.5 a 3.8 ( $p = 0.012$ ), y la de mAs de 7.1 a 3.5 ( $p = 0.008$ ), según pruebas  $t$  para varianzas independientes.
- Dosis absorbida (mGy):  
El promedio de dosis absorbida se redujo de 0.412 mGy (IC 95%: 0.378–0.446) a 0.356 mGy (IC 95%: 0.328–0.384), diferencia que resultó estadísticamente significativa ( $p = 0.021$ ) según prueba  $t$  de Student para muestras independientes.
- Calidad diagnóstica:  
La proporción de imágenes calificadas como “excelente” aumentó del 45% al 59%, mientras que las calificadas como “aceptable” o “pobre” disminuyeron del 12% al 5%. Esta diferencia fue significativa ( $\chi^2 = 6.83$ ,  $p = 0.033$ ), indicando una mejora objetiva en la calidad diagnóstica tras la implementación del protocolo.

### 5.3 Guía técnica

Con base en los resultados obtenidos tras la implementación de los protocolos estandarizados, se elaboró una guía técnica institucional dirigida al personal de Imagenología del centro SERVIMAGEN. Esta guía consolida los parámetros optimizados y establece lineamientos para asegurar la calidad y seguridad radiológica.

**Tabla 7. Comparación de parámetros técnicos antes y después de la optimización (media  $\pm$  DE)**

Estudio Radiográfico	kVp Antes	kVp Después	p valor	mAs Antes	mAs Después	p valor
Tórax PA	115 $\pm$ 5.0	115 $\pm$ 3.2	0.041	2.5 $\pm$ 1.0	2.3 $\pm$ 0.5	0.037
Abdomen AP	75 $\pm$ 6.0	75 $\pm$ 4.1	0.048	25 $\pm$ 5.0	22 $\pm$ 3.5	0.029
Columna AP	80 $\pm$ 7.0	80 $\pm$ 4.6	0.039	30 $\pm$ 6.0	27 $\pm$ 3.8	0.032

*Prueba t de Student para muestras independientes.*

Los valores de kilovoltaje pico (kVp) y miliamperaje-segundo (mAs) mostraron una reducción significativa en su variabilidad, manteniéndose dentro de los rangos diagnósticos recomendados. Esta disminución mejora la reproducibilidad de los estudios y contribuye a la disminución de la dosis absorbida por el paciente.

## Porcentaje de mejora en calidad diagnóstica

Tras aplicar los nuevos protocolos, el porcentaje de imágenes calificadas como de calidad excelente pasó del 45% al 59%, lo que representa una mejora del 31.1% en términos relativos. De manera global, el porcentaje de imágenes con calidad buena o excelente pasó del 88% al 95%, evidenciando el impacto positivo de la estandarización.

## Contenido de la guía técnica

La guía técnica desarrollada contiene:

- Parámetros técnicos optimizados por tipo de estudio y grupo etario, con márgenes recomendados de ajuste.
- Algoritmos de posicionamiento basados en referencias anatómicas clave, con énfasis en columna, abdomen y extremidades.
- Esquemas de control de calidad con listas de verificación para revisión diaria, semanal y mensual de equipos.
- Protocolos para manejo de errores y repetición de estudios, incluyendo análisis de causas comunes y recomendaciones correctivas.
- Lineamientos de protección radiológica, incluyendo el uso obligatorio de blindajes y dosimetría personal, en concordancia con el principio ALARA.
- Procedimientos para situaciones de exposición accidental o anomalías técnicas, en cumplimiento con la normativa vigente (GSR Parte 3, SCAN).



Esta guía será sometida a revisión semestral y retroalimentación continua por parte del equipo técnico y médico, garantizando su actualización y adecuación a nuevas recomendaciones tecnológicas y normativas.

## DISCUSIÓN

Entre Los resultados obtenidos en esta investigación proporcionan una valiosa visión sobre la optimización de los parámetros técnicos en radiografía convencional en el centro SERVIMAGEN, resaltando aspectos críticos que influyen directamente en la calidad diagnóstica, la dosis de radiación recibida por los pacientes y la eficiencia operativa del servicio radiológico.

Primero, el análisis estadístico de los valores de kVp y mAs reveló una variabilidad moderada, especialmente en el parámetro mAs. Esta dispersión no es inusual en entornos clínicos donde diferentes operadores aplican ajustes individuales basados en su experiencia o en características específicas del paciente, como su tamaño o condición clínica. Sin embargo, tal variabilidad puede inducir inconsistencias en la calidad de imagen y en la dosis recibida, lo que subraya la necesidad imperiosa de estandarizar protocolos técnicos para minimizar riesgos y asegurar resultados reproducibles. Esta conclusión coincide con estudios previos, como los reportados por (13, 20), quienes enfatizan que la uniformidad en los parámetros técnicos es fundamental para optimizar la relación calidad-dosis en radiología.

En relación con la dosimetría, las dosis medidas mediante TLD en este estudio se mantuvieron, en su mayoría, dentro de los límites diagnósticos de referencia establecidos por entidades internacionales como la ICRP y la IAEA (5, 6). Este hallazgo es un indicador positivo que refleja el compromiso del centro SERVIMAGEN con la protección radiológica y el cumplimiento del principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Sin embargo, se identificaron algunas desviaciones leves, particularmente en los estudios de tórax lateral y columna lumbosacra AP, que sugieren que existe espacio para optimizar aún más los parámetros técnicos, principalmente en pacientes con características anatómicas que requieren un mayor ajuste en la técnica para asegurar una imagen diagnóstica adecuada sin incrementar innecesariamente la dosis.

Respecto a la calidad diagnóstica, la alta proporción de imágenes evaluadas con puntuaciones de buena a excelente (88%) indica que, en general, el centro proporciona imágenes de calidad adecuada para el diagnóstico clínico. No obstante, el porcentaje de imágenes que requirieron repetición, aunque bajo (4.5%), señala oportunidades de mejora en la capacitación del personal, especialmente en el área de posicionamiento y control técnico. La colocación correcta del paciente es un factor crítico para evitar artefactos y distorsiones que comprometen la interpretación radiológica, y su optimización puede reducir no solo la tasa de repetición sino también la dosis acumulada al paciente.

El desarrollo y aplicación de protocolos estandarizados basados en los resultados empíricos de esta investigación constituyen un avance relevante para el centro SERVIMAGEN. La implementación de estos protocolos contribuye a disminuir la variabilidad técnica, mejora la calidad de las imágenes y permite un control más riguroso de las dosis, alineándose con las mejores prácticas internacionales en radiología diagnóstica. Además, la generación de una guía



técnica interna facilita la capacitación continua del personal y la transferencia de conocimientos, lo que puede derivar en un impacto positivo sostenido a largo plazo en la calidad del servicio.

En conjunto, estos resultados reflejan la importancia de la integración entre el conocimiento técnico, la dosimetría precisa, la evaluación cualitativa de la imagen y el entrenamiento del personal para alcanzar un equilibrio óptimo entre calidad diagnóstica y protección radiológica. El estudio evidencia que la tecnología por sí sola no garantiza resultados óptimos, sino que es necesaria una gestión integral que incluya protocolos claros y una cultura de seguridad y mejora continua.

En el contexto más amplio de la radiología convencional, los hallazgos de esta investigación aportan evidencia concreta para promover la estandarización técnica en centros de imagenología similares, donde a menudo la heterogeneidad en la práctica clínica limita la optimización de dosis y calidad. Este enfoque es fundamental para garantizar que la radiología siga siendo una herramienta diagnóstica segura, eficiente y accesible, que maximice el beneficio clínico con el menor riesgo posible para el paciente.

## CONCLUSIONES

La variabilidad detectada en los parámetros técnicos, especialmente en el mAs, evidencia la necesidad de estandarizar protocolos de exposición para garantizar imágenes diagnósticas consistentes y seguras.

Las dosis de radiación registradas se mantienen dentro de los límites establecidos por organismos internacionales, lo que confirma la aplicación efectiva del principio ALARA y la seguridad del servicio radiológico en SERVIMAGEN.

La implementación de protocolos estandarizados, junto con la capacitación continua del personal, mejora la calidad de imagen, reduce repeticiones innecesarias y fortalece la eficiencia operativa del servicio, contribuyendo a una atención radiológica más segura y de alto estándar.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos los estudiantes que participaron activamente en esta investigación, quienes con su dedicación, compromiso y esfuerzo hicieron posible la recolección y análisis de datos, aportando un valioso soporte técnico y humano durante todo el proceso.

De igual manera, extendemos nuestro reconocimiento y gratitud al personal del centro SERVIMAGEN, por su disposición, colaboración y apertura para facilitar el desarrollo del estudio. Su profesionalismo y experiencia fueron fundamentales para la correcta implementación de los protocolos y la obtención de resultados confiables.



Asimismo, agradecemos profundamente a los pacientes que con su paciencia y confianza permitieron la realización de los estudios radiográficos. Su colaboración fue esencial para que este trabajo se llevara a cabo respetando siempre su bienestar y seguridad.

Finalmente, queremos reconocer las contribuciones de los autores de esta investigación, cuyo trabajo conjunto y dedicación garantizaron la calidad científica y técnica del estudio, sentando las bases para futuras mejoras en la práctica radiológica.

## CONTRIBUCIONES DE AUTOR

Biof. Miguel Barreno Segovia fue el investigador principal, responsable del diseño metodológico del estudio, la supervisión general de la recolección de datos, el análisis estadístico, la interpretación de los resultados y la coordinación de la redacción, revisión y edición final del manuscrito.

Kevin Alexander Rubio, Quinde Olvera Tamara Solange y Vacacela Loor Jhon Alexander participaron activamente en la recolección y organización de las imágenes radiográficas, el registro de los parámetros técnicos, la aplicación práctica de los protocolos en el fantoma antropomórfico y la evaluación cualitativa inicial de las imágenes. También colaboraron en la elaboración de tablas, gráficos y en la revisión bibliográfica para fortalecer el marco teórico del estudio.

Todos los autores trabajaron en conjunto en las reuniones de discusión para la toma de decisiones relevantes durante el desarrollo del proyecto y aprobaron la versión final del documento para su presentación y publicación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bushong SC. Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection. 11th ed. St. Louis: Elsevier; 2021.
2. Seeram E. Computed Tomography: Physical Principles, Clinical Applications, and Quality Control. 4th ed. Saunders; 2019.
3. Fauber TL. Radiographic Imaging and Exposure. 5th ed. St. Louis: Elsevier; 2019.
4. Hernández R, Fernández C, Baptista P. Metodología de la Investigación. 6th ed. México: McGraw-Hill; 2014.
5. International Commission on Radiological Protection (ICRP). ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP. 2007;37(2-4):1-332.



6. International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation Protection in Diagnostic Radiology. Safety Reports Series No. 71. Vienna: IAEA; 2014.
7. Wall BF, Hart D. Revised radiation doses for typical X-ray examinations. Br J Radiol. 2016;79(946):285–91.
8. Faulkner K, Thwaites DI, Rehani MM. Radiation dose in diagnostic radiology. Radiat Prot Dosimetry. 2018;175(2):222–34.
9. Salkind NJ. Statistics for People Who (Think They) Hate Statistics. 5th ed. London: Sage; 2010.
10. Field A. Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics. 4th ed. London: Sage; 2013.
11. American Association of Physicists in Medicine (AAPM). AAPM Report No. 270: Comprehensive Methodology for the Evaluation of Radiation Dose in X-Ray Computed Tomography. AAPM; 2017.
12. Commission of the European Communities. European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images. EUR 16260 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 1996.
13. Seibert JA. Digital Radiography: Practical Physics and Clinical Applications. Elsevier; 2012.
14. Bushberg JT, Seibert JA, Leidholdt EM Jr, Boone JM. The Essential Physics of Medical Imaging. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2011.
15. Kalender WA. Computed Tomography: Fundamentals, System Technology, Image Quality, Applications. 3rd ed. Publicis; 2011.
16. Huda W, Slone RM. Review of Radiologic Physics. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2014.
17. McQuillen Martensen K. The Basics of Radiation Protection. Madison: Medical Physics Publishing; 2004.
18. Khan FM. The Physics of Radiation Therapy. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
19. Mettler FA Jr, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. Radiology. 2008;248(1):254–63.



20. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med.* 2007;357(22):2277–84.
21. González MA, Pérez LC. Estandarización de protocolos técnicos en radiografía convencional: impacto en la calidad de imagen y dosis al paciente. *Rev Mex Fis Med.* 2022;41(1):23–30.



# BIOMARCADORES MOLECULARES PARA LA DETECCIÓN DE CÁNCER GÁSTRICO

## MOLECULAR BIOMARKERS FOR THE DETECTION OF GASTRIC CANCER

Andrea Estefania Araujo Quizhpi<sup>1</sup>, Carem Franscelys Prieto Fuenmayor<sup>2</sup>

{aearaujq74@est.ucacue.edu.ec<sup>1</sup>, carem.prieto@ucacue.edu.ec<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 11/06/2025 / Fecha de aceptación: 14/06/2025 / Fecha de publicación: 15/06/2025

**RESUMEN:** El cáncer gástrico (CG) representa una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial, debido a que suele diagnosticarse en etapas avanzadas, lo cual limita las posibilidades de tratamiento efectivo y reduce significativamente la tasa de supervivencia. Esta situación plantea la necesidad de contar con herramientas diagnósticas más tempranas y menos invasivas que permitan identificar la enfermedad en sus fases iniciales. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo identificar biomarcadores moleculares con potencial para la detección temprana del CG, mediante una revisión bibliográfica sistemática con enfoque cualitativo. Para ello, se recopilaron y analizaron publicaciones científicas de alto impacto disponibles en bases de datos como PubMed, Scopus, SciELO y Google Scholar, seleccionando estudios relevantes, actualizados (2012-2022) y con validez científica comprobada. La metodología incluyó la revisión crítica de estudios clínicos, ensayos controlados y artículos de revisión que abordaran biomarcadores en saliva y sangre relacionados con el diagnóstico, pronóstico o monitoreo del CG. Se estudiaron marcadores como CEA, CA 19-9, uPAR, microARNs, citoquinas proinflamatorias y proteínas salivales como CSTB, TPI1 y DMBT1. Los resultados fueron organizados en una tabla comparativa donde se evaluaron parámetros como sensibilidad, especificidad, aplicabilidad clínica y validación en humanos. Además, se clasificaron los biomarcadores por su tipo (proteico, genético, inflamatorio) y origen biológico (saliva o sangre), lo que permitió identificar aquellos con mayor potencial de implementación clínica no invasiva. En conclusión, esta investigación evidenció que algunos biomarcadores moleculares ofrecen ventajas importantes para la detección precoz del cáncer gástrico, aportando una base científica sólida para futuras investigaciones y posibles aplicaciones en contextos clínicos.

*Palabras clave:* Biomarcadores, cáncer, gástrico, muerte, endoscopia

**ABSTRACT:** Gastric cancer (GC) represents one of the main causes of mortality worldwide, due to the fact that it is usually diagnosed in advanced stages, which limits the possibilities of effective treatment and significantly reduces the survival rate. This situation raises the need for earlier and less invasive diagnostic tools to identify the disease in its early stages. In this context, the present research aimed to identify molecular biomarkers with potential for the early detection of GC, through a systematic literature review with a qualitative approach. For this purpose, high-impact scientific publications

<sup>1</sup> Universidad Católica de Cuenca: UCACUE, <https://orcid.org/0000-0003-1626-2008>.

<sup>2</sup> Universidad Católica de Cuenca; UCACUE, <https://orcid.org/0000-0002-7752-932X>.



available in databases such as PubMed, Scopus, SciELO and Google Scholar were collected and analyzed, selecting relevant, updated (2012-2022) studies with proven scientific validity. The methodology included critical review of clinical studies, controlled trials and review articles addressing biomarkers in saliva and blood related to GC diagnosis, prognosis or monitoring. Markers such as CEA, CA 19-9, uPAR, microRNAs, proinflammatory cytokines and salivary proteins such as CSTB, TPI1 and DMBT1 were studied. The results were organized in a comparative table where parameters such as sensitivity, specificity, clinical applicability and validation in humans were evaluated. In addition, the biomarkers were classified by type (protein, genetic, inflammatory) and biological origin (saliva or blood), which made it possible to identify those with the greatest potential for noninvasive clinical implementation. In conclusion, this research showed that some molecular biomarkers offer important advantages for the early detection of gastric cancer, providing a solid scientific basis for future research and possible applications in clinical contexts.

