

Gestión del riesgo sanitario en agua embotellada: integración de indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y riesgos por cianobacterias en Guayas.

Health Risk Management in Bottled Water: Integration of Physicochemical, Microbiological Indicators and Cyanobacterial Risks in Guayas.

Fabiola Villa Sánchez ¹; Antonio Escobar Machado²; Edisson Lascano Mora ³; Tony Coloma Coloma ⁴; Hernan Villa Sánchez ⁵; Amy Merchán Mendoza ⁶

Recibido: 11/01/2026 – Aceptado: 27/04/2026 – Publicado: 12/07/2026

Artículos de Investigación ☒

Artículos de Revisión ☐

Artículos de Ensayos ☐

* Autor para correspondencia.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0). Los autores conservan los derechos sobre sus artículos y pueden compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra, siempre que se reconozca la autoría, no se utilice con fines comerciales y se mantenga la misma licencia en obras derivadas.

Resumen.

La calidad del agua embotellada representa un desafío creciente para la salud pública, especialmente en contextos con presión ambiental y riesgos emergentes asociados a contaminantes biológicos. El objetivo del estudio fue evaluar la calidad del agua embotellada y su riesgo sanitario mediante indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y la identificación de condiciones favorables para cianobacterias. Se analizaron muestras de distintas marcas comercializadas en Guayaquil mediante espectrofotometría, medición de parámetros fisicoquímicos, filtración por membrana para *Escherichia coli* y detección de microcistinas mediante ensayo enzimático. Los resultados evidenciaron variabilidad significativa entre marcas, con niveles bajos de cloro residual, presencia moderada de nutrientes y eventos puntuales de contaminación microbiológica, lo que indica vulnerabilidad en la estabilidad sanitaria del producto. Además, la combinación de nutrientes y condiciones ambientales sugiere potencial para proliferación de cianobacterias. En conjunto, los hallazgos evidencian que el cumplimiento fisicoquímico no garantiza la inocuidad, destacando la necesidad de un enfoque integral de gestión del riesgo para fortalecer el control de calidad del agua embotellada.

Palabras clave:

Agua Embotellada, Calidad Del Agua, Riesgo Sanitario, Indicadores Fisicoquímicos, *Escherichia Coli*, Inocuidad Microbiológica, Norma INEN 2200.

Abstract.

Bottled water quality represents a growing public health concern, particularly in contexts exposed to environmental pressures and emerging biological contaminants. This study aimed to evaluate bottled water quality and associated health risks using physicochemical and microbiological indicators, as well as conditions favoring cyanobacterial proliferation. Samples from different commercial brands in Guayaquil were analyzed using spectrophotometric methods, physicochemical measurements, membrane filtration for *Escherichia coli*, and enzymatic assays for microcystin detection. Results revealed significant inter-brand variability, characterized by low residual chlorine, moderate nutrient presence, and sporadic microbiological contamination events, indicating vulnerability in product sanitary stability. Furthermore, nutrient availability and environmental conditions suggest potential for cyanobacterial growth. Overall, findings demonstrate that compliance with physicochemical standards does not ensure safety, highlighting the need for an integrated risk management approach to improve bottled water quality control.

Keywords:

Bottled Water, Water Quality, Health Risk, Physicochemical Indicators, *Escherichia Coli*, Microbiological Safety, INEN 2200 Standard.

1.- Introducción

El acceso a agua potable segura constituye uno de los principales desafíos de salud pública a nivel mundial. La calidad del agua destinada al consumo humano debe garantizar la ausencia de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos que puedan representar riesgos para la salud. En este contexto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que la protección de la salud pública depende de una gestión integral del riesgo basada en la vigilancia continua de parámetros de calidad y en la

implementación de planes de seguridad del agua desde la fuente hasta el consumidor [1]

La contaminación del agua representa una amenaza significativa para la salud humana y los ecosistemas. La contaminación microbiológica se asocia principalmente con enfermedades infecciosas de transmisión hídrica, mientras que la contaminación química puede generar efectos crónicos como alteraciones neurológicas, reproductivas y diversos tipos de cáncer. Aunque los procesos de desinfección, particularmente la cloración, han permitido

¹ Universidad de Guayaquil; fabiola.villas@ug.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-9260-5810>, Guayaquil; Ecuador.

² Universidad Nacional del Chimborazo; antonio.escobar@unach.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-9850-0155>, Chimborazo; Ecuador.

³ Universidad de Guayaquil; edisson.lascanomo@ug.edu.ec; Guayaquil; Ecuador.

⁴ Universidad de Guayaquil; tony.colomac@ug.edu.ec; <https://orcid.org/0009-0004-1221-1590>; Guayaquil; Ecuador.

⁵ Investigador Independiente; hvvs@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9087-055X>, Guayaquil; Ecuador.

⁶ Investigador Independiente; amymarchan05@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-5575-2428>; Guayaquil; Ecuador.

reducir considerablemente la incidencia de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua, también pueden producir subproductos químicos potencialmente perjudiciales para la salud cuando no se controlan adecuadamente [2].

La relevancia del control microbiológico del agua ha sido ampliamente documentada. reportaron un brote de gastroenteritis causado por *Shigella sonnei* asociado al consumo de agua de suministro público contaminada, evidenciando que las fallas en los sistemas de desinfección pueden desencadenar importantes problemas de salud pública. Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar sistemas de monitoreo continuo que permitan detectar oportunamente riesgos microbiológicos y prevenir brotes epidémicos [3].

En las últimas décadas, la percepción de inseguridad respecto al agua de red ha impulsado un crecimiento sostenido del consumo de agua embotellada a nivel mundial. El mercado global de agua envasada moviliza miles de millones de dólares anualmente y continúa expandiéndose debido a la percepción de mayor pureza y seguridad sanitaria por parte de los consumidores. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que la calidad del agua embotellada puede verse afectada por factores relacionados con la fuente de captación, los procesos de tratamiento, las condiciones de embotellado, almacenamiento y distribución, generando variabilidad entre marcas y lotes de producción [4].

En Ecuador, el consumo de agua embotellada ha aumentado significativamente debido a la confianza limitada en algunas fuentes de abastecimiento público. En la ciudad de Guayaquil, el 83,8 % de los consumidores reporta utilizar agua envasada de forma habitual, asociando este producto con atributos de seguridad, pureza y calidad. No obstante, investigaciones realizadas en Quito evidenciaron que, aunque los parámetros fisicoquímicos del agua mineral embotellada cumplen generalmente con las normativas nacionales e internacionales, algunas muestras presentaron concentraciones moderadas de bacterias heterótrofas y microorganismos del género *Pseudomonas*, lo que evidencia la necesidad de mantener controles microbiológicos periódicos para garantizar la inocuidad del producto [5].

A pesar de la abundancia de recursos hídricos en Ecuador, persisten importantes desafíos relacionados con la calidad del agua. Particularmente, los indicadores microbiológicos continúan siendo herramientas fundamentales para determinar la inocuidad sanitaria del recurso hídrico, ya que permiten identificar la posible presencia de microorganismos patógenos asociados a contaminación fecal y otros riesgos emergentes. Entre estos últimos destaca la proliferación de cianobacterias productoras de cianotoxinas, considerada actualmente una amenaza creciente para la salud pública y los ecosistemas acuáticos. Factores como el incremento de nutrientes, especialmente

nitrógeno y fósforo, así como el aumento de la temperatura asociado al cambio climático, favorecen los procesos de eutrofización y la proliferación de microorganismos potencialmente tóxicos [6].

Las cianobacterias poseen un metabolismo secundario capaz de producir compuestos tóxicos como microcistinas, anatoxinas y cilindrospermopsinas, las cuales presentan efectos hepatotóxicos, neurotóxicos y dermatotóxicos sobre organismos acuáticos y seres humanos. Estas toxinas pueden liberarse al medio durante la senescencia celular, incrementando el riesgo de exposición a través del consumo de agua contaminada, actividades recreativas y la cadena alimentaria [7].

La provincia del Guayas representa un escenario de especial interés debido a la creciente presión antropogénica sobre sus recursos hídricos. Estudios recientes han identificado contaminación microbiológica en fuentes destinadas al consumo humano. reportó la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* en muestras de agua embotellada comercializada en distintos cantones de la provincia, mientras que detectaron genes asociados a la producción de microcistinas y cilindrospermopsinas en muestras del río Daule. Estos hallazgos evidencian la existencia de riesgos sanitarios potenciales incluso en ausencia de floraciones visibles de cianobacterias [8].

Además, la cuenca del Guayas enfrenta una limitada disponibilidad de información sobre los factores que desencadenan las floraciones algales nocivas y la producción de toxinas en ecosistemas tropicales. Investigaciones recientes señalan que aún se desconocen los umbrales específicos de las variables fisicoquímicas y climáticas que favorecen estos fenómenos en la región. Esta situación resulta particularmente preocupante considerando que el cambio climático podría incrementar la frecuencia e intensidad de las floraciones tóxicas, generando mayores riesgos para la salud humana y ambiental [9].

Desde una perspectiva de salud pública, la gestión de la calidad del agua requiere un enfoque integral que considere tanto los riesgos microbiológicos tradicionales como las amenazas emergentes asociadas a contaminantes biológicos y químicos. Bajo el paradigma de "Una Sola Salud" (*One Health*), resulta indispensable reconocer la estrecha interrelación entre la salud humana, la salud animal y la salud de los ecosistemas acuáticos. En este contexto, la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua constituye una herramienta fundamental para la identificación temprana de riesgos, la formulación de estrategias de mitigación y la protección de la salud de la población [10].

Por lo expuesto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la calidad del agua mediante la determinación de indicadores fisicoquímicos y microbiológicos, con énfasis en la identificación de riesgos sanitarios asociados a microorganismos indicadores y contaminantes emergentes,

contribuyendo al fortalecimiento de los sistemas de vigilancia y gestión de la calidad del agua en la provincia del Guayas [11].

1.1. Gestión del riesgo sanitario en sistemas de agua para consumo humano.

La gestión del riesgo sanitario en sistemas de agua para consumo humano constituye un enfoque integral orientado a la identificación, evaluación y control de peligros que puedan comprometer la salud de la población. Diversos estudios han señalado que la garantía de agua segura no depende únicamente del cumplimiento de parámetros normativos, sino de la implementación de estrategias dinámicas que permitan anticipar y mitigar riesgos a lo largo de toda la cadena de suministro, desde la fuente hasta el consumidor final. En este contexto, el concepto de gestión del riesgo ha evolucionado desde un enfoque reactivo hacia modelos preventivos, en los cuales se prioriza la identificación temprana de peligros y la reducción de su probabilidad de ocurrencia [12].

Desde una perspectiva metodológica, la literatura reciente sugiere que los sistemas de gestión del riesgo en agua potable deben basarse en herramientas como los Planes de Seguridad del Agua, que integran el análisis de peligros, la evaluación de vulnerabilidades y la implementación de medidas de control en cada etapa del proceso. Este enfoque reconoce que los riesgos sanitarios pueden originarse tanto en contaminantes microbiológicos como en compuestos químicos y, más recientemente, en contaminantes emergentes como las cianotoxinas. Asimismo, se enfatiza la necesidad de considerar factores como la variabilidad ambiental, la influencia antropogénica y las condiciones operativas de los sistemas de tratamiento y distribución, los cuales pueden actuar como determinantes críticos en la generación y propagación del riesgo [13].