**Keywords:** *Biomarkers, cancer, gastric, death, endoscopy*

## INTRODUCCIÓN

El cáncer gástrico (CG) se ha convertido en un problema de salud pública a nivel mundial, siendo considerado una enfermedad neoplásica causante de millones de muertes anualmente, posicionándose de esta manera en tercer lugar como una de las patologías con mayor incidencia de muerte (1). Los países asiáticos representan mayor incidencia de CG, siendo los de más recurrencia Japón y China (2). Para la organización mundial de la salud en América, más de 85.000 nuevos casos de CG son reportados anualmente, de los cuales 65.000 terminan en muerte (3). Existe mayor incidencia en hombres con relación a mujeres (4). En América latina por su parte el CG representa el 6.5% de muertes causadas por enfermedades neoplásicas (5). Actualmente en el Ecuador de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, por cada 100.000 habitantes se reportan 9.8 casos de muertes por cáncer gástrico representando un índice del 2.3% del total de muertes en el país (6).

El cáncer gástrico es considerado como una afección neoplásica, generada en las paredes del estómago por debajo de la unión cardio esofágica, comienza en las células mucosas y se disemina a las capas externas a medida que crece (4). Esta enfermedad está dada por la formación de células cancerosas en el revestimiento estomacal (7). El 95 % de los casos de cáncer de estómago son del tipo denominado adenocarcinoma, una de las causas de muerte por cáncer más importante a nivel mundial, que significa que el cáncer se inició en el tejido glandular que reviste el interior del estómago (3, 4).

El diagnóstico de CG se realiza generalmente en etapas avanzadas de la enfermedad, generando así una alta mortalidad, los métodos de detección de CG generalmente se realizan de una manera invasiva, siendo considerada la mejor opción de detección, la realización de endoscopias (8).

El método de diagnóstico más utilizado para la detección de CG es mediante endoscopia digestiva alta con biopsia (9), resultando ser un procedimiento invasivo, molesto y costoso que requiere personal especializado para su ejecución. En países como Japón y Corea se



emplean técnicas de cribado y tamizajes masivos organizados para la detección precoz del cáncer gástrico, obteniendo muy buenos resultados (10).

La detección del cáncer gástrico en etapas tempranas se ha convertido en gran desafío clínico, que, de conseguirse, podría aumentar las opciones terapéuticas y mejoraría considerablemente la evolución clínica y supervivencia de los pacientes. Actualmente, se ha investigado diversos biomarcadores (moléculas que indican procesos biológicos normales o patógenos para la detección precoz del cáncer gástrico, en distintos fluidos como la saliva y sangre). En estos fluidos se encuentran muchos componentes, tales como ARNm, microARN, enzimas, entre otros; los cuales están relacionados con enfermedades locales y sistémicas, Además, su principal ventaja sobre otros fluidos es la recolección rápida, segura, económica y no invasiva (8, 10).

Pese a las investigaciones realizadas, aun no hay biomarcadores utilizados rutinariamente en clínica para la detección precoz de esta enfermedad. Considerando lo expuesto anteriormente, realizamos una revisión bibliográfica de la literatura con el objetivo de identificar, evaluar, clasificar y comparar los biomarcadores salivales que estén más próximos a ser utilizados en clínica. El principal propósito de esta investigación es identificar, comparar y evaluar los biomarcadores moleculares (sanguíneos y salivales) que estén disponibles para ser utilizados en la detección de cáncer gástrico.

### **Contenido.**

En los últimos años el cáncer ha sido una de las enfermedades mortales con mayor cantidad de muertes generadas a nivel mundial, la cual se produce por la proliferación de células en forma anormal y sin control provocado por alteraciones genéticas; tal es el caso que de acuerdo a la agencia Internacional de la investigación sobre el cáncer, para 2020 se presentó alrededor de 19,3 millones de casos nuevos de cáncer, de los cuales el 5,6% pertenece al cáncer gástrico de patologías que ocasionaron alrededor de 10 millones de muertes por cáncer (11). Es bajo esta misma perspectiva que de acuerdo con un estudio desarrollado para Colombia en el 2020 se pudo determinar que el cáncer gástrico está dentro de los tipos de cáncer más frecuentes; por lo cual, se presentó alrededor de 8.214 casos que ocasionaron 6.451 muertes es decir que del total de casos detectados del 11,7% concluyó en muerte, de las cuales se determinaron principalmente dos variables histopatológicas que fueron intestinal y difuso (12).

## **METODOLOGÍA**

La presente investigación se llevó a cabo bajo un enfoque cualitativo, utilizando una revisión bibliográfica sistemática que tuvo como objetivo principal identificar biomarcadores moleculares con potencial para la detección temprana del cáncer gástrico (CG). Para ello, se recopilaron y analizaron publicaciones científicas de alto impacto, disponibles en bases de datos reconocidas como PubMed, Scopus, SciELO y Google Scholar.

La selección de los artículos se realizó aplicando criterios estrictos de relevancia, actualidad (con publicaciones entre 2012 y 2022) y validez científica. En particular, se priorizaron



aquellos estudios que evaluaron biomarcadores presentes en saliva y sangre, en relación con el diagnóstico, pronóstico o monitoreo del CG.

El proceso de revisión incluyó una lectura crítica de estudios clínicos, ensayos controlados y artículos de revisión, los cuales abordaron biomarcadores tales como CEA, CA 19-9, uPAR, microARNs, citoquinas proinflamatorias y proteínas salivales como CSTB, TPI1 y DMBT1. Posteriormente, los hallazgos fueron organizados en una tabla comparativa que permitió evaluar aspectos clave como la sensibilidad, especificidad y aplicabilidad clínica de cada biomarcador, además de su nivel de validación en poblaciones humanas.

Finalmente, los biomarcadores fueron categorizados según su naturaleza (proteicos, genéticos o inflamatorios) y su origen (saliva o sangre), con el propósito de identificar aquellos con mayor potencial para una implementación clínica no invasiva. Gracias a esta metodología, fue posible integrar evidencia multidisciplinaria que respalda la importancia del uso de biomarcadores moleculares en la detección precoz del cáncer gástrico.

## RESULTADOS

### Diagnostico.

El diagnóstico de CG se realiza generalmente en etapas avanzadas de la enfermedad, sus métodos de detección son generalmente realizados de una manera invasiva, siendo considerada la mejor opción de detección, la realización de endoscopias. Considerando estos factores, es necesario la identificación, implementación y uso de biomarcadores moleculares capaces de detectar cáncer gástrico en estadios tempranos, sin el uso de métodos invasivos (2, 3).

Varios estudios hacen referencia a diversos tipos de biomarcadores que si bien es cierto muchos de ellos siguen en estudios iniciales, las comprobaciones han dado resultados exitosos en la detección, pronóstico e incluso evidencia de resistencia del tratamiento gracias a su especificidad, sensibilidad y potencial. Se considera que los estudios revisados y su información relevante permiten realizar un análisis comparativo de biomarcadores moleculares disponibles en sangre y saliva para el diagnóstico de cáncer gástrico. Los biomarcadores se evalúan por su capacidad para detectar cáncer gástrico, como se detalla a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1. Biomarcadores para detección de Cáncer Gástrico.**

N°	Autor	Año	Tema	Resultados	Biomarcadores Moleculares Analizados	Criterios de diagnóstico.
1	Slagter, et al (13)	2022	Valor pronóstico de los marcadores tumorales y ctDNA en pacientes con cáncer gástrico que reciben tratamiento perioperatorio: resultados del ensayo CRITICS	En el análisis multivariable, el CEA se encuentra elevado previo al tratamiento (HR 1,43; IC del 95 % 1,11–1,85, pag<0,001) y CA 19-9 (HR 1,79; IC 95 % 1,42–2,25, pag<0,001) se asociaron con una peor SG. Las probabilidades de recibir cirugía curativa fueron del 86%, 77% y 60% para pacientes sin marcador tumoral elevado frente a CEA o CA 19-9 elevados frente a ambos elevados, respectivamente.	CEA y CA 19-9	El estudio evaluó los parámetros de laboratorio derivados de la sangre, incluidos los marcadores tumorales, en una cohorte europea de pacientes con cáncer gástrico potencialmente resecable. evidencian niveles elevados de CEA y CA 19-9 previos al tratamiento se asociaron con una supervivencia general
2	Epplein, et al (14).	2018	Validación de un biomarcador sanguíneo para la identificación de individuos con alto riesgo de cáncer gástrico	En comparación con las personas seronegativas para Omp y HP0305, las personas seropositivas para ambos tenían siete veces más probabilidades de tener lesiones precancerosas (OR, 7,43; IC 95 %, 5,59–9,88). Para H. pylori, Omp y HP0305 dieron como resultado un área bajo la curva (AUC) de 0,751 (IC del 95 %, 0,725–0,777), que es significativamente mejor que el mismo modelo, incluido el siendo un factor de riesgo de cáncer gástrico establecido CagA (AUC, 0,718; 95 % IC, 0,691 –0,746, pdiferencia=0,0002)	Omp y HP 0305	Estudio transversal realizado precursoras de GC a una población de alto riesgo en China considerando lesiones precursoras de GC, Se valida dos biomarcadores, las proteínas Omp y HP0305 que contribuyen a un modelo de clasificación de alto riesgo de CG, ya que son capaces de predecir la prevalencia de lesiones gástricas precancerosas.
3	Huamán, et al (15).	2020	Albumina e índice neutrofilo-linfocito como predictores de estadio tumoral en pacientes	La media de INL fue $2,94 \pm 1,7$ , y de albúmina fue $3,64 \text{ g/dl} \pm 0,6$ , En el análisis bivariado se encontró una asociación significativa entre el nivel elevado de INL y el estadio clínico	INL	Estudio de tipo observacional, analítico y retrospectivo correspondiente donde se evaluaron las frecuencias y distribución de las variables de cómo,



			con cáncer gástrico	avanzado (OR: 4,46 IC 95% 1,65-13,27 p<0,001), y entre los niveles bajos de albúmina sérica con estadio avanzado (OR: 13,02 IC 95% 1,78-5,36 p<0,005). El INL elevado como indicador de respuesta inflamatoria y la albúmina baja como indicador de nutrición son factores predictivos de estadio clínico avanzado en cáncer gástrico.		albúmina (indicador de nutrición e Índice-Neutrófilo) Linfocito (INL) indicador de respuesta inflamatoria-inmunológica. Se consideró 2,44 como el punto de corte para INL elevado.
4	Xiao, et al (16).	2016	Análisis proteómico diferencial de la saliva humana utilizando la cuantificación de etiquetas de masa en tándem para la detección del cáncer gástrico	Este estudio proporciona la prueba de concepto de los biomarcadores salivales para la detección no invasiva del cáncer gástrico. Se identificaron más de 500 proteínas con cuantificación, y 48 de ellas mostraron una expresión de diferencia significativa (p<0,05) entre los controles normales y los pacientes con cáncer gástrico, incluidas 7 proteínas reguladas al alza y 41 proteínas reguladas a la baja. Se seleccionaron cinco proteínas para la verificación inicial mediante ELISA y tres se verificaron con éxito, a saber, cistatina B (CSTB), trisafosfato isomerasa (TPI1), y eliminado en tumores cerebrales malignos 1 proteína (DMBT1)	Cistatina B (CSTB), Trisafosfato Isomerasa (TPI1)	Este estudio emplea un enfoque de proteómica cuantitativa para desarrollar biomarcadores discriminatorios en saliva humana para la detección de CG. Las proteínas salivales se analizaron y compararon entre pacientes con cáncer gástrico y sujetos de control emparejados mediante el uso de tecnología de etiquetas de masa en tándem (TMT).
5	Li, et al (17).	2014	Células tumorales circulantes similares a células madre indican un mal pronóstico en el cáncer gástrico	Diecinueve de los 27 pacientes CTC positivos tenían CTC CD44 positivos. Estos pacientes tenían más probabilidades de desarrollar metástasis y recurrencia que los pacientes con CTC CD44 negativos. Los recuentos de CTC CD44 positivos fueron más altos en los pacientes recurrentes que en los no recurrentes.	CD44	La detección de CTC (células tumorales circulantes) es un marcador temprano de la recurrencia del tumor que ocurre antes de que se presenten los síntomas clínicos en CG mediante la centrifugación en gradiente de densidad para



						enriquecer las CTC. Se utilizó inmunofluorescencia para identificar las CTC, que se definieron como CK19 positivas (un marcador para las células tumorales epiteliales) y CD45 negativas (el antígeno leucocitario común). Se analizó la positividad de HER2 por subtipo histológico, localización del tumor, región geográfica y tipo de muestra. Se realizaron análisis exploratorios de eficacia.
6	Cutsem, et al (18)	2015	Datos de detección de HER2 de ToGA: dirigidos a HER2 en el cáncer gástrico y de la unión gastroesofágica	Los análisis exploratorios post hoc en pacientes que expresaban niveles más altos de HER2 (IHC 2?/ hibridación positiva in situ con fluorescencia o IHC 3?) demostraron una duración de 4,2 meses.]	HER2	
7	Huiang, et al (19)	2017	El ARN circular hsa_circ_000745 puede servir como marcador ic para cáncer gástrico	Hsa_circ_0000745 estaba regulado a la baja en tejidos GC contra tejidos no tumorales (PAG< 0,001) y en muestras de plasma de pacientes con GC contracontroles saludables (PAG< 0,001).	Hsa_circ_0000745	Se seleccionaron aleatoriamente tres circRNA con expresión diferencial en GC y cáncer colorrectal para su validación mediante reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa cuantitativa (qRT-PCR).
8	Roh, et al (20).	2019	Ensayo clasificador de un solo paciente, inestabilidad de microsátelites y estado del virus de Epstein-Barr predicen los resultados clínicos en el cáncer gástrico en estadio II/III: resultados del ensayo CLASSIC	En el análisis multivariado de supervivencia libre de enfermedad, SPC-pronóstico [hazard ratio (HR): 1,879 (1,101–3,205), 2,399 (1,415–4,067), pag=0,003] y estado de MSI (HR: 0,363, intervalo de confianza del 95 %: 0,161–0,820, pag =0,015) fueron factores pronósticos independientes junto con la edad, la clasificación de Lauren, el estadio TNM y la quimioterapia.	SPC, MSI y EBV	Los tres marcadores utilizados en este estudio, SPC, MSI y EBV, se basaron en diferentes motivos biológicos, patológicos o etiológicos. El SPC clasificó a los pacientes por características inmunitarias, similares a tallos y epiteliales a partir del perfil de expresión génica de los tejidos tumorales, mientras que los tumores positivos para MSI-H y EBV se asociaron con hipermutabilidad



					genética debido a la alteración de la reparación del desajuste del ADN y la infección viral exógena, respectivamente.
9	Hacker, et al (21).	2016	Evaluación de la angiopoyetina-2 como biomarcador en cáncer gástrico: resultados del ensayo aleatorizado de fase III AVAGAST	Ang-2 tiene un papel como biomarcador pronóstico independiente para la supervivencia y está fuertemente correlacionado con la metástasis hepática.	Ang-2 Los pacientes con CG sin tratamiento previo fueron asignados al azar para recibir bevacizumab (norte ¼387) o placebo (norte¼387) en combinación con quimioterapia. El plasma recogido al inicio y en la progresión se analizó mediante ELISA. El papel de Ang-2 como biomarcador pronóstico y predictivo de la eficacia de bevacizumab se estudió mediante un modelo de riesgos proporcionales de Cox.
10	Gwak, et al (22).	2014	Evaluación preliminar de la utilidad clínica de CYFRA 21-1, CA 72-4, NSE, CA19-9 y CEA en cáncer de estómago	CYFRA 21-1 es un epítipo único de un polipéptido que se elabora en abundancia después de la muerte celular. CYFRA21-1 es un marcador valioso en la estadificación y la evaluación de seguimiento de varios tipos de cáncer, se sabe poco sobre su papel en el diagnóstico y cualquier asociación con los parámetros clinicopatológicos de CG.	CYFRA 21-1, CA 72-4, NSE, CA19-9 y CEA Los niveles séricos de cinco marcadores tumorales se analizaron mediante un ensayo inmunorradiométrico Se trazaron curvas (ROC) para los cinco marcadores tumorales para investigar sus poderes de diagnóstico y se evaluaron los valores de corte ajustados derivados del análisis de las curvas ROC para calcular la sensibilidad de cada SC con los valores de corte recomendados.
11	Zuleta, et al	2017	Identificación de	La expresión genética del ARN mensajero,	ARN mensajero Se tomó 2,5 mL de sangre en ayunas