En relación con las variables analizadas en el presente estudio, la gestión del riesgo sanitario adquiere particular relevancia al evidenciar la interacción entre parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como determinantes de la calidad del agua. La literatura ha destacado que niveles subóptimos de desinfectantes, como el cloro residual, pueden reducir la capacidad de control microbiológico, mientras que la presencia de nutrientes como nitratos y fosfatos puede favorecer procesos de eutrofización y el desarrollo de microorganismos potencialmente nocivos. En este sentido, la evaluación integrada de estos parámetros permite no solo diagnosticar el estado actual del agua, sino también inferir condiciones que podrían incrementar la probabilidad de riesgos sanitarios a lo largo del tiempo [14].

En consecuencia, la adopción de un enfoque de gestión del riesgo en el análisis de agua embotellada resulta fundamental para trascender los esquemas tradicionales basados en el cumplimiento de límites permisibles y avanzar hacia modelos predictivos y preventivos. La identificación de variabilidad en los parámetros evaluados y la detección de eventos puntuales de contaminación

evidencian la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo y control, incorporando indicadores que permitan anticipar riesgos emergentes. De este modo, el presente estudio se enmarca en una perspectiva integral que busca contribuir al desarrollo de estrategias más robustas para la protección de la salud pública en la provincia del Guayas [15].

1.2. Indicadores fisicoquímicos como herramientas de evaluación de calidad del agua.

Los indicadores fisicoquímicos constituyen herramientas fundamentales para la evaluación de la calidad del agua destinada al consumo humano, ya que permiten caracterizar sus propiedades químicas y físicas, así como identificar posibles alteraciones derivadas de procesos naturales o actividades antropogénicas. Diversos estudios han señalado que parámetros como el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales y la concentración de nutrientes proporcionan información clave sobre el estado del agua y su idoneidad para el consumo. En este sentido, estos indicadores no solo reflejan la calidad intrínseca del recurso hídrico, sino que también actúan como señales tempranas de posibles procesos de contaminación o deterioro [2].

Desde una perspectiva analítica, la literatura reciente sugiere que la interpretación de los indicadores fisicoquímicos debe abordarse de forma integrada, considerando las interacciones entre variables y su influencia en la estabilidad del sistema acuático. El pH, por ejemplo, condiciona la solubilidad de compuestos químicos y la actividad biológica, mientras que la conductividad y los sólidos disueltos totales están asociados a la mineralización del agua y a la presencia de iones disueltos. Por su parte, los nutrientes como nitratos, nitritos y fosfatos desempeñan un papel central en los procesos de eutrofización, actuando como factores limitantes para el crecimiento de microorganismos. Este enfoque sistémico permite comprender que la calidad del agua no depende de un único parámetro, sino de la interacción compleja entre múltiples variables que pueden amplificar o mitigar los riesgos sanitarios [16].

En relación con las variables analizadas en el presente estudio, los indicadores fisicoquímicos adquieren especial relevancia al evidenciar patrones de variabilidad que pueden estar asociados tanto al origen del agua como a los procesos de tratamiento y almacenamiento. Concentraciones moderadas de nitratos y fosfatos, combinadas con niveles bajos de cloro residual, sugieren condiciones potencialmente favorables para la proliferación de microorganismos, incluyendo cianobacterias productoras de toxinas. Asimismo, la variabilidad observada en parámetros como la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales indica diferencias en la composición química entre las muestras, lo que podría influir en la estabilidad del agua y en la eficacia de los procesos de desinfección. De este modo, los indicadores fisicoquímicos no solo permiten evaluar la calidad actual

del agua, sino también inferir procesos subyacentes que podrían impactar su seguridad a lo largo del tiempo [17].

En consecuencia, si bien los indicadores fisicoquímicos son ampliamente utilizados como criterios de control en la normativa sanitaria, su capacidad para garantizar la inocuidad del agua es limitada cuando se consideran de forma aislada. La literatura ha destacado que el cumplimiento de valores permisibles no necesariamente implica ausencia de riesgo, especialmente en contextos donde existen contaminantes emergentes o condiciones que favorecen la proliferación biológica. Por ello, el análisis de estos indicadores debe integrarse dentro de un enfoque más amplio de gestión del riesgo, en el cual su interpretación se complementa con datos microbiológicos y con la evaluación de factores ambientales y operativos. En este marco, el presente estudio se orienta a demostrar la necesidad de una evaluación multidimensional que permita mejorar la vigilancia y control de la calidad del agua embotellada en entornos con alta presión antropogénica [18].

1.3. Indicadores microbiológicos y riesgo asociado a contaminación fecal.

Los indicadores microbiológicos constituyen uno de los pilares fundamentales en la evaluación de la calidad sanitaria del agua para consumo humano, debido a su capacidad para evidenciar la posible presencia de microorganismos patógenos asociados a contaminación fecal. Diversos estudios han señalado que la detección de bacterias indicadoras, particularmente *Escherichia coli*, permite inferir la existencia de contaminación reciente y, por tanto, la potencial presencia de agentes etiológicos responsables de enfermedades de transmisión hídrica. En este sentido, los indicadores microbiológicos no solo cumplen una función de monitoreo, sino que representan un criterio directo de inocuidad, dado que su presencia implica un riesgo inmediato para la salud pública [19].

Desde una perspectiva conceptual, la literatura científica ha consolidado el uso de *E. coli* como marcador universal de contaminación fecal debido a su especificidad, abundancia en el tracto intestinal de animales de sangre caliente y facilidad de detección mediante métodos estandarizados. Este enfoque se fundamenta en la premisa de que la introducción de materia fecal en sistemas de agua conlleva la posible presencia de patógenos como bacterias, virus y protozoos, los cuales pueden no ser detectados directamente por su complejidad analítica. Sin embargo, también se reconoce que los indicadores microbiológicos presentan limitaciones, ya que no siempre reflejan la presencia de todos los patógenos ni capturan completamente la dinámica de contaminantes emergentes, lo que refuerza la necesidad de complementar su análisis con otros parámetros [20].

En el contexto del presente estudio, la evaluación microbiológica adquiere una importancia crítica al revelar la presencia de *E. coli* en determinadas muestras de agua embotellada, lo cual constituye una evidencia directa de

fallas en los procesos de desinfección, envasado o almacenamiento. La coexistencia de muestras libres de contaminación con otras que presentan concentraciones elevadas de unidades formadoras de colonias sugiere una variabilidad significativa en la calidad sanitaria entre marcas y lotes. Esta heterogeneidad, en combinación con niveles bajos de cloro residual observados en el análisis fisicoquímico, indica condiciones propicias para la supervivencia y proliferación microbiana, incrementando la probabilidad de exposición a agentes patógenos. Además, este escenario evidencia la vulnerabilidad del sistema frente a eventos de contaminación post-tratamiento, los cuales pueden ocurrir incluso cuando el agua cumple inicialmente con los estándares de calidad [21].

En consecuencia, la interpretación de los indicadores microbiológicos en el marco de la gestión del riesgo sanitario requiere un enfoque que trascienda la verificación puntual del cumplimiento normativo y se oriente hacia la comprensión de la dinámica de contaminación y exposición. La presencia de eventos esporádicos pero significativos de contaminación fecal sugiere un modelo de riesgo caracterizado por baja frecuencia y alta severidad, lo cual resulta particularmente relevante en términos de salud pública. Por ello, la integración de indicadores microbiológicos con variables fisicoquímicas y ambientales se posiciona como una estrategia fundamental para el desarrollo de sistemas de vigilancia más robustos, capaces de anticipar riesgos y garantizar la inocuidad del agua embotellada en contextos con alta presión antropogénica [22].

1.4. Cianobacterias y cianotoxinas como contaminantes emergentes.

Las cianobacterias, también conocidas como algas verdeazules, constituyen un grupo de microorganismos fotosintéticos ampliamente distribuidos en ecosistemas acuáticos, cuya relevancia sanitaria ha aumentado significativamente en las últimas décadas. Diversos estudios han señalado que, bajo determinadas condiciones ambientales, estas microalgas pueden proliferar de manera masiva, generando floraciones algales nocivas que comprometen la calidad del agua. Este fenómeno, conocido como eutrofización, se encuentra principalmente asociado al enriquecimiento de nutrientes como nitrógeno y fósforo, así como a factores climáticos como el incremento de la temperatura y la estabilidad de la columna de agua. En este contexto, las cianobacterias han sido reconocidas como contaminantes emergentes debido a su capacidad de alterar las condiciones fisicoquímicas del agua y de producir compuestos tóxicos con implicaciones directas para la salud pública [23].

Desde una perspectiva toxicológica, la literatura científica ha documentado que muchas especies de cianobacterias son capaces de sintetizar metabolitos secundarios conocidos como cianotoxinas, entre los cuales destacan las microcistinas, anatoxinas y cilindrospermopsinas. Estos compuestos presentan una amplia variedad de efectos

adversos, incluyendo toxicidad hepática, neurotoxicidad y efectos dermatológicos, dependiendo de la vía de exposición y de la dosis ingerida. A nivel molecular, las microcistinas, por ejemplo, actúan como potentes inhibidores de enzimas fosfatasa, alterando procesos celulares críticos y generando daño tisular. La complejidad de estas toxinas radica en su estabilidad química y en su capacidad de persistir en el agua incluso después de la muerte celular de las cianobacterias, lo que amplifica el riesgo de exposición tanto en agua cruda como tratada [24].

En relación con las variables analizadas en el presente estudio, la presencia de nutrientes como fosfatos y nitratos adquiere un papel central como factores limitantes en la proliferación de cianobacterias. La literatura reciente sugiere que concentraciones moderadas de estos compuestos pueden ser suficientes para desencadenar procesos de crecimiento algal en sistemas acuáticos, especialmente en condiciones térmicas favorables como las observadas en ambientes tropicales. Asimismo, la baja concentración de cloro residual identificada en algunas muestras podría limitar la capacidad de inhibición de estos microorganismos en sistemas de almacenamiento prolongado. Aunque en el análisis inicial no se evidenció presencia significativa de cianotoxinas, la observación de crecimiento bajo condiciones experimentales posteriores sugiere la existencia de un potencial latente de proliferación, lo cual refuerza la hipótesis de vulnerabilidad del sistema frente a este tipo de contaminantes [25].

En consecuencia, la inclusión de las cianobacterias y sus toxinas en el análisis de calidad del agua responde a la necesidad de ampliar el enfoque tradicional hacia una perspectiva de riesgo emergente. La literatura ha destacado que los sistemas de monitoreo convencionales, centrados en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos clásicos, pueden resultar insuficientes para detectar estos riesgos de forma temprana. Por ello, la integración de indicadores asociados a eutrofización y la vigilancia específica de cianotoxinas se posiciona como un componente crítico en la gestión del riesgo sanitario. En este sentido, el presente estudio contribuye a evidenciar la importancia de considerar estos contaminantes emergentes en la evaluación de la calidad del agua embotellada, particularmente en regiones con condiciones ambientales que favorecen su proliferación [26].

1.5. Agua embotellada: percepción de calidad, riesgos reales y desafíos de control.

El consumo de agua embotellada ha experimentado un crecimiento sostenido a nivel global, impulsado principalmente por la percepción de mayor pureza, seguridad sanitaria y calidad organoléptica en comparación con el agua de red. Diversos estudios han señalado que esta preferencia responde tanto a factores de confianza institucional como a experiencias previas relacionadas con la calidad del suministro público. En contextos urbanos con alta presión sobre los sistemas de abastecimiento, como ocurre en diversas ciudades de América Latina, la elección

de agua embotellada se asocia con la búsqueda de reducción del riesgo sanitario percibido, posicionándose como una alternativa aparentemente más segura para el consumo humano [27].