	(23).		biomarcador es sanguíneos para la detección de lesiones premalignas y el diagnóstico del cáncer gástrico	diferencia en sangre las etapas de la cascada de Correa, y permite diagnosticar el cáncer gástrico.		para el análisis de expresión de genes tomadas después de la endoscopia inicial. La sangre se colocó en un tubo de ARN sanguíneo PAXgene; luego, el ARN se extrajo de la sangre y se analizó usando una plataforma de microarrays, los cuales identificaron cambios de expresión de ARN mensajero.
12	Wenying yan, et al (24).	2014	Identificación de microARN como biomarcador potencial para el cáncer gástrico mediante análisis biológico del sistema	Se identificaron 17 microARN asociados con cánceres gástricos y 3 de ellos (miR-211, let-7b y miR-708) podrían ser nuevos biomarcadores potenciales para el diagnóstico y tratamiento de CG.	MicroARN (miR-211, let-7b y miR-708)	Se utilizó el método POMA sistemático e integrador del perfil de expresión basado en RNA-seq.
13	Li, et al (25).	2012	MicroARN de plasma, miR-223, miR-21 y miR-218, como nuevos biomarcadores potenciales para la detección del cáncer gástrico	Los niveles plasmáticos de miR-223 (PAG,0.001) y miR-21 (PAG,0.001) fueron significativamente mayores en pacientes con GC que en controles sanos, mientras que miR-218 (PAG,0.001) fue significativamente menor. Se identifica tres miARN plasmáticos (miR-223, miR-21 y miR-218) pueden servir potencialmente como nuevos biomarcadores no invasivos para la detección de GC.	MicroARN de plasma, miR-223, miR-21 y miR-218	Se midió los niveles plasmáticos de los cuatro miARN en 10 pacientes con GC y 10 sujetos de control sanos mediante (qRT-PCR), a posterior fueron comparados los resultados de miARN en plasma con las expresiones en tejidos cancerosos de ocho pacientes con GC. Se concluyó con la validación de la presencia de miR-223, miR-21 y miR-218 en plasma en 60 pacientes con GC y 60 sujetos control sanos, y se analizaron las áreas bajo las curvas de características operativas del receptor (ROC) de estos miRNA.
14	Boeger, et al (26).	2016	PD-L1 es un predictor pronóstico	La expresión de PD-L1 y PD-1 en una cohorte caucásica grande y bien	PD-L1 y PD-1	Se analizó la expresión de PD-L1 y PD-1 mediante



			independien te en cáncer gástrico de pacientes occidentales	caracterizada de GC. PD-L1 y PD-1 se expresaron en una cantidad sustancial de GC en células tumORAles e inmunitarias o solo en células inmunitarias. Se encontró que la expresión de PDL1 es un pronosticador de supervivencia independiente y se correlaciona con distintas características clínico-patológicas del paciente		inmunohistoquímica a en una cohorte grande y bien caracterizada de cáncer gástrico (GC) de pacientes caucásicos, que consta de 465 muestras de GC y 15 metástasis hepáticas correspondientes.
15	Villagrán, et al (27).	2021	Perfil de citocinas Th1, Th2, Th17 y otras citocinas pro inflamatorias (IL-1 $\beta$ , IL-6 y TNF- $\alpha$ ) en el plasma de pacientes con cáncer gástrico	Las siete citocinas cuantificadas se encontraron significativamente elevadas ( $p < .05$ ) en el plasma de los casos respecto a sus controles. Los casos de CG tipo difuso presentaron niveles de IFN $\gamma$ significativamente elevados. Por regresión logística, las citocinas IL-6 e IL-10, están asociadas significativamente a CG ( $p < .05$ ) independientemente del estatus de infección por <i>H. pylori</i> . Se destacan la IL-6 e IL-10 como las principales citocinas asociadas a la presencia de CG	Citosinas Th1, Th2, Th17 y (IL- 1 $\beta$ , IL-6 y TNF- $\alpha$	El presente estudio analiza el perfil de citocinas del tipo de Th1(IFN $\gamma$ ), Th2(IL-4 e IL-10), Th17(Th-17A) y otras pro inflamatorias: IL- 1 $\beta$ , IL-6 y TNF- $\alpha$ , en plasma de 70 casos de pacientes con CG comparándolos con 132 sujetos sanos equiparables en edad y sexo.
16	Wellmann, et al (28).	2018	Valor diagnóstico de las proteínas uPAR en sangre para el cáncer gástrico en Guatemala	La cuantificación de proteínas uPAR podría tener valor como un método de tamizaje inicial que podría reducir costos, de tal manera que la gastroscopia y biopsia se realizarían en casos que mostraran valores elevados de los niveles de uPAR	Upar (Receptor del Activador de Plasminógeno uroquinasa)	Se tomaron muestras sanguíneas de pacientes diagnosticados con cáncer gástrico (n = 68) y controles sanos apareados por edad y sexo (n = 136) en cuatro instituciones de la ciudad de Guatemala, se determinó uPAR e IgG anti <i>H. pylori</i> por metodología Elisa.



## DISCUSION

### **Proteínas Upar.**

De acuerdo con lo expuesto anteriormente se han identificado varios biomarcadores prometedores para la detección y predicción del cáncer gástrico. Uno de ellos es la concentración de proteínas uPAR en sangre, cuyos niveles elevados están estrechamente asociados con el cáncer de estómago, según un estudio de Wellmann, et al (28), la alta precisión de la curva ROC para pylori sugiere que uPAR puede ser un biomarcador eficaz para la detección de esta enfermedad, debido a que mediante pruebas (rPCR) de biopsias del cuerpo gástrico, indican significativamente un incremento de la expresión del activador del plasminógeno de tipo uroquinasa (uPA) (28), en pacientes con presencia de H. pylori, factor relacionado con CG debido a la virulencia del patógeno a través de la liberación de la proteína CagA misma que es capaz de inhibir la apoptosis de las células epiteliales interfiriendo con supresores tumorales como p53.y RUNX3 (29). CagA tiene la capacidad de alterar la polaridad de las células epiteliales mediante interacciones directas con la proteína de polaridad MAP/quinasa reguladora de afinidad de microtúbulos 2 irrumpiendo además del ensamblaje, la señalización a través de las uniones celulares (30, 31).

### **Albumina e índice neutrófilo-linfocito.**

Mientras tanto, el índice de albúmina, linfocitos y neutrófilos según Huamán et al., muestran que un índice bajo de albúmina y un índice alto de INL (Índice Neutrófilo-Linfocito) se asocian con la etapa de progresión clínica del cáncer gástrico (15), lo que indica potencial como biomarcadores pronósticos. La inflamación resulta ser el inicio del desarrollo de células tumorales, el INL es considerado como un potencial indicador de inflamación a nivel sistémico sin presencia de infección (32). La carcinogénesis es favorecida por una inflamación crónica generada por la activación prolongada de neutrófilos, provocando angiogénesis, genotoxicidad e inhibición de células T (33).

### **Proteínas salivales.**

La identificación de biomarcadores salivales para detención de CG es de suma importancia según Xiao et al.(16), quien destaca en su estudio realizado, las diferencias significativas en la expresión de proteínas salivales, incluida la cistatina B (CSTB), la triisofosfato isomerasa (TPI1) y las proteínas DMBT1 (eliminadas en los tumores cerebrales), entre pacientes con cáncer gástrico y controles normales. Estos resultados sugieren que dichas proteínas son de utilidad para la detección no invasiva del CG, considerando que la saliva es un fluido fácil de recolectar y con un preciso potencial de diagnóstico.

La saliva es una sustancia hipotónica segregada generalmente por las glándulas salivales que se encuentran rodeadas por sangre, capilares y acinos, en este último los biomarcadores circulantes en sangre se infiltran segregándose a posterior en la saliva (34). La proteína CSTB es una cisteína que en presencia de CG reduce su expresión promoviendo la proliferación celular conduciendo a metástasis celular (35). La TPI1 incrementa su expresión en presencia de cáncer ya que eleva los niveles de glicólisis debido a la necesidad de energía de las células tumorales (36). DMBT está relacionada con la diferenciación de



células epiteliales y a su vez forma parte de la defensa inmune innata, al existir un índice alto de inflamación en el estómago, esta proteína se sobre expresa (37).

### **Citoquinas Proinflamatorias.**

Las citoquinas proinflamatorias como IL-1 $\beta$ , IL-6 y TNF- $\alpha$ , aumentan en pacientes con CG, juegan un papel importante en la patogénesis y progresión del cáncer y demuestran la interacción entre inflamación y carcinogénesis (27). Las citocinas proinflamatorias IL-8, IL-6, IL-1 $\beta$  activan a células neutrofílicas y también monocitos dando paso a una reacción inflamatoria que generan patologías como gastritis crónica, siendo esta un factor que predispone el desarrollo del adenocarcinoma gástrico (38), igual situación sucede con las lesiones provocadas por *H. pylori*, mismas que elevan los niveles de L-1 $\beta$ , IL-6, TNF- $\alpha$ , IL-10, IFN $\gamma$ , IL-4, y son indicativos de malignidad en su entorno (39).

### **CEA y CA 19-9.**

Biomarcadores como CEA y CA 19-9 según lo describe Slagter.et al (14), son considerados como marcadores tumorales utilizados comúnmente, una elevación de los mismos data un resultado desfavorable para el paciente, mientras que niveles bajos indican un pronóstico de mejora de los pacientes, además el estudio detalla que se ha encontrado asociación entre ctDNA. CEA es un referente en la presencia de metástasis tumoral (40).

### **Células Circulares Tumorales (CTC).**

Las células circulares tumorales (CTC) han sido caracterizados por detectadas en pacientes con CG, a través de los avances biológicos, se sospecha que las CTC son progenitoras de recaída en CG (17), mas no se ha podido vincular con la metástasis debido a que únicamente un bajo índice de CTC mantiene propiedades idénticas las células madre para crear metástasis (41). La relación entre CTC Y CD44 representan un riesgo elevado para paciente con CG, ya que podría tratarse de un recurrencia o metástasis (42).

### **Receptor De Membrana Her2.**

Her2 es conocido como un receptor de membrana capaz de expresarse en diversos tipos de cáncer como el cáncer gástrico, generalmente produce actividad tirosina quinasa mediante fosfatidilinositol 3-quinasa-AKT (43). El receptor humano del factor de crecimiento epidérmico 2 (HER2) está en relación directa con la proliferación y crecimiento celular, se sobre expresa provocando el incremento excesivo de receptores HER2 en la superficie de las células cancerosas en el estómago (18).

### **ARN circulares (circARN).**

Según Huiang, et al indica en su estudio que desempeñan funciones reguladoras en procesos fisiológicos celulares, además contribuyen a procesos de origen patológico como la formación y progresión del cáncer. (19). En CG se ha observado que los ARNcirc pueden estar implicados en procesos celulares como la regulación y proliferación celular, la apoptosis, la invasión y la metástasis (44). Los ARNcirc también pueden actuar como oncogenes o como supresores de tumores en el cáncer gástrico, dependiendo de sus



interacciones con otros componentes celulares (45).

### **La angiopoyetina-2.**

La angiopoyetina-2 es un biomarcador de importancia que ha sido estudiado y considerado un marcador de pronóstico novedoso. Hacker et al (21), en su investigación resalta la función de Ang-2 como biomarcador pronóstico independiente de supervivencia y está fuertemente correlacionado con la metástasis, El ligando Tie2 angiopoyetina-2 (Ang2) es capaz de mediar la capacidad de respuesta de las células endoteliales (CE) a las citoquinas derivadas de tumores, las CE secretan Ang-2 provocando la desestabilización de vasos sanguíneos induciendo de esta manera la angiogénesis (46). Ang-2 está relacionada con la respuesta inflamatoria vascular debido a que recluta células mieloides desde la médula ósea promoviendo metástasis y tumoraciones (47,48).

El antígeno carcinoembrionario (CEA) es un antígeno capaz de expresarse en tumores de origen epitelial, esta proteína se encuentra en la superficie celular siendo un receptor de ligando E – selectina en cáncer de colon, los niveles de CEA aumentan significativamente en cáncer de CG al igual que en condiciones no cancerosas, por lo tanto, este marcador no es 100% confiable para una detección eficaz (49).

Actualmente diversos estudios han denotado la estabilidad de biomarcadores para detección temprana de CG en plasma y en sangre, se trata de los Micro ARN que son pequeños ARN no codificantes reguladores de la expresión génica (50). Tres microARN se han relacionado directamente con CG, miARN (miR-223, miR-218 y miR-25) considerados anómalos en pacientes con CG debido a la elevación de los niveles normales (12, 50).

## **CONCLUSIONES**

A partir de esta revisión, se logró identificar una variedad de biomarcadores moleculares con un alto potencial tanto para el diagnóstico como para el pronóstico del cáncer gástrico. Entre los más destacados se encuentran CSTB, TPI1 y DMBT1 detectados en saliva, así como uPAR, CEA, CA 19-9 y algunos microARN presentes en sangre. Estos marcadores han mostrado niveles relevantes de sensibilidad y especificidad, lo que abre la posibilidad de que, en un futuro cercano, puedan ser utilizados de manera efectiva en entornos clínicos a través de métodos no invasivos.

Ahora bien, al establecer una comparación entre los biomarcadores salivales y los sanguíneos, se observa que los primeros ofrecen ventajas notables en términos de accesibilidad, bajo costo y mayor comodidad para el paciente. No obstante, los biomarcadores presentes en sangre, como uPAR, el índice neutrófilo-linfocito (INL) y PD-L1, han evidenciado una relación más estrecha con el estado clínico del tumor y la evolución del paciente. Por esta razón, una estrategia que combine ambos tipos de biomarcadores podría fortalecer significativamente los procesos de detección temprana del cáncer gástrico.

Sin embargo, pese a que los hallazgos son prometedores, es fundamental reconocer que muchos de estos biomarcadores aún se encuentran en etapas preliminares de investigación. Por ello, se hace indispensable continuar con estudios más amplios, que consideren diversas



poblaciones y contextos clínicos. Solo mediante esta validación rigurosa será posible incorporar estos avances en programas de tamizaje temprano, lo cual representaría un paso crucial para disminuir la mortalidad asociada a esta enfermedad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kanda M. Recent advances in the molecular diagnostics of gastric cancer. *World J Gastroenterol* [Internet]. 2015;21(34):9838. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3748/wjg.v21.i34.9838>
2. Rojas Duarte M, Marinkovic Gómez B. Cirugía en medicina general: manual de enfermedades quirúrgicas [Internet]. Facultad de Medicina, Universidad de Chile; 2020. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/187720>
3. Thrumurthy SG, Chaudry MA, Hochhauser D, Mughal M. The diagnosis and management of gastric cancer. *BMJ* [Internet]. 2013;347(v04 1):f6367–f6367. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.f6367>.
4. Acuña S, Solís P, Oñate P, Martínez E, Chaves S. EPIDEMIOLOGÍA DEL CÁNCER DE ESTÓMAGO EN UN CENTRO DE REFERENCIA DEL ECUADOR. *Revista Medica Vozandes* [Internet]. 2021;31(2):19–25. Available from: <https://revistamedicavozandes.com/wp>
5. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin* [Internet]. 2021;71(3):209–49. Available from: <http://dx.doi.org/10.3322/caac.21660>
6. Sasako M, Inoue M, Lin J-T, Khor C, Yang H-K, Ohtsu A. Gastric cancer working group report. *Jpn J Clin Oncol* [Internet]. 2010;40(Supplement 1):i28–37. Available from: <http://dx.doi.org/10.1093/jjco/hyq124>
7. Cárdenas CE, Cárdenas JC, Játiva JJ. Cáncer Gástrico: una revisión bibliográfica. *Domino de las Ciencias/ Medline*. 2021; 7(1).
8. Oliveros R, Pinilla Morales RE, Facundo Navia H, Sánchez Pedraza R. Cáncer gástrico: una enfermedad prevenible. Estrategias para intervención en la historia natural. *Rev Colomb Gastroenterol* [Internet]. 2019;34(2):177–89. Available from: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99572019000200177](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99572019000200177)
9. Pichon M, Pichard B, Barrioz T, Plouzeau C, Croquet V, Fotsing G, et al. Diagnostic accuracy of a noninvasive test for detection of *Helicobacter pylori* and resistance to clarithromycin in stool by the Amplidiag H. *pylori+ClariR* real-time PCR assay. *J Clin Microbiol*



[Internet]. 2020;58(4). Available from: <https://actagastro.org/numeros-antiores/2022/Vol-52-N1/Vol52N1-PDF07.pdf>

10. Carlos GC Dr. Actualización del diagnóstico y tratamiento del cáncer gástrico. Rev médica Clín Las Condes [Internet]. 2013;24(4):627–36. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s0716-8640\(13\)70201-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0716-8640(13)70201-3).

11. Cueva P, Tarupi W, Caballero H. Incidencia y mortalidad por cáncer en Quito: información para monitorear las políticas de control del cáncer. Colomb Med [Internet]. 2022, 53(1):e2024929. Available from: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1657-95342022000100004&lng=en&nrm=iso&tIng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95342022000100004&lng=en&nrm=iso&tIng=es)

12. Castrillón OD, Castillo LF, Castaño CE. Minería de datos aplicada a la detección de cáncer gástrico. CIT Inform Tecnol [Internet]. 2022 [cited 2024 Sep 8];33(4):151–60. Available from: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642022000400151](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642022000400151).