Sin embargo, la literatura reciente sugiere que existe una brecha significativa entre la percepción de calidad y los riesgos reales asociados al agua embotellada. A pesar de estar sujeta a normativas específicas, su calidad puede verse comprometida por múltiples factores a lo largo de la cadena de valor, incluyendo la fuente de captación, los procesos de tratamiento, las condiciones de embotellado, así como el almacenamiento y la distribución. La ausencia de un residual desinfectante adecuado, junto con la exposición a condiciones ambientales variables, puede favorecer la proliferación de microorganismos o la alteración de las características fisicoquímicas del agua. Este conjunto de factores evidencia que el agua embotellada no es un producto inherentemente exento de riesgos, sino que su inocuidad depende de un control sistemático y continuo [28].

En el marco del presente estudio, la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos pone de manifiesto la existencia de variabilidad entre marcas y lotes, lo que refuerza la hipótesis de que los sistemas de control de calidad no son homogéneos en la práctica. La detección de niveles bajos de cloro residual, junto con la presencia de nutrientes y eventos puntuales de contaminación microbiológica, sugiere que las condiciones de producción y manejo pueden generar escenarios propicios para el deterioro de la calidad del agua. Asimismo, la posible interacción entre estos factores y la proliferación de contaminantes emergentes, como las cianobacterias, introduce una dimensión adicional de riesgo que no siempre es considerada en los sistemas tradicionales de vigilancia.

En consecuencia, los desafíos en el control de la calidad del agua embotellada requieren la adopción de enfoques más integrales basados en la gestión del riesgo sanitario, que incorporen el monitoreo simultáneo de variables fisicoquímicas, microbiológicas y emergentes. La literatura ha enfatizado la necesidad de fortalecer los sistemas de trazabilidad, mejorar los protocolos de desinfección y garantizar condiciones adecuadas de almacenamiento y distribución para minimizar la probabilidad de contaminación. En este contexto, el presente estudio contribuye a evidenciar la importancia de replantear los modelos de evaluación de la calidad del agua embotellada, promoviendo una visión más crítica y basada en evidencia que permita proteger de manera efectiva la salud de los consumidores en entornos con alta demanda y exposición potencial [29].

2.- Materiales y métodos.

El presente estudio optó por un diseño metodológico cuantitativo que integró análisis de laboratorio con la

recolección de información contextual sobre el consumo de agua embotellada en la provincia del Guayas.

1. Recolección de muestras

Se tomaron muestras de agua embotellada de varios puntos de distribución en la ciudad de Guayaquil, incluyendo supermercados, tiendas de barrio y vendedores ambulantes. La muestra incluyó diferentes marcas y lotes de producción, las mismas que fueron determinadas por una encuesta aplicada a los consumidores utilizando Google Forms como plataforma digital para determinar la marcas más consumidas con el objetivo de obtener una visión representativa de la calidad del agua que llega a la población. El tamaño de la muestra se definió mediante un muestreo probabilístico, considerando la accesibilidad y disponibilidad de los productos en el mercado [30].

2. Parámetros analizados

En el laboratorio, se llevaron a cabo análisis de los parámetros fisicoquímicos, microbiológico y la proliferación de cianobacterias, utilizando los siguientes equipos e insumos:

- Nutrientes (fosfatos, nitritos y nitratos): Se determinaron con el equipo espectrofotómetro Hach DRY 900), utilizando reactivos específicos para cada uno de estos parámetros.
- Cloro libre residual: Este se midió con el espectrofotómetro Hach DRY 900, siguiendo los protocolos que indica el fabricante.
- pH: Se cuantificó con un pH-metro digital.
- *Escherichia coli* se realizó por método de filtración y cianobacterias(Microcistina- RL)

3. Procedimiento de análisis

Cada muestra fue procesada debidamente para asegurar la confiabilidad de los resultados. Los valores obtenidos se compararon con los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2200:2017 – Agua Purificada Envasada, así como con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) para el agua destinada al consumo humano.

4. Métodos Microbiológicos

La detección de microcistinas en las muestras de agua se realizó mediante el kit MicroCystest® (Zeulab, España), un método basado en la inhibición de la enzima proteína fosfatasa 2A (PP2A), mecanismo biológico responsable de la toxicidad de las microcistinas y nodularinas. Esta metodología permite determinar la toxicidad potencial real de las muestras, detectando diferentes variantes de microcistinas presentes en el agua.

El procedimiento consistió en adicionar 50 µL de muestra o patrón en cada pocillo de una microplaca, seguido de la incorporación de la solución de fosfatasa y del sustrato cromogénico. Posteriormente, las muestras fueron incubadas a 37 °C durante 30 minutos. Finalizado el periodo de incubación, se añadió la solución de parada y se realizó la lectura espectrofotométrica a una longitud de onda de 405 nm. La concentración de microcistinas se determinó

mediante una curva de calibración elaborada con patrones de microcistina-LR.

La validación analítica del método incluyó la determinación del límite de detección (0,09 µg/L) y del límite de cuantificación (0,23 µg/L), así como la evaluación de la precisión y exactitud mediante ensayos de repetibilidad, precisión intermedia y recuperación.

Para la determinación de *Escherichia coli*, se ha realiza por filtración por membrana de 100 mL se toma el filtro y se coloca en el medio selectivo para *E. coli* en azul, y el Agar m-TEC, utilizado en el método 1103.2 de la EPA el mismo que consta de a) Filtración: Se filtra un volumen conocido de muestra de agua a través de una membrana de filtración (normalmente con un tamaño de poro de 0.45 µm), reteniendo las bacterias en la superficie; b) Cultivo: La membrana se coloca sobre una placa de Petri con agar mTEC. c) Incubación: Se incuba a una temperatura elevada (generalmente 44.5 °C durante 24 horas) para inhibir bacterias no deseadas d) Recuento: Tras la incubación, la *E. coli* forma colonias de color amarillo-verdoso, que se cuentan directamente como unidades formadoras de colonias (UFC) por cada 100 mL de muestra.