13. Slagter AE, Vollebergh MA, Caspers IA, van Sandick JW, Sikorska K, Lind P, et al. Prognostic value of tumor markers and ctDNA in patients with resectable gastric cancer receiving perioperative treatment: results from the CRITICS trial. Gastric Cancer [Internet]. 2022;25(2):401–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10120-021-01258-6>

14. Epplein M, Butt J, Zhang Y, Hendrix LH, Abnet CC, Murphy G, et al. Validation of a blood biomarker for identification of individuals at high risk for gastric cancer. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev [Internet]. 2018 [cited 2024 Sep 8];27(12):1472–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30158280/>

15. Huamán MO, Cerna-Barco J, Correa-López LE, Beltran-Garate B, Vargas JA. Albumina e índice neutrófilo-linfocito como predictores de estadio tumoral en pacientes con cáncer gástrico. Revista de la Facultad de Medicina Humana. 2020; 20(2).

16. Xiao H, Zhang Y, Kim Y, Kim S, Kim JJ, Kim KM, et al. Differential proteomic analysis of human saliva using tandem mass tags quantification for gastric cancer detection. Scientific reports. 2016; 6(1): p. 22165.

17. Li M, Zhang B, Zhang Z, Liu X, Qi X, Zhao J, et al. Células tumorales circulantes similares a células madre indican un mal pronóstico en el cáncer gástrico. BioMed Research International. 2014 Mayo; 12(6).

18. Cutsem EV, Yung J, feng-yi B, Xu JM, Lee KW, Chong SCJL, et al. Datos de detección de HER2 de ToGA: dirigidos a HER2 en el cáncer gástrico y de la unión gastroesofágica. PubMed.



2015 Julio; 18(1).

19. Huiang M, Yi-Ren H, Li-Chuan L, Huang Q, Zhi-Qiang Z. El ARN circular hsa\_circ\_0000745 puede servir comodiagnosticar. World Journal of Gastroenterology. 2017 Septiembre; 23(34).

20. Roh CK, Choi YY, Choi S, Seo GJ, Cho M, Eunji-jang , et al. Ensayo clasificador de un solo paciente, inestabilidad de microsatélites y estado del virus de Epstein-Barr predicen los resultados clínicos en el cáncer gástrico en estadio II/III: resultados del ensayo CLASSIC. YMJ. 2019 Febrero; 60(2).

21. Hacker UT, Espinosa LE, Consalvo N, Goede V, Schiffmann L. Evaluación de la angiopoyetina-2 como biomarcador en cáncer gástrico: resultados del ensayo aleatorizado de fase III AVAGAST. Revista británica de cáncer. 2016; 7(17).

22. Gwak HK, Lee JH, Gun PS. Evaluación preliminar de la utilidad clínica de CYFRA 21-1, CA 72-4, NSE, CA19-9 y CEA en cáncer de estómago. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention. 2014 Enero; 15(1)

23. Zuleta G, A. M, Torres KE, Falduto MT, Magnuson SR. Identificación de biomarcadores sanguíneos para la detección de lesiones premalignas y el diagnóstico del cáncer gástrico. Revista Colombiana de Gastroenterología. 2017 Enero; 32(1).

24. Wenying Y, Shouli W, Sol Z, Yuxin L, Sol S, Jiajia C, Weichang C. Identificación de microARN como biomarcador potencial para el cáncer gástrico mediante análisis biológico del sistema. Hindawi Publishing Corporation BioMed. Research International Volumen 2014, artículo ID 901428, 9 páginas <http://dx.doi.org/10.1155/2014/901428>

25. Li bs, Zhao Yl, Gang Guo1 WL, En-dong Zhu1 XL, Mao Xh, Zou Q. MicroARN de plasma, miR-223, miR-21 y miR-218, como nuevos biomarcadores potenciales para la detección del cáncer gástrico. Plos One. 2012 Julio; 7(7).

26. Boeger C, Behrens HM, Mathiak M, Kruger S, Kalthoff H. PD-L1 es un predictor pronóstico independiente en cáncer gástrico de pacientes occidentales. Oncotarget. 2016; 7(17).

27. Villagrán-Blanco CI. Biomarcadores suPAR y citocinas en la detección temprana de cáncer gástrico. Ciencia, tecnología y salud. 2020; 7(2): p. 236-250

28. Wellmann IA, Villagrán CI, Fernández-Bostrán R, Hernández E, Méndez-Chacón E, Une C. Valor diagnóstico de las proteínas uPAR en sangre para el cáncer gástrico en Guatemala. Ciencia, Tecnología y Salud. 2018 Junio; 5(1)



29. Buti I, Spooner E, Van der Veen AG et al. El gen A asociado a la citotoxina de *Helicobacter pylori* (CagA) subvierte la proteína estimulante de la apoptosis de la vía supresora de tumores p53 (ASPP2) del huésped. *Proc Natl Acad Sci EE.UU.* A. 2011; 108 : 9238-924
30. Saadat I, Higashi H, Obuse C. et al. *Helicobacter pylori* CagA se dirige a la quinasa PAR1/MARK para alterar la polaridad de las células epiteliales. *Naturaleza.* 2007; 447 : 330-333
31. Wróblewski LE Piazuelo MB Chaturvedi R. et al. *Helicobacter pylori* se dirige a los constituyentes de la unión apical asociados al cáncer en los gástricos y las células epiteliales gástricas. *Intestino.* 2015; 64 : 720-730
32. Szor DJ, Roncon Dias A, Pereira MA, Ramos MFKP, Zilberstein B, Ceconello I, et al. La proporción de neutrófilos-linfocitos se asocia con el pronóstico en pacientes sometidos a resección potencialmente curativa de cáncer gástrico. *J Surg Oncol.* abril de 2018;117(5):851–7
33. He Q, Li G, Ji X, Ma L, Wang X, Li Y, et al. Impact of the immune cell population in peripheral blood on response and survival in patients receiving neoadjuvant chemotherapy for advanced gastric cancer. *Tumor Biol.* el 1 de mayo de 2017;39(5):1010428317697571
34. Zhang CZ, Cheng XQ, Li JY, Zhang P, Yi P, Xu X, Zhou XD. Saliva in the diagnosis of diseases. *Int J Oral Sci.* 2016 Sep 29;8(3):133-7. doi: 10.1038/ijos.2016.38
35. Zhang J, Shi Z, Huang J, Zou X. CSTB Downregulation Promotes Cell Proliferation and Migration and Suppresses Apoptosis in Gastric Cancer SGC-7901 Cell Line. *Oncology research.* 2016;24(6):487-94. doi: 10.3727/096504016X14685034103752.SciELO
36. Akram M. Mini-review on Glycolysis and Cancer. *Journal of Cancer Education.* 2013;28(3):454-7. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s13187-013-0486-9>.
37. Sousa JF, Ham AJ, Whitwell C, Nam KT, Lee HJ, Yang HK, et al. Proteomic profiling of paraffin-embedded samples identifies metaplasia-specific and early-stage gastric cancer biomarkers. *Am J Pathol.* 2012;181(5):1560-72. doi: 10.1016/j.ajpath.2012.07.0
38. Amieva, M., & Peek, R. Pathobiology of *Helicobacter pylori*-Induced Gastric Cancer. *Gastroenterology*, (2016) 150(1), 64-78. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2015.09.004>.
39. Sánchez-Zauco, N., Torres, J., Gómez, A., Camorlinga- Ponce, M., Muñoz-Pérez, L., Herrera-Goepfert, Medrano-Guzmán, Giono-Cerezo, S., & Maldonado-Bernal, C. Circulating blood levels of IL-6, IFN-  $\gamma$ , and IL-10 as potential diagnostic biomarkers in gastric cancer: A controlled study. *BMC Cancer*, 2017. 17(1), Article 384, <https://doi.org/10.1186/s12885-017-3310-9>
40. Deng K, Yang L, Hu B, Wu H, Zhu H, Tang C. The Prognostic Significance of Pretreatment



Serum CEA Levels in Gastric Cancer: A MetaAnalysis Including 14651 Patients. 2015. PLoS ONE 10(4): e0124151. doi:10.1371/journal.pone.012415

41. N.Wang, L. Shi, H. Li et al., "Detección de células tumorales circulantes y células madre tumorales en pacientes con cáncer de mama mediante citometría de flujo" *Biología tumoral*, Vol. 33, No. 2, págs. 561–569, 2012.

42. YF Sun, Y. Xu, XR Yang et al., "Células tumorales positivas para moléculas de adhesión de células epiteliales similares a células madre circulantes indican un mal pronóstico del carcinoma hepatocelular después de la resección curativa" *hepatología*, Vol. 57, No. 4, págs. 1458–1468, 2013.

43. Junior, P. N., Neto, R. A., & Forones, N. M. (2016). HER2 EXPRESSION AS A PROGNOSTIC FACTOR IN METASTATIC GASTRIC CANCER. *Arquivos de gastroenterologia*, 53(2), 62–67. <https://doi.org/10.1590/S0004-28032016000200003>

44. Qu, S., Yang, X., Li, X., Wang, J., Gao, Y., Shang, R., Sun, W., Dou, K., & Li, H. (2015). Circular RNA: A new star of noncoding RNAs. *Cancer letters*, 365(2), 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2015.06.003>

45. Salzman J, Gawad C, Wang PL, Lacayo N, Brown PO (2012) Los ARN circulares son la isoforma de transcripción predominante de cientos de genes humanos en diversos tipos de células. *MÁS UNO* 7(2): e30733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030733>

46. Gerald D, Chintharlapalli S, Augustin HG, Benjamin LE (2013) Angiopoyetina-2: un objetivo atractivo para mejorar la terapia antiangiogénica contra tumores. *Cáncer Res* 73 (6): 1649–1657.

47. Scholz A, Lang V, Henschler R, Czabanka M, Vajkoczy P, Chavakis E, Drynski J, Harter PN, Mittelbronn M, Dumont DJ, Plate KH, Reiss Y (2011) Angiopietin-2 promotes myeloid cell infiltration in a beta(2)-integrin-dependent manner. *Blood* 118 (18): 5050–5059.

48. Srivastava K, Hu J, Korn C, Savant S, Teichert M, Kapel SS, Jugold M, Besemfelder E, Thomas M, Pasparakis M, Augustin HG (2014) Postsurgical adjuvant tumor therapy by combining anti-angiopietin-2 and metronomic chemotherapy limits metastatic growth. *Cancer Cell* 26 (6): 880–895.

49. Jelski, W.; Mroczko, B. Biomarcadores moleculares y circulantes del cáncer gástrico. *En t. J. Mol. ciencia* 2022, 23, 7588. <https://doi.org/10.3390/ijms23147588>

50. Tsujiura M, Ichikawa D, Komatsu S, Shiozaki A, Takeshita H, et al. (2010) MicroARN circulantes en plasma de pacientes con cánceres gástricos. *Br J Cancer* 102(7):1174–1179.



# INCIDENCIA DE MUERTES VIOLENTAS POR ARMAS DE FUEGO EN GUAYAQUIL-ECUADOR

## INCIDENCE OF VIOLENT DEATHS DUE TO FIREARMS IN GUAYAQUIL-ECUADOR

Alex Fabian Andino Jaramillo<sup>1</sup>, Verónica Paulina Cáceres Manzano<sup>2</sup>

[alex.andino@unach.edu.ec](mailto:alex.andino@unach.edu.ec), [vcaceres@unach.edu.ec](mailto:vcaceres@unach.edu.ec)

Fecha de recepción: 27 de mayo de 2025/ Fecha de aceptación: 15 de junio de 2025/ Fecha de publicación: 16 de junio de 2025

**RESUMEN:** La violencia armada es un problema de salud pública que afecta gravemente a Guayaquil, Ecuador, donde los fallecimientos violentos por armas de fuego han alcanzado niveles alarmantes. Este estudio tuvo como objetivo analizar la incidencia de muertes violentas por armas de fuego en Guayaquil durante el año 2024, con el fin de identificar características sociodemográficas de las víctimas, zonas de mayor incidencia, y factores asociados a estos hechos. Se empleó un diseño no experimental, transversal y retrospectivo, utilizando datos oficiales de instituciones como el INEC, la Policía Nacional y el Servicio Nacional de Medicina Legal. Se analizaron casos documentados de homicidios por armas de fuego en la ciudad, aplicando técnicas cuantitativas y cualitativas para comprender las tendencias y patrones de la violencia armada. Los resultados revelaron una crisis sin precedentes, con un 87,9 % de los homicidios cometidos con armas de fuego, afectando principalmente a hombres jóvenes entre 18 y 35 años, residentes en zonas con alta densidad poblacional y fuerte presencia de grupos delictivos, como Saucos, Guasmo y Durán. Además, el 55 % de los crímenes ocurrieron entre las 20:00 y 02:00 horas, y estuvieron vinculados principalmente a la delincuencia organizada y conflictos personales. En conclusión, la violencia armada en Guayaquil está estrechamente ligada a problemas sociales estructurales, como el desempleo y la falta de oportunidades, lo que demanda políticas públicas integrales para la prevención y control de esta problemática creciente.

**Palabras clave:** Homicidios, arma de fuego, criminalidad organizada, jóvenes

**ABSTRACT:** Armed violence is a public health problem that severely affects Guayaquil, Ecuador, where violent deaths caused by firearms have reached alarming levels. This study aimed to analyze the incidence of violent deaths by firearms in Guayaquil during the year 2024, in order to identify the sociodemographic characteristics of the victims, the areas with the highest incidence, and factors associated with these events. A non-experimental, cross-

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0009-0002-5090-6049>, Estudiante de la Maestría en Criminalística y Ciencias Forenses, Universidad Nacional del Chimborazo, Policía Nacional del Ecuador, Grupo de Operaciones Especiales GOE.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0001-5710-5661>, "Grupo Interdisciplinario de Ciencias de la Vida y Productos Naturales" Universidad Nacional del Chimborazo, Docente Facultad de Ciencias de la Salud, Carrera de Laboratorio Clínico y Odontología, Riobamba, Ecuador. Docente de la Maestría en Criminalística y Ciencias Forenses, Riobamba, Ecuador. Universidad Estatal de Bolívar, Carrera de Criminalística, Guaranda Ecuador.



sectional, and retrospective design was employed, using official data from institutions such as INEC, the National Police, and the National Forensic Medicine Service. Documented cases of homicides by firearms in the city were analyzed, applying quantitative and qualitative techniques to understand trends and patterns of armed violence. The results revealed an unprecedented crisis, with 87.9% of homicides committed with firearms, mainly affecting young men between 18 and 35 years old, residents in areas with high population density and a strong presence of criminal groups, such as Saucos, Guasmo, and Durán. Additionally, 55% of the crimes occurred between 8:00 p.m. and 2:00 a.m., and were primarily linked to organized crime and personal conflicts. In conclusion, armed violence in Guayaquil is closely linked to structural social problems, such as unemployment and lack of opportunities, which demands comprehensive public policies for the prevention and control of this growing problem.

**Key words:** *Homicides, firearm, organized crime, youth*

## INTRODUCCIÓN

Las lesiones producidas por armas de fuego constituyen un conjunto de alteraciones físicas en el organismo humano como consecuencia del impacto de los elementos que conforman un disparo. Este tipo de lesiones es reconocido actualmente como un problema de salud pública y una grave epidemia social. Su impacto no se limita únicamente al número de fallecimientos o a las tasas de mortalidad asociadas, sino que también se refleja en la magnitud, diversidad e intensidad de las formas en que se manifiesta la violencia armada. Además, estas lesiones generan un profundo deterioro en la calidad de vida de las personas afectadas y comprometen significativamente las condiciones generales de salud de la población (1).

Según lo indicado por la UNESCO en 2023, la delincuencia representa un factor estrechamente ligado al incremento de la inseguridad. Dentro de este contexto, se menciona también la proliferación de armas ilegales. Asimismo, se ha puesto en evidencia el tráfico de bienes culturales como una actividad ilícita de gran preocupación, ya que implica la pérdida definitiva de piezas de alto valor histórico y cultural, privando a las sociedades del conocimiento de su propio legado. Esta práctica, además, se relaciona con delitos de mayor escala como el crimen organizado, el financiamiento del terrorismo, el narcotráfico, el tráfico de armas, el lavado de dinero y la corrupción (2).

La violencia armada tiende a ser más letal que otros tipos de agresión, dado que las armas de fuego suelen causar heridas de mayor gravedad. Además, su uso limita considerablemente las posibilidades de que la víctima logre escapar o que alguien más intervenga para ayudarla. A nivel mundial, cientos de miles de personas pierden la vida cada año por impactos de bala (alrededor de 238,804 muertes), y se calcula que aproximadamente la mitad de los homicidios registrados en el planeta están relacionados con armas de fuego (3).

La violencia armada afecta principalmente a países con altos niveles de desigualdad económica, dificultades para cubrir necesidades básicas, instituciones débiles y sistemas



judiciales poco eficaces. En 2017, los países del continente americano —incluidos Estados Unidos y Canadá— concentraron el 37 % de todos los homicidios intencionales registrados en el mundo (173,000 casos), a pesar de representar solo el 13 % de la población mundial. Es decir, aunque América es el tercer continente más poblado, después de Asia y África, presenta la mayor cantidad de homicidios a nivel global. Además, se estima que cerca de dos tercios de estos crímenes fueron perpetrados con armas de fuego (4).

En los últimos años, Ecuador ha experimentado un aumento sin precedentes en los niveles de violencia, llegando a registrar la tasa más alta de muertes violentas en toda América: 47 por cada cien mil habitantes. Esta cifra representa un incremento de 8.33 veces en comparación con el año 2016, cuando el país alcanzó su nivel más bajo de violencia desde 1980. A partir de 2020, los homicidios han casi duplicado su número cada año, al igual que el uso de armas de fuego (5).

Actualmente, el 87,9 % de los homicidios y asesinatos en Ecuador son perpetrados con armas de fuego, un porcentaje que supera ampliamente el promedio regional (75 %) y mundial (45 %). Según datos de la Policía Nacional, en 2018 seis de cada diez muertes violentas eran causadas por disparos, mientras que para 2023 esta proporción se elevó a nueve de cada diez. Estos datos reflejan con claridad el papel central que desempeñan las armas de fuego en la actual ola de violencia que enfrenta el país (6).

Es fundamental señalar que la impunidad en los casos de sicariato constituye un serio obstáculo para la justicia y el fortalecimiento del Estado de derecho en las comunidades afectadas. Esta situación se presenta cuando los autores de estos crímenes no son debidamente identificados, juzgados ni sancionados, lo que provoca una percepción de injusticia y merma la credibilidad en las instituciones encargadas de aplicar la ley. La ausencia de consecuencias no solo alimenta la continuidad de la violencia, sino que también deteriora la confianza ciudadana en el sistema judicial y limita la capacidad del Estado para proteger efectivamente a la población (7).

El incremento constante de la delincuencia y los elevados índices de asesinatos múltiples evidencian la escasa eficacia en las investigaciones para identificar tanto a los responsables directos como a sus cómplices. Esta situación favorece el avance de la impunidad en el país y limita la capacidad de los operadores de justicia para aplicar sanciones, debido a la carencia de procesos investigativos con un enfoque más técnico y científico (8).

El objetivo del estudio fue evaluar la incidencia de muertes violentas por armas de fuego en Guayaquil, Ecuador, basándose en la revisión de fuentes bibliográficas que reportaron nuevos casos de este tipo. De manera específica, se buscó analizar la evolución anual de estas muertes durante los últimos cinco años, identificar las características sociodemográficas de las víctimas, como edad, género y zona geográfica, y evaluar las fuentes y tipos de armas de fuego más comunes en los casos registrados. Estos objetivos permitirán comprender mejor el comportamiento y las tendencias de la violencia armada en la ciudad, contribuyendo a fundamentar posibles estrategias de prevención y control.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### MATERIALES

Con un diseño descriptivo, cualitativo, no experimental, de tipo transversal y retrospectivo, esta investigación se centra en la recolección y el análisis de datos estadísticos. Específicamente, examina las muertes violentas por armas de fuego registradas en Guayaquil durante el año 2024, observando eventos ya ocurridos sin manipulación de variables. Para el desarrollo del presente estudio sobre la incidencia de muertes violentas por armas de fuego en la ciudad de Guayaquil se emplearon diversos materiales que permitieron la recolección, organización y análisis de la información.

Entre los principales insumos utilizados se encuentran las bases de datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), que proporcionaron estadísticas vitales, y los informes del Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, donde constan detalles médico-legales de cada caso, como la causa exacta de la muerte, tipo de arma utilizada, región anatómica afectada y características demográficas de las víctimas.

También se pudo acceder a los reportes policiales emitidos por la Dirección Nacional de Delitos contra la Vida, Muertes Violentas, Desapariciones, Extorsión y Secuestros (DINASED), los cuales ofrecieron información complementaria sobre el contexto de los hechos violentos, posibles móviles, ubicación geográfica, hora del suceso, y estatus de la investigación.

Asimismo, se consultaron registros de la Fiscalía General del Estado, los cuales incluyeron avances procesales y clasificación jurídica de los casos. Complementariamente, se utilizaron certificados de defunción emitidos por el Ministerio de Salud Pública, que permitieron confirmar las causas legales de muerte y validar los datos provenientes de otras fuentes.

Para el procesamiento de la información recolectada en esta investigación, se recurrió a un conjunto de herramientas tecnológicas esenciales. Principalmente, se utilizaron computadoras equipadas con el software necesario para la organización y el análisis de los datos. La conexión segura a internet fue igualmente crucial, ya que facilitó el acceso a bases de datos relevantes y, en algunos casos, la descarga de información estadística actualizada.

Además, para garantizar la integridad y disponibilidad de los datos, se emplearon dispositivos de almacenamiento digital variados, incluyendo memorias USB para el manejo local y unidades en la nube para un respaldo seguro y accesible desde cualquier lugar, permitiendo así una eficaz recolección y respaldo de la totalidad de los datos del estudio.

Finalmente, como soporte teórico y metodológico, se consultó una amplia variedad de fuentes bibliográficas científicas, artículos académicos sobre violencia armada obtenidas de bases científicas como Elsevier, PubMed, Scielo, además los datos sobre las muertes violentas se obtuvieron de datos que nos facilita el Ministerio del Interior junto con la Policía Nacional ya que estas son la fuente principal de datos sobre homicidios intencionales y muertes violentas en Ecuador. Para el procesamiento de información o datos obtenidos los resultados se



procesarán mediante las herramientas como: SPSS, Excel, QGIS y NVivo para analizar datos oficiales y secundarios.

## MÉTODOS

La investigación presenta un diseño no experimental, de tipo transversal y retrospectivo, ya que se analizan datos previamente registrados sin manipular variables, observando los hechos tal como ocurrieron en el pasado (9). Se utilizó una muestra no probabilística, de tipo intencional, seleccionando únicamente los casos documentados que cumplían con criterios de inclusión como: confirmación del uso de arma de fuego, ocurrencia dentro de los límites geográficos de Guayaquil y disponibilidad de datos completos (edad, sexo, fecha, lugar del hecho, entre otros). Se excluyeron homicidios por otros medios y casos fuera del marco temporal establecido. El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Guayaquil, la urbe más poblada de Ecuador, ubicada en la región litoral.

Se trata de una zona con altos índices de violencia armada, especialmente en sectores vulnerables afectados por la desigualdad social, el desempleo y la presencia de grupos delictivos. El entorno incluye el trabajo conjunto con instituciones como la Policía Nacional, la Fiscalía General del Estado y entidades de seguridad ciudadana, lo cual permite una aproximación contextual y social del fenómeno. La violencia analizada impacta tanto en la seguridad pública como en aspectos económicos y sociales, representando una carga significativa para el Estado y la población local. La recolección de información en casos de muertes violentas por arma de fuego inicia con el aislamiento de la escena y su documentación detallada mediante fotos, videos y notas técnicas. Se emplean equipos de protección y kits especializados para recolectar evidencia biológica, balística y huellas (10).

Técnicas como la inspección ocular, el análisis balístico, de ADN, toxicología y papiloscopía permiten reconstruir la escena, identificar víctimas y esclarecer detalles clave del crimen. El luminol detecta rastros de sangre invisibles, y el uso de software especializado apoya la validación de hipótesis. Todo se realiza bajo protocolos rigurosos que aseguran la cadena de custodia y la integridad de las pruebas. La investigación sobre muertes violentas por armas de fuego en Guayaquil empleó un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. Se usaron herramientas como SPSS, Excel, QGIS y NVivo para analizar datos oficiales y secundarios, identificar zonas críticas mediante mapas de calor, y codificar temáticamente causas de violencia como el crimen organizado y conflictos personales (11). El análisis espacial reveló focos delictivos en suburbios y zonas densamente pobladas. Además, se aplicaron series temporales y correlaciones con factores socioeconómicos. El tratamiento incluyó una revisión sistemática de literatura, informes institucionales y criterios de selección rigurosos para identificar patrones comunes de violencia (12).

## RESULTADOS



En base a la investigación realizada sobre la incidencia de muerte violentas por armas de fuego en Guayaquil-Ecuador, los resultados obtenidos fueron los siguientes: La provincia más afectada ha sido Guayas, que en el primer trimestre del año 2025 se reportó un total de 1.208 homicidios, de los cuales 741 tuvieron lugar en su capital, Guayaquil. Esta cifra refleja no solo una tendencia sostenida al alza, sino también la consolidación de un escenario urbano donde el uso de la violencia letal se ha convertido en una herramienta sistemática para la resolución de conflictos, la imposición del control territorial y el ejercicio de poder por parte de actores armados ilegales.

El estudio permitió detectar una serie de elementos adicionales que profundizan la comprensión del fenómeno de la violencia armada en Guayaquil. Uno de los más relevantes fue la identificación de zonas de concentración delictiva, las llamadas "zonas calientes", definidas por la reiteración de eventos violentos en puntos específicos del espacio urbano. Estas áreas se localizan principalmente en ejes cercanos a puertos, vías de escape rápidas y espacios de tránsito comercial, lo que facilita tanto la comisión como la evasión posterior al crimen.

Las organizaciones criminales tienen una estrecha relación con las armas de fuego y la generación de violencia en la sociedad, pues a través de estas los grupos criminales establecen sus renombres y jerarquía entre ellos, mantienen el control territorial, protegen sus economías criminales y son capaces de crear entornos sociales inestables, favorables para la consecución de sus fines. Esto se puede observar con los distritos Sur, así como Esteros, los cuales son los territorios que contienen geográficamente a los diferentes puertos marítimos de Guayaquil y que presentan la mayor cantidad de muerte violentas por armas de fuego a nivel nacional.

Además, entre las causas identificadas que explican el incremento de las muertes violentas por armas de fuego en Guayaquil, se destacan factores vinculados a la criminalidad organizada y al narcotráfico, ya que la ubicación geográfica de Guayaquil, con su puerto marítimo y cercanía a rutas internacionales de narcotráfico, convierte a la ciudad en un punto estratégico para organizaciones criminales transnacionales. Otro motivo se trata de las disputas territoriales entre bandas vinculadas al narcotráfico, lo que se traduce en altos niveles de violencia letal para controlar zonas de distribución, almacenamiento y tránsito de drogas. Se identifican como causa común los asesinatos por venganza o ajuste de cuentas ya que muchos homicidios responden a conflictos previos entre individuos o grupos delictivos, donde el asesinato funciona como represalia o forma de mantener el control mediante el terror.

El procesamiento de los registros oficiales evidenció que los homicidios se concentran en determinadas áreas urbanas caracterizadas por altos niveles de exclusión social, infraestructura precaria y escasa cobertura institucional. Estas zonas mostraron una frecuencia sostenida de eventos letales, lo que confirma su condición de espacios críticos para la intervención estatal. El análisis espacial permitió, además, construir mapas de calor que muestran claramente la distribución desigual de la violencia, con focos bien delimitados en sectores portuarios y barrios periféricos. La existencia de pandillas organizadas en sectores



empobrecidos, compuestas en su mayoría por jóvenes sin acceso a educación, empleo, ni protección social, genera entornos propicios para la violencia armada, por lo tanto, estas pandillas sirven como brazo ejecutor de grupos del crimen organizado o actúan de forma autónoma, participando en extorsiones, microtráfico y enfrentamientos entre bandas rivales.

**Tabla 1. Perfil de las Víctimas por Armas de Fuego en Guayaquil.**

Características	Porcentaje / Detalle
Sexo masculino	85%
Rango de edad	18 a 35 años
Zonas de mayor incidencia	Sauces, Guasmo, Durán
Tipo de zona	Alta densidad poblacional, presencia de bandas

**Nota:** La mayoría de las víctimas son hombres jóvenes que viven en zonas con alta violencia y concentración de bandas.

**Tabla 2. Franja Horaria de los Incidentes.**

Horario	Porcentaje de casos	Observación
20:00 - 02:00	55%	Coincide con informes de mayor actividad delictiva

**Nota:** Los incidentes se concentran en la noche, cuando hay más actividad delictiva reportada en la ciudad.

**Tabla 3. Armas Utilizadas en los Hechos Violentos**

Tipo de arma	Calibres más comunes	Origen	Distancia de uso	Porcentaje de casos
Pistola	9mm, .38	Ilegal (según Dirección de Armas)	Corta distancia	75%

**Nota:** Las pistolas ilegales de 9mm y .38 predominan en los hechos violentos a corta distancia.

Los informes técnico-periciales revelaron que la mayoría de los crímenes fueron cometidos con armas de fuego de uso ilegal, siendo frecuentes los hallazgos de casquillos percutidos, residuos balísticos y proyectiles deformados en los cuerpos de las víctimas, el análisis de trayectoria balística y localización de los impactos permitió inferir que muchos de los disparos fueron realizados a corta distancia y con precisión dirigida. Además, los informes forenses revelan que un alto porcentaje de las víctimas presentaban múltiples impactos de bala, lo que indica un patrón de violencia extrema e intencionalidad de causar la muerte de forma inmediata, sin dejar posibilidad de supervivencia. En muchos casos, se registró que los disparos estaban dirigidos a zonas vitales como el tórax, cabeza y cuello, lo que refuerza la hipótesis de asesinatos premeditados y selectivos.

La distribución temporal de los crímenes también mostró un aumento significativo durante fines de semana y feriados, especialmente en sectores con alta actividad comercial informal y



eventos públicos, lo cual sugiere una mayor vulnerabilidad durante períodos de mayor tránsito y aglomeración. Por otro lado, los registros policiales indican que una parte de los asesinatos se ejecutaron desde vehículos en movimiento, lo que complica la identificación de los responsables y facilita su fuga.

En relación con las técnicas utilizadas por los agresores, se observó un uso frecuente de motocicletas y vehículos sin identificación para cometer los homicidios. Esta modalidad facilita la movilidad rápida y dificulta la labor investigativa. Además, se identificaron casos en los que los agresores actuaron cubiertos con prendas oscuras o encapuchados, con una planificación previa de la escena, lo que refuerza la hipótesis de asesinatos ejecutados con precisión operativa.

En cuanto al perfil de las víctimas, una proporción importante no tenía antecedentes penales, lo que evidencia que muchas de ellas fueron afectadas por la violencia debido a factores relacionados con su entorno social o familiar, más que por participación directa en actividades delictivas. Asimismo, se detectó que un número considerable de los hechos ocurrió en espacios públicos, como calles, parques o exteriores de viviendas, aumentando la percepción de inseguridad entre los habitantes de los barrios afectados.

Estos elementos reflejan una compleja interacción de factores estructurales y dinámicas delictivas, donde la juventud, la exclusión social y la falta de oportunidades convierten a ciertos sectores de la población en blanco recurrente de la violencia armada, la cual responde a intereses criminales específicos, se ejerce con métodos cada vez más profesionales y afecta tanto a actores involucrados como a la población, en un contexto marcado por la impunidad, el debilitamiento institucional y la expansión de redes delictivas.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman de manera contundente la hipótesis planteada: la mayoría de las muertes violentas registradas en Guayaquil durante 2024 se relacionan con el uso de armas de fuego, en contextos marcados por criminalidad organizada, pobreza estructural y débil control estatal. Este patrón se alinea con tendencias internacionales observadas en ciudades con altos índices de desigualdad, donde las armas de fuego constituyen la principal herramienta para el ejercicio del poder criminal.

El hallazgo de que el 87,9% de los homicidios fueron cometidos con armas de fuego no solo corrobora estudios previos realizados en Ecuador, sino que también excede ampliamente los promedios regionales y globales, que según datos de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) se sitúan en torno al 75% en América Latina y al 45% a nivel mundial (13). Esta cifra posiciona a Guayaquil en un estado de alarma crítica respecto al uso de armas de fuego en crímenes violentos. Investigaciones realizadas en países como México y Brasil han reportado patrones similares, donde el fácil acceso a armamento ilegal, sumado a estructuras criminales consolidadas, ha contribuido a la escalada de violencia letal (14). En



este contexto, se refuerza el conocimiento existente que vincula la proliferación de armas de fuego ilegales con el aumento de homicidios intencionados en zonas urbanas.

En relación con los objetivos específicos del estudio, se identificó que el 85% de las víctimas eran hombres jóvenes entre 18 y 35 años, principalmente residentes de sectores como Saucos, Guasmo y Durán. Este perfil coincide con hallazgos en otras investigaciones regionales, como las realizadas por el Instituto Igarapé en Brasil, que destacan la concentración de violencia armada en jóvenes de contextos urbanos empobrecidos. Así, se evidencia una clara relación entre edad, entorno socioespacial y probabilidad de ser víctima de homicidio. La convergencia de estos resultados con estudios internacionales permite afirmar que Guayaquil presenta patrones de victimización y uso de la violencia letal consistentes con otros contextos latinoamericanos marcados por el crimen organizado, la desigualdad estructural y la debilidad institucional.