3.- Resultados.

Los resultados obtenidos se presentan en las siguientes tablas de los parámetros determinados de los análisis físico químicos y microbiológicos

Tabla 1. Análisis de aguas usando el equipo HACH DRY 900

Muestra	Marca	Cloro libre (mg/L)	Fosfato (mg/L)	nitratos (mg/L)	nitritos (mg/L)
ACB	Pure Water	0,02	1,6	1,2	0,001
ACF	Tesalia	0,03	2,0	2,0	0,007
ACF	Montaña	0,02	1,2	1,5	0,002
ANA	Ok	0,04	1,8	0,3	0,004
ASG	Ok	0,03	0,9	0,9	0,006
ACB	Ok	0,04	1,0	0,7	0,004
SCB	Aqua Premium	0,03	1,0	1,1	0,004
SNA	Omizu	0,02	1,4	4,7	0,004
SCB	Vivant	0,01	1,1	1,3	0,002
SSG	Aqua Premium	0,01	1,5	1,2	0,007
SSG	Omizu	0,02	1,1	3,8	0,006
SSD	Tesalia	0,03	2,6	2,3	0,003
SSD	Vivant	0,01	0,9	1,0	0,004
SSG	Pure Water	0,02	1,8	1,6	0,001
SSD	Cielo	0,04	1,1	0,7	0,005
SSD	All Natural	0,03	1,7	1,3	0,001
SSD	Dasani	0,02	1,3	1,1	0,004
TCF	Montaña	0,02	1,3	1,6	0,001
TNA	Vivant	0,02	0,9	1,3	0,002
TNA	Pure Water	0,07	1,5	1,1	0,005
TNA	Cielo	0,06	1,0	0,4	0,006
TNA	All Natural	0,03	1,3	1,1	0,002
TNA	Dasani	0,03	1,1	0,9	0,009
TNA	omizu	0,03	1,3	3,5	0,004
TNA	Tesalia	0,05	2,7	2,8	0,008
TNA	Aqua Premium	0,03	1,4	0,8	0,005
TSG	Montaña	0,02	1,5	1,4	0,021

ACB	All Natural	0,04	1,3	1,1	0,009
ACB	Cielo	0,03	0,9	0,6	0,007
ACB	Dasani	0,03	1,4	0,8	0,004

La caracterización fisicoquímica presentada en la Tabla 1 evidencia una variabilidad intermarca relevante en los principales parámetros asociados tanto con la calidad del agua como con el potencial desarrollo de riesgos sanitarios, lo cual refleja heterogeneidad en los procesos de captación, tratamiento y control en la industria de agua embotellada en la provincia del Guayas. En términos de cloro libre residual, los valores oscilaron entre 0,01 y 0,07 mg/L, situándose sistemáticamente por debajo del rango recomendado por la Organización Mundial de la Salud (0,2–0,5 mg/L) para asegurar una desinfección efectiva durante el almacenamiento y la distribución. Esta condición implica una limitada persistencia del efecto desinfectante, lo que incrementa la probabilidad de recontaminación microbiológica post-embotellado, especialmente bajo condiciones de manejo inadecuadas o exposición ambiental prolongada. La amplitud del rango observado sugiere además inconsistencias en los protocolos de cloración entre diferentes marcas y lotes, lo que constituye un factor de incertidumbre en la gestión del riesgo sanitario.

Respecto a los nutrientes disueltos, los fosfatos presentaron concentraciones entre 0,9 y 2,7 mg/L, mientras que los nitratos variaron entre 0,3 y 4,7 mg/L. Aunque estos valores se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por normativas internacionales para consumo humano, su presencia en concentraciones relativamente elevadas en determinadas muestras, particularmente en marcas como Tesalia y Omizu, sugiere aportes de origen antropogénico asociados a escorrentía agrícola o influencias urbanas. Desde una perspectiva ecológica y sanitaria, estos nutrientes constituyen un factor limitante clave en los procesos de eutrofización, pudiendo favorecer la proliferación de cianobacterias en sistemas acuáticos, incluso en cadenas de suministro de agua tratada. En este sentido, la coexistencia de niveles moderados de nitrógeno y fósforo incrementa la probabilidad de generación de condiciones tróficas favorables para el desarrollo de floraciones algales nocivas y la eventual producción de cianotoxinas, lo cual representa un riesgo emergente que trasciende los controles fisicoquímicos convencionales.

En relación con los nitritos, las concentraciones registradas fueron generalmente bajas (0,001–0,021 mg/L), sin embargo, la presencia de valores elevados puntuales, como en la muestra correspondiente a la marca Montaña (0,021 mg/L), puede interpretarse como un indicador de procesos recientes de contaminación o de transformación incompleta del nitrógeno, reflejando posibles deficiencias en la calidad del tratamiento o en las condiciones de almacenamiento. Desde el punto de vista del riesgo sanitario, aunque las concentraciones no alcanzan niveles de toxicidad aguda, la detección de nitritos adquiere relevancia epidemiológica al asociarse con la formación de compuestos potencialmente

nocivos, como las nitrosaminas, y con efectos adversos en poblaciones vulnerables.

De manera integrada, el análisis de la Tabla 1 pone de manifiesto que, si bien los parámetros evaluados se encuentran dentro de rangos permisibles en la mayoría de los casos, la variabilidad observada y la combinación de factores como bajo residual de cloro y presencia de nutrientes generan un escenario propicio para el incremento del riesgo sanitario. En particular, la convergencia de condiciones que favorecen tanto la supervivencia microbiana como la disponibilidad de nutrientes plantea un riesgo potencial de deterioro de la calidad del agua durante su vida útil, evidenciando la necesidad de fortalecer los sistemas de control, implementar estrategias de monitoreo continuo y adoptar un enfoque preventivo basado en la gestión integral del riesgo.