El análisis balístico reveló que el 75% de los homicidios fueron cometidos con pistolas calibre 9mm, la mayoría de origen ilegal, disparadas a corta distancia. Esta información técnica, aportada por peritajes forenses, sustenta que muchos de estos asesinatos no son producto de violencia aleatoria, sino ejecuciones planificadas un patrón típico de las guerras entre bandas del narcotráfico o conflictos personales dentro del crimen organizado (15).

Así mismo (16) en su estudio mencionan que "Conforme a la tabla de caracterización de tipo de arma en el 2020 se tuvo un total de 1372 muertes violentas, de las cuales 807 corresponden a muertes provocadas con armas de fuego, es decir que en un 51,86% del total de las muertes se utilizó este tipo de arma, y en el 2021 se ha tenido un total de 2495 muertes violentas, de las cuales 1824 corresponden a muertes realizadas con armas de fuego, es decir que un 73,11% del total de las muertes se utilizó este tipo de arma.

Un resultado particularmente relevante fue que el 55% de los crímenes se cometieron entre las 20:00 y 02:00 horas, lo que coincide con los horarios de mayor actividad criminal reportados por las fuerzas del orden. Este dato podría orientar futuras estrategias de intervención policial, incluyendo patrullajes focalizados o toques de queda en sectores de mayor incidencia.

Sin embargo, surgieron también hallazgos anómalos que requieren discusión. Por ejemplo, aunque los datos esperaban concentrarse en distritos tradicionalmente peligrosos, se registraron aumentos atípicos de homicidios en zonas donde no había antecedentes significativos de violencia armada. Aunque no se encontró una explicación concluyente, se plantea la posibilidad de una expansión territorial de grupos delictivos o desplazamientos internos por amenazas en sectores dominados por bandas. Estas anomalías requieren mayor seguimiento con estudios longitudinales y entrevistas en campo.

Adicionalmente, si bien se esperaba que todos los casos estuvieran claramente vinculados al crimen organizado, se identificaron algunos homicidios aparentemente aislados, sin conexión visible con pandillas ni antecedentes penales de las víctimas. Esto podría deberse a limitaciones en los datos disponibles o al subregistro de conflictos personales no



documentados, lo que resalta la importancia de continuar fortaleciendo la cadena investigativa y judicial.

Sin embargo (17) destaca que “Las estadísticas que tradicionalmente se utilizan en Guayaquil, son reportes de denuncias de delitos, sean de la Policía Nacional o de la Fiscalía Distrital del Guayas, pero estas no reflejan los niveles reales de la victimización, puesto que la cifra de la no denuncia es muy alta, Según la primera Encuesta de Victimización y Percepción de inseguridad en Guayaquil se tiene una tasa de denuncia de 30%, de todos los robos con violencia a personas, producto principalmente de la desconfianza en las instituciones encargadas de garantizar la seguridad”.

Desde una perspectiva forense, la investigación refuerza el papel clave de la balística, análisis de ADN, reconstrucción de escenas y georreferenciación del delito para esclarecer hechos violentos. El uso combinado de métodos cuantitativos y cualitativos permitió no solo describir el fenómeno, sino también interpretarlo dentro de un marco multidimensional, que incluye variables sociales, económicas y criminales.

(18) Afirma que “existe una mayor incidencia en áreas como Modelo, 9 de octubre y Sur-DMG; mientras que zonas como Progreso y Ceibos muestran una menor intervención delictiva. Además, el 17% reporta robos de bienes, accesorios y autopartes, mientras que el 4% menciona robos a unidades económicas”. Para (17) estas estadísticas se dan por que históricamente los asentamientos poblacionales en la ciudad de Guayaquil se han realizado a través de tomas ilegales, además, de ser la ciudad comercial con mayor movimiento económico del Ecuador.

La discusión confirma que la violencia armada en Guayaquil no es un fenómeno espontáneo, sino el resultado de una estructura criminal consolidada, favorecida por la debilidad institucional, el tráfico de armas, la exclusión social y el control territorial de bandas. A pesar de algunos resultados atípicos, los datos en general validan la hipótesis inicial y exigen una respuesta integral que articule políticas públicas, control de armas, justicia forense y programas comunitarios de prevención de violencia.

Estos hallazgos permiten anticipar, en un escenario futuro, que la persistencia de factores estructurales como la exclusión social, la debilidad institucional y la presencia de economías criminales seguirá alimentando la violencia armada en Guayaquil. De no mediar intervenciones integrales y sostenidas, la ciudad continuará enfrentando altos niveles de homicidios, con impactos directos en la seguridad ciudadana y la cohesión social.

## CONCLUSIONES

En los últimos años, el número de muertes violentas en Guayaquil por armas de fuego ha aumentado dramáticamente, la magnitud de la necesidad es revelada por estadísticas nacionales, donde Ecuador ha tenido la tasa más alta de muertes violentas en América con 47 por cien mil residentes el año pasado, lo que representa un 8.33 veces más que en 2016 según

análisis originales. Desde 2020, los homicidios casi han duplicado el número media al año, y el uso de armas de fuego para los asesinatos ha alcanzado una ovación paralela. Hasta la presente, el 87.9% de todos los homicidios y asesinatos en Ecuador son cometidos con armas de fuego, lo que supera ampliamente al promedio regional (75%) y mundial (45%). Específicamente en Guayaquil, la proporción de muertes violentas causadas por disparos ha aumentado drásticamente de seis de cada diez en 2018 a nueve de cada diez en 2023, subrayando el papel central de las armas de fuego en la ola de violencia que enfrenta el país.

En cuanto a las características sociodemográficas de las víctimas, la investigación arroja conclusiones contundentes. Se encontró que el 85% de las víctimas de muertes violentas por armas de fuego en Guayaquil fueron hombres jóvenes. La edad predominante de estas víctimas se sitúa entre los 18 y los 35 años. Geográficamente, estas muertes se concentran principalmente en zonas con alta densidad poblacional y una notoria presencia de grupos delictivos, como Saucos, Guasmo y Durán. La identificación de estas áreas críticas es fundamental para la formulación de estrategias de prevención y control. Además, el análisis temporal reveló que el 55% de los casos ocurrieron entre las 20:00 y las 02:00. Este lapso coincide con los informes policiales que señalan este período como el de mayor actividad delictiva en la ciudad.

La información recopilada demuestra que en tres de cada cuatro casos se usan pistolas 9mm y .38, casi siempre de origen ilegal y a corta distancia, lo que apunta a ataques planeados y ajustes de cuentas. Todo esto confirma que la violencia armada en la ciudad está ligada a problemas sociales como el desempleo y la falta de oportunidades, y que afecta especialmente a quienes viven en zonas más vulnerables.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a la Mgs. Verónica Cáceres por su destacada participación y valioso aporte en el desarrollo de este artículo científico; su compromiso, experiencia profesional y disposición constante para compartir sus conocimientos fueron fundamentales en cada etapa del proceso investigativo, contribuyendo significativamente al logro de los objetivos planteados.

De igual manera, expresamos nuestro profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo por el respaldo institucional brindado. El acceso a sus recursos, el ambiente académico y el constante estímulo a la investigación fueron elementos clave que permitieron llevar a cabo este proyecto con éxito. La colaboración de esta casa de estudios refleja su firme compromiso con el avance científico y la formación de profesionales íntegros y comprometidos con el desarrollo de la sociedad.



## DECLARACIÓN DE INTERÉS

Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de intereses financieros o personal, sin embargo, si académico ya que ha sido influido en la elaboración, análisis o redacción del presente artículo titulado “La creación y optimización de laboratorios de criminalística como estrategia clave para combatir el crimen organizado y la impunidad en el sistema de justicia penal”.

Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del manuscrito.

## CONTRIBUCIONES DE AUTOR

El documento proporcionado detalla las diversas contribuciones, principalmente presenta los hallazgos y detalles de un estudio sobre muertes violentas por armas de fuego en Guayaquil, Ecuador. Los autores figuran en todo el artículo la incidencia y prevalencia de muertes por el uso de las mismas, además se mencionaron algunas alternativas que pueden ser aplicadas por las autoridades para reducir el impacto ante la sociedad y preservar la seguridad de la población en general.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Román MdC, López Bravo M, Mejía Suarez E, Ordoñez Mullo L. MUERTES POR LESIONES PRODUCIDAS POR ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS, REGISTRADAS EN EL INSTITUTO DE CIENCIAS FORENSES Y CRIMINALÍSTICA DE QUITO DESDE EL AÑO 2017 AL 2019. UNIVERSIDAD, CIENCIA Y TECNOLOGÍA. 2020 Agosto; 24(103).
2. Damián Concha LR, Merino Salazar LA. Las armas fantasmas y su relación con las muertes violentas en la provincia del Guayas, un estudio desde la balística. Dom. Cien. 2025; 11(2).
3. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. Impacto directo de las armas de fuego. [Online].; 2025 [cited 2025 Junio 02. Available from: <https://sherloc.unodc.org/cld/es/education/tertiary/firearms/module-1/key-issues/direct-impact-of-firearms.html>.
4. Álvarez Velasco C, Jiménez G. Lesiones con armas de fuego: sobreviviendo a la violencia armada en Ecuador. E&c. 2020 Junio; 1(10).
5. Bazán C. Ecuador, uno de los países más violentos de Latinoamérica, extrema seguridad ante comicios. [Online].; 2025 [cited 2025 Junio 02. Available from:



<https://www.swissinfo.ch/spa/ecuador%2C-uno-de-los-pa%C3%ADses-m%C3%A1s-violentos-de-latinoam%C3%A9rica%2C-extrema-seguridad-ante-comicios/88844867>.

6. Álvarez Velasco C. ARMAS DE FUEGO Y EL INCREMENTO DE LA VIOLENCIA: recomendaciones para una política de desarme en Ecuador Quito: Friedrich-Ebert-Stiftung (FES) Ecuador; 2025.
7. Saltos Ormaza SG, Demera Ostaiza ET, Díaz Loor EG. Evaluación de la escena del crimen en el sicariato en Ecuador. Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades. 2024; 5(6).
8. Nivicela-Robles GF. Los delitos de asesinatos múltiples en el nuevo escenario ecuatoriano. Digital Publisher CEIT. 2024; 9(6).
9. Cadena E. Metodología de la Investigación Guía general de estudios de la asignatura Quito: TALLPA; 2024.
10. Álvarez C. Armas de fuego y el incremento de la Violencia: recomendaciones para una política de desarme en Ecuador. Friedrich Ebert Stiftung. 2025.
11. Osvaldo Ronelli J. Manual de enfoques científicos y fundamentos sobre criminalística: una mirada actualizada: Instituto Universitario de la Policía Federal; 2024.
12. Gómez Jiménez R, Vicente Nicastro R. Manual De Procedimientos De Auditoría Forense. Primera ed. Santo Domingo: Asociación Interamericana de Contabilidad; 2025.
13. O'neill Mccleskey C. InSight Crime. [Online].; 2020. Available from: <https://insightcrime.org/news/brief/firearm-homicides-latin-america/>.
14. Alvarez C. Global Initiative. [Online].; 2024. Available from: <https://globalinitiative.net/analysis/firearms-trafficking-and-violence-in-ecuador/>.
15. UNICEF. UNICEF. [Online].; 2023. Available from: <https://www.unicef.org/lac/en/armed-violence-impact-children-adolescents>.
16. Balladares E, Valencia I. Escalada de violencia, motivación y caracterizaciones en Guayaquil. [Online].; 2022. Available from: <https://editorial.ucsg.edu.ec/alternativas/alternativas/article/view/363/305>.



17. Correa H. Análisis de la causalidad de las muertes violentas y su relación con el PIB: caso Guayaquil. [Online].; 2020. Available from: <https://www.redalyc.org/journal/5732/573263325001/573263325001.pdf>.
18. Cabezas P. Incidencia de factores sociales y económicos en la criminalidad en Guayaquil, Ecuador. [Online].; 2024. Available from: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2422-42002024000200010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2422-42002024000200010).
19. Abad J. BOLETÍN BIMESTRAL DE HOMICIDIOS INTENCIONALES EN ECUADOR. Fundación panamericana para el desarrollo. 2023;: p. 31.
20. Álvarez C. TRÁFICO DE ARMAS DE FUEGO Y VIOLENCIA EN ECUADOR. [Online].; 2024. Available from: [https://globalinitiative.net/wp-content/uploads/2024/06/Carla-A%CC%81lvarez-%C2%BFEl-parai%CC%81so-perdido\\_-Tra%CC%81fico-de-armas-de-fuego-y-violencia-en-Ecuador-GI-TOC-junio-2024.pdf](https://globalinitiative.net/wp-content/uploads/2024/06/Carla-A%CC%81lvarez-%C2%BFEl-parai%CC%81so-perdido_-Tra%CC%81fico-de-armas-de-fuego-y-violencia-en-Ecuador-GI-TOC-junio-2024.pdf).



# LA CREACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LABORATORIOS DE CRIMINALÍSTICA COMO ESTRATEGIA CLAVE PARA COMBATIR EL CRIMEN ORGANIZADO Y LA IMPUNIDAD EN EL SISTEMA DE JUSTICIA PENAL

## THE CREATION AND OPTIMIZATION OF CRIMINALISTICS LABORATORIES AS A KEY STRATEGY TO COMBAT ORGANIZED CRIME AND IMPUNITY IN THE CRIMINAL JUSTICE SYSTEM

Diego Fabian Haro Arias<sup>1</sup>, Verónica Paulina Cáceres Manzano<sup>2</sup>

[diegof.haro@unach.edu.ec](mailto:diegof.haro@unach.edu.ec)<sup>1</sup>, [vcaceres@unach.edu.ec](mailto:vcaceres@unach.edu.ec)<sup>2</sup>

Fecha de recepción: 27/05/2025/ Fecha de aceptación: 15/06/2025/ Fecha de publicación: 16/06/2025

**RESUMEN:** Actualmente el crimen organizado y la impunidad en el sistema penal representan desafíos para la seguridad y la justicia ya que la falta de laboratorios de criminalística eficientes y tecnológicamente avanzados limita la capacidad de investigación, afectando la recolección, análisis y validez de pruebas forenses, debilitando los procesos judiciales. Ante este panorama, el objetivo del estudio es analizar como la creación y optimización de laboratorios forenses son una estrategia prioritaria para fortalecer la investigación criminal en Ecuador. Mediante un enfoque cualitativo y descriptivo, con un diseño no experimental transversal, el estudio contrasta las limitaciones del sistema forense ecuatoriano con estándares internacionales y mejores prácticas en criminalística, obteniendo como resultado que los países donde se han realizado inversiones sostenidas en la infraestructura forense, incorporación de tecnología avanzada, la implementación de protocolos estandarizados y la formación de personal altamente especializado y capacitado, han logrado avances notables en la resolución y eficacia de delitos. Sin embargo, en Ecuador, se ha evidenciado una deficiencia en la cantidad y calidad de los laboratorios forenses, la escasez de personal técnico especializado y capacitado. Esto principalmente en las provincias con mayores índices de delitos, como Guayas, Esmeraldas y Manabí, en los cuales la mayoría de los delitos no se judicializa por sicariato y el 72% está en investigación previa. Así se concluyó la creación y fortalecimiento de laboratorios forenses es fundamental para combatir el crimen organizado y reducir la impunidad en Ecuador. Superar las deficiencias en infraestructura, personal y coordinación institucional, junto con la adopción de estándares internacionales y alianzas estratégicas, permitirá construir un sistema forense más eficiente, confiable y justo.

**Palabras clave:** *Criminalística, seguridad, infraestructura, crimen*

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, [https:// https://orcid.org/0009-0004-7282-7653](https://orcid.org/0009-0004-7282-7653)//Estudiante de la Maestría en Criminalística y Ciencias Forenses, Universidad Nacional del Chimborazo, Policía Nacional Ecuador, Unidad Nacional de Protección a Víctimas y Testigos.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0001-5710-5661>, "Grupo Interdisciplinario de Ciencias de la Vida y Productos Naturales" Universidad Nacional del Chimborazo, Docente Facultad de Ciencias de la Salud, Carrera de Laboratorio Clínico y Odontología, Riobamba, Ecuador. Docente de la Maestría en Criminalística y Ciencias Forenses, Riobamba, Ecuador. Universidad Estatal de Bolívar, Carrera de Criminalística, Guaranda Ecuador.



**ABSTRACT:** Currently, organized crime and impunity in the criminal justice system represent challenges for security and justice because the lack of efficient and technologically advanced crime laboratories limits the investigative capacity, affecting the collection, analysis and validity of forensic evidence, weakening judicial processes. Against this backdrop, the objective of the study is to analyze how the creation and optimization of forensic laboratories are a priority strategy to strengthen criminal investigation in Ecuador. Using a qualitative and descriptive approach, with a non-experimental cross-sectional design, the study contrasts the limitations of the Ecuadorian forensic system with international standards and best practices in criminalistics, obtaining as a result that countries where sustained investments have been made in forensic infrastructure, incorporation of advanced technology, implementation of standardized protocols and training of highly specialized and trained personnel, have achieved remarkable progress in the resolution and effectiveness of crimes. However, in Ecuador, there is evidence of a deficiency in the quantity and quality of forensic laboratories and a shortage of specialized and trained technical personnel. This is mainly in the provinces with the highest crime rates, such as Guayas, Esmeraldas and Manabí, where the majority of crimes are not prosecuted and 72% are under preliminary investigation. The creation and strengthening of forensic laboratories are essential to combat organized crime and reduce impunity in Ecuador. Overcoming deficiencies in infrastructure, personnel and institutional coordination, along with the adoption of international standards and strategic alliances, will allow for the construction of a more efficient, reliable and fair forensic system.

**Keywords:** *Criminalistics, security, infrastructure, crime*

## INTRODUCCIÓN

La criminalidad organizada representa un desafío global persistente y complejo para los sistemas de justicia penal. Este fenómeno no solo socava la seguridad pública y la estabilidad institucional, sino que también erosiona la confianza ciudadana en la capacidad del Estado para garantizar justicia y protección efectiva.

En este contexto, Ecuador enfrenta una situación particularmente crítica tomando en cuenta los datos mencionados en el diario Primicias. En Ecuador se registran 1.772 crímenes en lo que va de 2021. La mayoría no se judicializa por el delito de sicariato y el 72% está en investigación previa (1). A nivel de Chimborazo en el periodo 2020-2024 existieron 94 asesinatos, 21 homicidios y 2 sicariatos, de los cuales en el cantón Riobamba se registra una gran parte de los casos mencionados con 60 asesinatos, 7 homicidios y 2 sicariatos (2).

La intersección entre el crimen organizado y el sistema judicial ha generado una coyuntura de gran complejidad, caracterizada por la presencia de carteles internacionales y una alarmante infiltración en las instituciones estatales.

La actual situación ha empeorado la falta de seguridad y ha afectado negativamente la economía y la sociedad del país. Esto ha provocado un aumento de la violencia y la implementación de un estado de excepción. Para que Ecuador recupere la tranquilidad y la estabilidad, necesita que se tomen medidas conjuntas tanto dentro del país como con la ayuda de otros países (3).

Dada su ubicación geográfica, limitando con Colombia y Perú, los dos mayores productores de cocaína del mundo, y su extensa costa en el Pacífico, Ecuador se ha convertido en un punto estratégico para el tráfico global de esta droga (4). Ciudades portuarias como Guayaquil son puntos cruciales de transbordo hacia Europa, mientras que las provincias



costeras de Manabí y Esmeraldas actúan como corredores de tráfico hacia México y Centroamérica (5).

El sistema judicial ecuatoriano, encabezado por la Corte Nacional de Justicia, que incluye una sala especializada en casos penales, se complementa con el Tribunal Constitucional, tribunales especializados, cortes provinciales y juzgados de paz. La fiscalía general es responsable de las investigaciones penales, incluyendo las relacionadas con el crimen organizado (6). Sin embargo, este sistema es notorio y frecuentemente susceptible a la corrupción y la manipulación por parte del crimen organizado y élites corruptas, como lo demuestran las investigaciones de 2023 y 2024 que involucraron a altos funcionarios judiciales (2).

Los laboratorios forenses son unidades especializadas, públicas o privadas, que realizan análisis técnicos-científicos de evidencias físicas, biológicas o digitales relacionadas con investigaciones penales. Estos laboratorios sirven de apoyo al sistema judicial, generando informes periciales que tienen valor probatorio en los procesos penales (7).

La falta de laboratorios de criminalística optimizados y bien estructurados es un factor determinante que contribuye a la impunidad y la debilidad institucional en la lucha contra el crimen organizado. La criminalística, que aplica técnicas y metodologías científicas para el esclarecimiento de delitos, es una herramienta indispensable para la administración de justicia (8).

La evolución de las ciencias forenses como el análisis de ADN, balística, toxicología, informática forense y lofoscopia ha sido crucial para fortalecer los sistemas judiciales. Diversos estudios demuestran que laboratorios forenses bien equipados y gestionados aumentan significativamente las tasas de esclarecimiento de delitos y reducen la impunidad (9).

Ante este panorama, la creación y optimización de laboratorios de criminalística no es solo una necesidad técnica, sino una estrategia clave en la política criminal contemporánea. Estos laboratorios son fundamentales porque ofrecen pruebas objetivas y científicas que respaldan las investigaciones criminales. De esta manera, se asegura una cadena de custodia apropiada y se mantiene la integridad de las pruebas (10).

Para asegurar la eficacia, confiabilidad y transparencia de los análisis forenses, son esenciales la estandarización de procedimientos, la capacitación continua de peritos forenses y la implementación de sistemas de calidad bajo normas internacionales como ISO/IEC 17025 (11).

Asimismo, la optimización de los laboratorios forenses requiere una planificación estratégica que considere la cobertura territorial, las necesidades específicas según los índices delictivos y la interconexión con otras instancias del sistema de justicia, como fiscalías, policías de investigación y tribunales. La interoperabilidad tecnológica, la gestión integral de la información forense y la cooperación internacional en materia de criminalística son factores determinantes para enfrentar eficazmente las amenazas del crimen organizado y reducir los márgenes de impunidad.

El presente estudio tiene como objetivo analizar la importancia de la creación y optimización





de laboratorios de criminalística como estrategia fundamental para combatir el crimen organizado y reducir la impunidad en el sistema de justicia penal. Se busca identificar las principales carencias y retos que enfrenta la infraestructura forense en contextos de alta criminalidad, así como proponer lineamientos para el fortalecimiento institucional y técnico de estos laboratorios.

Se plantea la hipótesis de que, en Ecuador, la convergencia del crimen organizado, manifestada a través de la infiltración en instituciones estatales y el sistema judicial, la presencia de carteles internacionales y la escalada de violencia, constituye una amenaza compleja. En este contexto, la creación y el fortalecimiento de laboratorios de criminalística contribuirán significativamente a elevar los niveles de esclarecimiento de delitos, fortalecer la capacidad de persecución penal del Estado y reducir los índices de impunidad, especialmente en entornos afectados por estructuras criminales organizadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño metodológico que se empleó en este artículo fue de tipo no experimental, debido a que no se manipularon deliberadamente las variables, sino que se observaron los fenómenos tal como ocurrieron en su contexto natural. Se adoptó un enfoque cualitativo, en virtud de la exploración profunda de un fenómeno a través de la recopilación y análisis de datos. El estudio fue de corte transversal, dado que la recolección de datos se realizó en un solo momento del tiempo, y con una secuencia temporal retrospectiva, analizando hechos o situaciones ocurridas en el pasado. En cuanto al nivel de investigación, este fue descriptivo, ya que se centró en detallar y caracterizar los elementos más relevantes del fenómeno estudiado, sin establecer relaciones causales.

La población se fundamentó en bases de datos académicas como Scielo, PubMed, Elsevier, Google Académico, entre otras, las cuales están relacionadas con el tema central de investigación: La creación y optimización de laboratorios de criminalística como una estrategia clave para combatir el crimen organizado y la impunidad en el sistema de justicia penal. Como criterios de inclusión, se consideraron únicamente aquellos documentos publicados entre los años 2020 y 2025, que tuvieran relación directa con las ciencias forenses y la investigación criminal. Se analizaron un total de 25 artículos científicos; sin embargo, cinco de ellos fueron excluidos: tres por estar fuera del rango temporal establecido (publicados en 2018 y 2019) y dos por no contener información relevante o vinculada al objeto de estudio. Como resultado, se seleccionaron 20 artículos científicos que cumplieron con los requisitos de pertinencia, actualidad y calidad metodológica, y que sirvieron como base para el análisis y desarrollo del artículo.

En cuanto al entorno del estudio, este fue de carácter bibliográfico y documental, dado que no se desarrolló en un espacio físico específico como un laboratorio o centro de atención médica. La investigación se fundamentó en la revisión crítica y sistemática de información proveniente de diversas fuentes académicas y oficiales. Se seleccionaron aquellas publicaciones que ofrecían datos actualizados y relevantes sobre la creación, funcionamiento y optimización de laboratorios de criminalística, así como su impacto en el combate al crimen organizado y la reducción de la impunidad. Esta revisión permitió identificar vacíos de conocimiento, contrastar diferentes enfoques teóricos y prácticos, y sustentar con evidencia el análisis realizado en el desarrollo del estudio.



Para el análisis técnico de los laboratorios de criminalística, se consideraron diversos aspectos clave que impactan directamente en su operatividad y eficacia. Las intervenciones técnicas evaluadas incluyeron: Infraestructura física especializada, equipamiento forense, sistemas de gestión de calidad y capacitación técnica del personal.

El análisis y tratamiento de los datos se basó en una revisión estructurada de literatura científica, priorizando artículos científicos indexados, libros especializados, informes técnicos y documentos institucionales emitidos por entidades judiciales y forenses. La información recopilada fue organizada mediante la identificación y codificación de categorías temáticas recurrentes relacionadas con la implementación y optimización de laboratorios de criminalística.

Se aplicó un análisis cualitativo de contenido orientado a identificar patrones temáticos, enfoques metodológicos, conceptos clave y hallazgos relevantes. Mediante un proceso sistemático de codificación, los datos fueron clasificados en categorías como innovaciones tecnológicas en criminalística, infraestructura forense, gestión de evidencia forense, impacto en los procesos judiciales, protocolos y estándares, etc. Esta estructuración facilitó una síntesis crítica comparativa entre las fuentes, la identificación de vacíos en la literatura y la formulación de conclusiones sólidas sobre el papel estratégico de los laboratorios de criminalística en el sistema judicial contemporáneo.

Este enfoque permitió consolidar una base teórica sólida y una visión integral sobre cómo la adecuada implementación y modernización de laboratorios criminalísticos puede constituirse en una estrategia efectiva para el fortalecimiento del sistema judicial frente a las amenazas del crimen organizado.

## RESULTADOS

El análisis exhaustivo de la literatura científica y los documentos oficiales revisados, ha revelado una relación directa y significativa entre la existencia de laboratorios de criminalística bien estructurados y el fortalecimiento de las capacidades estatales para enfrentar eficazmente el crimen organizado, permitiendo así una comparación, de la influencia que tienen los laboratorios forenses de países desarrollados y países subdesarrollados como Ecuador, frente a la lucha contra el crimen organizado (Tabla 1).

En primer lugar, se identificó que los países que han realizado inversiones sostenidas en la infraestructura forense han logrado avances notables en la resolución de delitos, especialmente aquellos vinculados a redes criminales complejas y sofisticadas. Estos progresos están estrechamente relacionados con la incorporación de tecnología avanzada, la implementación de protocolos estandarizados y la formación de personal altamente especializado y capacitado.



**Tabla 1. Laboratorios de criminalística y su impacto en la lucha contra el crimen organizado.**

Aspecto	Situación en países con laboratorios forenses avanzados	Situación en Ecuador
<b>Infraestructura forense</b>	Inversiones sostenidas; tecnología disponible laboratorios modernos y bien equipados.	Carencias estructurales; escasa infraestructura en provincias con alta criminalidad.
<b>Tecnología disponible</b>	ADN, análisis balístico, informática forense de alta precisión.	Tecnología limitada y concentrada en grandes ciudades.
<b>Formación del personal</b>	Personal altamente capacitado y en constante actualización.	Escasez de técnicos especializados y capacitación insuficiente.
<b>Protocolos y estándares</b>	Implementación de normas internacionales y procedimientos estandarizados.	Falta de protocolos claros y de estándares de calidad en el manejo de evidencias.
<b>Gestión de evidencias</b>	Manejo riguroso que garantiza trazabilidad y validez judicial.	Problemas en la cadena de custodia, con riesgo de contaminación o pérdida de pruebas.
<b>Interoperabilidad institucional</b>	Coordinación electiva entre fuerzas del orden, justicia y laboratorios.	Decil articulación entre instituciones del sistema penal.
<b>Cobertura territorial</b>	Laboratorios distribuidos estratégicamente, incluso en zonas con alta criminalidad.	Disparidades geográficas, regiones clave sin acceso a servicios forenses especializados.
<b>Apoyo internacional y cooperación</b>	Alianzas internacionales para transferencia tecnológica y fortalecimiento institucional.	Necesidad urgente de cooperación para modernización y fortalecimiento del sistema.
<b>Legitimidad y confianza institucional</b>	Sistema judicial fortalecido y confiable ante la ciudadanía.	Débil credibilidad institucional y desconfianza ciudadana.

**Nota: Cuadro comparativo sobre los laboratorios forenses avanzados con respecto al Ecuador.**

Los países que han apostado por desarrollar y mantener laboratorios forenses modernos y bien equipados han experimentado un aumento considerable en la eficacia de las investigaciones criminales. La adquisición de tecnología de última generación, como sistemas avanzados de identificación genética (ADN), análisis balístico de alta precisión y herramientas de informática forense, ha sido fundamental para vincular evidencias materiales con los presuntos responsables de delitos. Además, la estandarización de los procedimientos y la capacitación continua del personal técnico han permitido que los resultados obtenidos sean confiables y aceptados en el ámbito judicial, lo que contribuye a disminuir la impunidad.

En el caso particular de Ecuador, los estudios realizados y los informes oficiales evidencian una serie de carencias estructurales en el ámbito forense que dificultan la respuesta efectiva ante la criminalidad. En las provincias con mayores índices de delitos, como Guayas,



Esmeraldas y Manabí, se ha constatado una insuficiencia significativa tanto en la cantidad como en la calidad de los laboratorios forenses disponibles. Esta falta de infraestructura adecuada se acompaña de una escasez de personal técnico especializado y capacitado, lo que limita la capacidad para procesar las evidencias de manera rápida y eficiente.

Esta situación genera un cuello de botella en la cadena de custodia, afectando la integridad y la trazabilidad de las pruebas recolectadas. Además, se identifican deficiencias en la interoperabilidad entre las distintas instituciones que conforman el sistema judicial penal, lo que se traduce en demoras y dificultades para coordinar las investigaciones criminales. Estas falencias repercuten directamente en la efectividad de los procesos judiciales y en la capacidad del Estado para desarticular redes criminales.

Uno de los aspectos más destacados en el análisis es el ámbito tecnológico forense, que se ha identificado como un factor determinante para el esclarecimiento de delitos complejos. Herramientas como la identificación por ADN, el análisis balístico y la informática forense juegan un papel crucial para establecer vínculos entre las evidencias físicas y los sospechosos. Sin embargo, en Ecuador, la cobertura y disponibilidad de estas tecnologías son limitadas y, en muchos casos, se concentran exclusivamente en las grandes ciudades, dejando regiones clave sin acceso a análisis especializados.

Esta disparidad geográfica en la distribución de recursos tecnológicos genera desigualdades en la capacidad investigativa y judicial, afectando especialmente a las zonas con altos índices de criminalidad que no cuentan con laboratorios forenses adecuados. La falta de acceso a tecnología avanzada limita la posibilidad de realizar investigaciones integrales y oportunas, lo que favorece la impunidad y la continuidad de las actividades delictivas.

Otro aspecto fundamental identificado en la revisión es la gestión de evidencias y la calidad institucional. Diversos estudios han resaltado que la ausencia de una gestión adecuada, basada en normas internacionales y estándares de calidad, compromete la validez y la aceptación de los resultados forenses en los tribunales. La falta de protocolos claros y de un manejo riguroso de las pruebas puede llevar a la contaminación, pérdida o manipulación de evidencias, lo que debilita la cadena de custodia y pone en riesgo la credibilidad de los procesos penales.

En contraste, las jurisdicciones que han adoptado y aplicado estándares internacionales en la gestión de evidencias muestran una mayor confiabilidad en sus procesos judiciales, lo que se traduce en una reducción significativa de la impunidad y un fortalecimiento de la justicia penal. La calidad institucional en el manejo forense es, por tanto, un elemento clave para garantizar la efectividad y legitimidad del sistema de justicia.

La política pública y la cooperación internacional emergen como ejes transversales en el análisis, ya que se han identificado múltiples iniciativas exitosas en otras regiones que se sustentan en alianzas entre países, asistencia técnica internacional y financiamiento multilateral para la modernización de laboratorios forenses. Estas colaboraciones han permitido la transferencia de tecnología, la capacitación especializada y la implementación de mejores prácticas que han fortalecido la capacidad investigativa y judicial frente al crimen organizado.