Tabla 2. Resultados de las muestras analizadas según estadísticos descriptivos

Variable numérica	# de datos	Media	Desviación Estándar	Mediana	Media recortada (10 %)
Cloro_libre (mg/L)	29	0,030	0,0138	0,03	0,0284
pH	30	7,141	0,4249	7,29	7,1958
Fosfatos (mg/L)	30	1,387	0,4508	1,3	1,3167
Nitratos (mg/L)	30	1,470	1,0154	1,15	1,2833
Nitritos (mg/L)	30	0,005	0,0038	0,004	0,0044
uS/cm	30	221,667	216,8998	198,5	179,54
T_°C	30	25,047	0,5829	25,1	25,125
ppm	30	110,800	108,5247	99,5	89,750
mV	30	334,367	34,4528	330	333,541

El análisis de los estadísticos descriptivos presentados en la Tabla 2 permite evaluar la tendencia central, la dispersión y la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos, proporcionando una base inferencial para interpretar la calidad del agua y su implicación en el riesgo sanitario. En el caso del cloro libre residual, se observa una media de 0,030 mg/L con una desviación estándar de 0,0138, lo que indica baja variabilidad relativa pero niveles consistentemente reducidos en la mayoría de las muestras. La coincidencia entre la media, la mediana (0,03 mg/L) y la media recortada (0,0284 mg/L) sugiere una distribución aproximadamente simétrica y sin valores extremos influyentes, lo que refuerza la evidencia de una tendencia sistemática hacia concentraciones subóptimas de cloro residual. Desde una perspectiva sanitaria, esta homogeneidad en niveles bajos implica un escenario generalizado de insuficiente capacidad desinfectante, incrementando de forma consistente la probabilidad de supervivencia o reintroducción de microorganismos durante la cadena de distribución.

El pH presenta una media de 7,141 con una desviación estándar moderada (0,4249), lo que indica una distribución relativamente estable alrededor de la neutralidad. La diferencia entre la media y la mediana (7,29) sugiere una

ligera asimetría hacia valores más bajos, aunque sin desviaciones críticas respecto al rango recomendado. La proximidad entre la media aritmética y la media recortada evidencia la ausencia de valores atípicos significativos, indicando condiciones químicas relativamente homogéneas entre las muestras. Si bien estos valores no representan un riesgo directo para la salud, su estabilidad contribuye a mantener condiciones fisicoquímicas favorables para procesos biológicos, lo que adquiere relevancia en presencia de otros factores como la disponibilidad de nutrientes.

En relación con los fosfatos, la media de 1,387 mg/L y la desviación estándar de 0,4508 reflejan una variabilidad moderada, con una ligera diferencia respecto a la mediana (1,3 mg/L), lo que indica una leve asimetría positiva. Esta característica sugiere la presencia de algunas muestras con concentraciones relativamente elevadas que incrementan el promedio. Desde el punto de vista ambiental, la persistencia de niveles de fósforo en este rango puede favorecer procesos de enriquecimiento trófico, particularmente cuando se combinan con concentraciones apreciables de nitrógeno, generando condiciones propicias para la proliferación de cianobacterias y aumentando el riesgo potencial de producción de cianotoxinas.

El comportamiento de los nitratos muestra una media de 1,470 mg/L con una desviación estándar elevada (1,0154), lo que evidencia una alta dispersión de los datos. La diferencia entre la media y la mediana (1,15 mg/L), así como la reducción de la media recortada (1,2833 mg/L), sugieren la presencia de valores extremos altos que inducen una asimetría positiva en la distribución. Este patrón implica que, aunque la mayoría de las muestras presenta niveles moderados, existen casos puntuales con concentraciones significativamente superiores que pueden estar asociadas a fuentes específicas de contaminación. Desde la perspectiva del riesgo, esta heterogeneidad indica que ciertos lotes o marcas presentan mayor probabilidad de contribuir a procesos de eutrofización o de evidenciar fallas en el control de la calidad del agua de origen.

Los nitritos presentan una media de 0,005 mg/L y una desviación estándar de 0,0038, lo que refleja una variabilidad relativamente alta en comparación con su valor medio. La mediana (0,004 mg/L) y la media recortada (0,0044 mg/L) indican una ligera asimetría hacia valores superiores, lo cual puede interpretarse como evidencia de eventos puntuales de contaminación reciente. Aunque las concentraciones se mantienen bajas en términos absolutos, su variabilidad relativa sugiere inestabilidad en los procesos de oxidación del nitrógeno, lo que podría implicar riesgos indirectos asociados a la formación de subproductos potencialmente perjudiciales.

Los parámetros asociados a la mineralización del agua, como la conductividad eléctrica (221,667 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y los sólidos disueltos totales (110,800 ppm), presentan desviaciones estándar elevadas (216,8998 y 108,5247 respectivamente), lo que indica una dispersión considerable

y una marcada heterogeneidad entre muestras. La diferencia entre la media y la mediana en ambos casos sugiere la presencia de valores extremos altos que influyen significativamente en la distribución. Este comportamiento es consistente con diferencias en los orígenes del agua y en los procesos de tratamiento, lo que tiene implicaciones tanto en la calidad sensorial como en la estabilidad química del producto. Desde una perspectiva de riesgo, esta variabilidad podría afectar la interacción entre compuestos químicos y microorganismos, influyendo indirectamente en la viabilidad de ciertos patógenos o en la persistencia de compuestos potencialmente tóxicos.

Finalmente, la temperatura (media de 25,047 °C) y el potencial redox (334,367 mV) presentan baja variabilidad, lo que indica condiciones relativamente estables durante el análisis. No obstante, la estabilidad térmica en torno a valores cercanos a 25 °C puede favorecer el crecimiento microbiano en ausencia de un adecuado control desinfectante, mientras que los valores de potencial redox reflejan un ambiente moderadamente oxidante que, aunque contribuye al control microbiológico, podría no ser suficiente en combinación con bajos niveles de cloro residual.