En el contexto ecuatoriano, la necesidad de fortalecer estas alianzas es especialmente



urgente debido al aumento de la criminalidad y la incidencia del narcotráfico transnacional. La cooperación internacional puede aportar recursos, conocimientos técnicos y apoyo institucional que faciliten la modernización y expansión de la infraestructura forense, así como la formación de recursos humanos especializados.

Los resultados obtenidos a partir del análisis confirman que la creación y optimización de laboratorios de criminalística no solo responde a una necesidad técnica, sino que constituye una herramienta indispensable y estratégica para la lucha contra el crimen organizado. La carencia de infraestructura adecuada, la falta de personal capacitado y la ausencia de estándares de calidad en Ecuador han contribuido a mantener elevados niveles de impunidad, afectando la administración de justicia penal y la confianza de la sociedad en las instituciones.

Por lo tanto, el fortalecimiento integral del sistema forense se presenta como una condición indispensable para mejorar la eficacia de la justicia penal y recuperar la credibilidad ciudadana. Esto implica no solo la inversión en tecnología y equipamiento, sino también la formación continua del personal, la implementación de protocolos internacionales, la mejora en la gestión de evidencias y la promoción de políticas públicas que incentiven la cooperación nacional e internacional.

En síntesis, el desarrollo de laboratorios criminalísticos robustos y modernos es una pieza clave para enfrentar con éxito las complejidades del crimen organizado, garantizando procesos judiciales más transparentes, efectivos y justos, que contribuyan a la seguridad y bienestar de la población.

## DISCUSIÓN

(13) revela que en los laboratorios de criminalística bien estructurados contribuyen significativamente al fortalecimiento de las capacidades estatales para enfrentar el crimen organizado ya que estos autores destacan que los países que han realizado inversiones sostenidas en infraestructura forense han logrado avances importantes en la resolución de delitos, especialmente aquellos relacionados con redes criminales complejas y sofisticadas. Sin embargo, (7) advierte que dichos avances pueden verse limitados si no se acompañan de reformas legales e institucionales que garanticen un uso eficaz y ético de las herramientas forenses. En este sentido, los progresos observados están directamente vinculados con la incorporación de tecnología avanzada, la aplicación de protocolos estandarizados y la capacitación continua de personal altamente especializado, elementos que son clave para asegurar el impacto real de la criminalística en la lucha contra el crimen organizado (13).

(3) sustentan que los países que han apostado por desarrollar y mantener laboratorios forenses modernos y bien equipados han experimentado mejoras sustanciales en la eficacia de las investigaciones criminales, por lo tanto, estos autores coinciden en que la incorporación de tecnología de última generación como sistemas avanzados de identificación genética (ADN), análisis balístico de alta precisión y herramientas de informática forense ha sido clave para establecer vínculos sólidos entre la evidencia material y los presuntos responsables de los delitos. Asimismo, destacan que la estandarización de los procedimientos y la capacitación continua del personal técnico no solo incrementan la confiabilidad de los resultados, sino que también aseguran su aceptación en procesos



judiciales. En conjunto, estos factores contribuyen de manera significativa a la reducción de la impunidad y al fortalecimiento del sistema de justicia penal.

Arregui Reyes coinciden en que la efectividad de la criminalística no depende únicamente de la existencia de laboratorios, sino también de su calidad operativa, del personal capacitado y de su adecuada integración institucional. En Ecuador, los estudios e informes oficiales revelan serias deficiencias estructurales en el ámbito forense, lo que limita la capacidad estatal para enfrentar eficazmente la criminalidad. En provincias con alta incidencia delictiva como Guayas, Esmeraldas y Manabí, se observa una notoria escasez de laboratorios adecuados y personal técnico especializado. Esta situación compromete la eficiencia en el análisis de evidencias y a su vez, destacan que, sin inversión sostenida en talento humano y tecnología, el impacto forense sobre la seguridad y la justicia resulta limitado, ya que la realidad ecuatoriana evidencia, por tanto, la necesidad urgente de fortalecer el sistema forense desde un enfoque integral (18).

Yáñez destaca que las deficiencias en la infraestructura forense, la falta de coordinación interinstitucional y los vacíos en los procedimientos afectan directamente la efectividad del sistema penal. En este sentido, la situación en Ecuador evidencia cómo estas debilidades generan cuellos de botella en la cadena de custodia, comprometiendo la integridad y trazabilidad de las pruebas recolectadas en la interoperabilidad entre los actores del sistema judicial es fundamental para garantizar investigaciones eficientes y decisiones judiciales fundamentadas. Sin embargo, la desarticulación entre instituciones como la Policía, Fiscalía y laboratorios forenses que provoca demoras significativas en los procesos y obstaculiza la lucha contra el crimen organizado. Estas falencias estructurales debilitan la capacidad del Estado para llevar a cabo investigaciones rigurosas y afectan su eficacia para dismantelar redes criminales complejas (21).

Espinoza & Álvarez menciona que la investigación de delitos informáticos en Ecuador se ha convertido en un gran desafío debido al aumento de la conectividad y la sofisticación de las técnicas delictivas, en este contexto, la informática forense juega un papel crucial en la identificación, preservación y análisis de evidencias digitales; no obstante, existen desafíos significativos en la ley en cuanto se refiere a su aplicación práctica, que incluya la necesidad de un marco legal más específico, capacitación de los investigadores forenses, y la necesidad de actualizar las normas para reflejar los avances tecnológicos (6).

Uriarte señalan que la desigual distribución de recursos forenses genera desigualdades en la capacidad investigativa y judicial, afectando sobre todo a zonas con altos índices de criminalidad. En Ecuador, esta disparidad limita el acceso a tecnologías avanzadas y laboratorios adecuados, lo que dificulta investigaciones oportunas y completas. Esta falta de cobertura favorece la impunidad y permite que las actividades delictivas, especialmente las del crimen organizado, continúen operando con menor riesgo (22).

Según Linzi (2020) el reto para el desarrollo internacional de los estándares de ciencia forense consistirá en la elaboración de estos pero que no sean prescriptivos con respecto a la metodología, sin embargo, incorporen las prácticas ya aceptadas en el campo; la acreditación en los laboratorios forenses y las actividades de inspección se han convertido en un estándar de mejora en informes y estudios internacionales ya establecidos.



Para (1) la adopción de tecnologías innovadoras, la formación continua del personal y la optimización de los procesos de trabajo han contribuido a agilizar los tiempos de entrega de resultados, incrementar el porcentaje de casos resueltos y manejar una mayor cantidad de evidencias. Estos avances son el resultado de iniciativas institucionales orientadas a reforzar las capacidades forenses y consolidar su rol clave dentro del sistema de justicia ecuatoriano, los análisis forenses, cuando se realizan con rapidez y precisión, ofrecen a las entidades investigativas y al Poder Judicial fundamentos técnicos robustos que sustentan sus decisiones y promueven una justicia más eficiente.

(17) menciona que la acreditación es una actividad que requiere estar en sintonía con normas que establecen requisitos para demostrar la competencia y la confianza de las actividades que realizan en los laboratorios o las actividades de inspección forense, esto es para que las características, especificaciones y requerimientos necesarios se contemplen bajo un estándar global que permita entenderse entre instituciones internacionales.

(7) advierte que dichos avances pueden verse limitados si no se acompañan de reformas legales e institucionales que garanticen un uso eficaz y ético de las herramientas forenses. En este sentido, los progresos observados están directamente vinculados con la incorporación de tecnología avanzada, la aplicación de protocolos estandarizados y la capacitación continua de personal altamente especializado, elementos que son clave para asegurar el impacto real de la criminalística en la lucha contra el crimen organizado.

La criminalística se apoya en laboratorios forenses bien estructurados, equipados con tecnología de punta y operados por personal altamente capacitado, representa una herramienta clave para fortalecer la capacidad estatal frente al crimen organizado. Sin embargo, también se advierte que su efectividad depende de factores estructurales e institucionales, como la coordinación interinstitucional, la equidad en el acceso a recursos y la implementación de reformas legales que aseguren el uso ético y eficiente de las herramientas forenses.

En el caso de Ecuador, persisten serias limitaciones en infraestructura, cobertura tecnológica y articulación institucional, especialmente en provincias con alta incidencia delictiva, lo que compromete la eficacia del sistema de justicia penal. Por tanto, se hace urgente una inversión integral y sostenida que contemple no solo la modernización de laboratorios, sino también la capacitación del talento humano, la mejora en los procesos y una distribución equitativa de recursos para garantizar un sistema forense robusto, eficiente y justo en todo el territorio nacional.

## CONCLUSIONES

La creación y optimización de laboratorios de criminalística resulta esencial para fortalecer el sistema de justicia penal y combatir el crimen organizado ya que estos espacios permiten una recolección y análisis de evidencias más precisos, lo cual contribuye significativamente a esclarecer delitos. Su implementación mejora la eficiencia en la lucha contra el crimen organizado. Además, reducen los índices de impunidad al aportar pruebas científicas confiables. Por ello, su fortalecimiento debe ser una prioridad en las políticas de seguridad y justicia.



La infraestructura forense en Ecuador revela múltiples deficiencias, entre las principales se encuentran la escasa cantidad y calidad de laboratorios forenses y la falta de personal técnico especializado. También se identifican problemas de coordinación entre instituciones del sistema penal y un acceso desigual a tecnologías forenses avanzadas, concentradas en las grandes ciudades. Además, la ausencia de protocolos claros y de una gestión adecuada de las pruebas debilita la validez de los análisis periciales.

Para el fortalecimiento institucional y técnico de los laboratorios forenses se destaca la necesidad de implementar estándares internacionales en la gestión de evidencias, lo que contribuiría a mejorar la trazabilidad, la calidad de los informes periciales y la credibilidad del sistema judicial. Además, se debe fomentar la cooperación internacional a través de alianzas estratégicas que permitan la transferencia de conocimientos, asistencia técnica y financiamiento multilateral, estos lineamientos, articulados de forma coherente, permitirían avanzar hacia un sistema forense más sólido, eficiente y confiable.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a la Mgs. Verónica Cáceres por su destacada participación y valioso aporte en el desarrollo de este artículo científico; su compromiso, experiencia profesional y disposición constante para compartir sus conocimientos fueron fundamentales en cada etapa del proceso investigativo, contribuyendo significativamente al logro de los objetivos planteados.

De igual manera, expresamos nuestro profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo por el respaldo institucional brindado. El acceso a sus recursos, el ambiente académico y el constante estímulo a la investigación fueron elementos clave que permitieron llevar a cabo este proyecto con éxito. La colaboración de esta casa de estudios refleja su firme compromiso con el avance científico y la formación de profesionales íntegros y comprometidos con el desarrollo de la sociedad.

## DECLARACIÓN DE INTERÉS

Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de intereses financieros o personal, sin embargo, si académico ya que ha sido influido en la elaboración, análisis o redacción del presente artículo titulado “La creación y optimización de laboratorios de criminalística como estrategia clave para combatir el crimen organizado y la impunidad en el sistema de justicia penal”.

Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del manuscrito.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

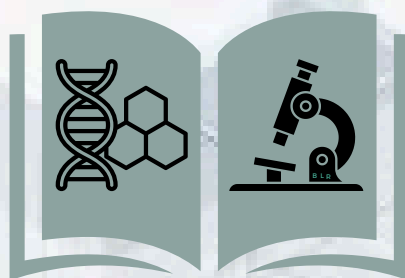
1. Benitez AR, Mendoza ME, Chamorro E. Avances en el procesamiento de evidencias en el laboratorio forense de la Policía Nacional de Ecuador. Revista de Investigación en Seguridad Ciudadana y Orden Público. 2024 noviembre;(9).
2. Chacon PS. Artículos informativos pertenecientes a la Coordinación Técnica de Servicios. Revista Institucional Forenses Ecuador. 2022 diciembre; 2(1).
3. Nuñez J, Fajardo U. Avances en identificación genética y análisis de perfiles de ADN en biología forense. 2024;7(2):222–39. Available from: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/AnatomiaDigital/article/download/3173/8658/>
4. Duarte F. Lo que revela la crisis de Ecuador sobre el comercio mundial de drogas. [Online].; 2024 [cited 2025 06 05. Available from: <https://www.bbc.com/mundo/articles/clmjden7vp1o>.
5. Eche Salvatierra RA, Martinez R, Cedeño MA. Importancia de la medicina legal y forense en la investigación de hechos violentos. Reciamuc. 2023 junio; 7(2).
6. Echeverría EA, Alvarez MS. Análisis de técnicas y herramientas forenses para la investigación de delitos informáticos y su perspectiva legal en Ecuador. Una revision sistemática. Digital Publisher CEIT. 2024 noviembre; 9(6).
7. Edmon J. Avances en forense. Editorial Ciencias Criminales. 2024 julio-septiembre.
8. ESGinnova Group. La norma que garantiza la fiabilidad en laboratorios. [Online].; 2019 [cited 2025 06 05. Available from: <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2019/03/iso-iec-17025-la-norma-que-garantiza-la-fiabilidad-en-laboratorios/#:~:text=El%20objetivo%20principal%20de%20la,a%20las%20que%20se%20dedica>.
9. Fuentes JA. The Basic Structure of the Ecuadorian Legal System and Legal Research. [Online].; 2022 [cited 2025 06 05. Available from: <https://www.nyulawglobal.org/globalex/ecuador1.html>.
10. Insightcrime. Perfil de Ecuador. [Online].; 2024 [cited 2025 06 05. Available from: <https://insightcrime.org/es/noticias-crimen-organizado-ecuador/ecuador/>.
11. International Rescue Committee (IRC). Análisis de Sensibilidad al Conflicto en Ecuador. 2024 noviembre: p. 3-39.
12. Wilson L. El desarrollo internacional de los estándares de la ciencia forense: una revisión. ELSEVIER. 2018 julio; 288.
13. Ramiro A, Mangia B, Elias M, Bone M, Edison B, Vallejo C. Avances en el procesamiento de evidencias en el laboratorio forense de la Policía Nacional de Ecuador Progress in the processing of evidence in the forensic laboratory of the National Police of Ecuador. 2024;103–12. Available from: <https://innovacionsaber.isupol.edu.ec/index.php/innovacion/article/download/287/597/>





14. Mella C. El 72% de casos por crímenes violentos está en investigación previa. [Online].; 2021 [cited 2025 06 03. Available from: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/procesos-crimenes-violentos-investigacion-previa-ecuador/>.
15. Torre E. Avances en la identificación genética y el análisis de perfiles de ADN en biología forense. [Online].; 2024 [cited 2025 06 08. Available from: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/AnatomiaDigital/article/view/3173>.
16. Observatorio Ecuatoriano de Crimen Organizado (OECO). Numero de homicidios. [Online].; 2024 [cited 2025 06 09. Available from: <https://oeco.padf.org/visualizador-de-datos-numero-de-homicidios/>.
17. Pichardo JA, Canizales R. El proceso de gestión de la calidad en los laboratorios forenses: un avance global hacia una interpretación local. *Revista Misiòn Jurídica*. 2024; 17(26).
18. Arregui Reyes RJ, Bazantes Poveda MY, Corral Calderón GX. La Criminalística como ciencia y su importancia en la legislación penal ecuatoriana. *LATAM Rev Latinoam Ciencias Soc y Humanidades* [Internet]. 2023;4(6):1393–407. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9586653.pdf>
19. Cabezas G, Rodriguez M, Sierra J, Florez M. Incidence of social and economic factors in the crime rate in Guayaquil, Ecuador. *Revista Logos Ciencia y Tecnología*. 2024 mayo-agosto; 16(2).
20. Leon D, Gallegos S. Anàlisis de errores en la cadena de custodia y su impacto en la confiabilidad de la evidencia. *Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*. 2025 abril; 10(4).
21. Ochoa Arévalo PA. El tratamiento de la evidencia digital, una guía para su adquisición y/o recopilación. *Rev Econ y Política* [Internet]. 2018;XIV(28):35–46. Available from: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/REP/article/download/1864/1529/6532><https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/REP/article/download/1864/1529/6532>
22. Cabezas Uriarte GP, Rodríguez Barrero MS, Sierra Durán JI, Flórez Guzmán MH. Incidencia de factores sociales y económicos en la criminalidad en Guayaquil, Ecuador. *Rev Logos, Cienc Technol*. 2024;16(2):10–23.





# VITALYSCIENCE

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

VitalyScience Revista Científica  
Multidisciplinaria  
Código Postal 060102

📞 Contacto +593 983 204 362

✉️ [publicaciones@vitalyscience.com](mailto:publicaciones@vitalyscience.com)

Tipo de publicación: periódica

Edición Especial

Soporte: en línea

Temas: Multidisciplinarios

Subtemas: Multidisciplinarios

Editorial: VitalyScience

Revista: Arbitrada

Institución: Privada

Volumen 3 N°6

15 de junio de 2025