En conjunto, el análisis inferencial de los estadísticos descriptivos evidencia que, si bien las medias de los parámetros se encuentran dentro de rangos aceptables, la dispersión y la asimetría de varias variables clave, particularmente nutrientes y parámetros de mineralización, revelan una heterogeneidad significativa en la calidad del agua embotellada. Esta variabilidad, sumada a niveles consistentemente bajos de cloro residual, configura un escenario de riesgo sanitario latente, en el cual la estabilidad química aparente puede enmascarar condiciones propicias para la contaminación microbiológica y la proliferación de organismos potencialmente nocivos.

Tabla 3. Resultados de análisis microbiológico

Marca	Codig	Presentació	Producció	Caducidad	UFC/ 100mL
AQUA	TNA	500 ml	26/05/25	26/07/25	0
	SSD	500 ml	26/05/25	26/07/25	0
	ACB	500 ml	26/05/25	26/07/25	0
ALL NATUR	TNA	625 ml	06/06/25	04/10/25	0
	SSD	625 ml	22/05/25	12/09/25	0
	ACB	625 ml	15/05/25	12/09/25	0
TESALI	TNA	625 ml	15/05/25	11/09/25	0
	SSD	625 ml	15/05/25	11/09/25	800
	ACB	625 ml	15/05/25	11/09/25	0
VIVANT	TNA	600 ml	06/05/25	03/10/25	0
	ACB	600 ml	19/05/25	16/10/25	0
	SSD	600 ml	16/04/25	13/09/25	0
PURE	TNA	500 ml	11/05/25	07/11/25	0
	ACB	500 ml	27/05/25	23/11/25	0
	SSD	500 ml	15/03/25	11/09/25	0
CIELO	TNA	625 ml	11/05/25	07/11/25	0
	ACB	625 ml	11/05/25	07/11/25	0
	SSD	625 ml	11/05/25	07/11/25	0
OK	TNA	600 ml	23/05/25	20/10/25	0
	ACB	600 ml	23/05/25	20/10/25	0
	SSD	600 ml	23/05/25	20/10/25	0
MONTA	TNA	500 ml	19/04/25	20/09/25	350
	ACB	500 ml	19/04/25	20/09/25	200
	SSD	500 ml	19/04/25	20/09/25	650

DASSANI	TNA	600 ml	19/05/25	20/08/25	0
	ACB	600 ml	19/05/25	20/08/25	0
	SSD	600 ml	19/05/25	20/08/25	0
OMIZU	TNA	500 ml	19/02/25	20/05/25	0
	ACB	600 ml	19/05/25	20/08/25	0
	SSD	600 ml	19/05/25	20/08/25	0

El análisis microbiológico presentado en la Tabla 3 evidencia un comportamiento heterogéneo en la calidad sanitaria del agua embotellada, con implicaciones directas en la evaluación del riesgo para la salud pública. En términos generales, se observa que la mayoría de las muestras analizadas (24 de 30) no presentó crecimiento detectable de *Escherichia coli*, lo que sugiere que, en condiciones normales, una proporción significativa de las marcas cumple con los estándares microbiológicos establecidos por la normativa vigente, que exige la ausencia total de este indicador en agua destinada al consumo humano. La consistencia de resultados negativos en múltiples marcas y lotes indica la implementación parcial de prácticas adecuadas de desinfección y control sanitario durante los procesos de tratamiento y envasado.

No obstante, la detección de *E. coli* en cuatro muestras introduce un elemento crítico en la evaluación del sistema, dado que su presencia constituye un indicador inequívoco de contaminación fecal reciente y, por tanto, de un fallo en la integridad microbiológica del producto. Las concentraciones registradas, que alcanzan valores de hasta 800 UFC/100 mL en la marca Tesalia (código SSD) y oscilan entre 200 y 650 UFC/100 mL en diferentes lotes de la marca Montaña, reflejan niveles significativamente elevados en comparación con el límite permisible (0 UFC/100 mL). Desde una perspectiva inferencial, estos valores no representan simples desviaciones marginales, sino eventos críticos que evidencian condiciones de contaminación sustancial, con una alta carga microbiana que incrementa de forma considerable la probabilidad de presencia de patógenos entéricos.

La distribución de los resultados positivos muestra además un patrón específico asociado a determinados códigos de muestra, particularmente SSD y en menor medida otros códigos en la marca Montaña, lo que sugiere la posible existencia de factores sistemáticos relacionados con etapas específicas del proceso productivo o de la cadena de distribución. Este comportamiento apunta a la hipótesis de fallas localizadas, ya sea en los sistemas de desinfección, en las condiciones de almacenamiento o en la manipulación post-embotellado. La coincidencia de fechas de producción en los lotes contaminados refuerza la posibilidad de eventos puntuales de contaminación en planta o de condiciones ambientales adversas en determinados periodos, lo que introduce una dimensión temporal en la dinámica del riesgo.

Desde el enfoque de gestión del riesgo sanitario, la coexistencia de un alto porcentaje de muestras conformes con un subconjunto reducido pero significativamente contaminado sugiere un escenario de riesgo no uniforme, caracterizado por una baja frecuencia de eventos pero con

alta severidad. Este tipo de distribución es particularmente relevante en sistemas de agua para consumo, ya que la ocurrencia de eventos de contaminación microbiológica, aunque esporádica, puede tener consecuencias desproporcionadas en términos de salud pública, incluyendo brotes de enfermedades gastrointestinales. La magnitud de los valores observados indica que, en los casos positivos, la exposición potencial supera ampliamente los umbrales de seguridad, lo que incrementa la probabilidad de infección en los consumidores.

Adicionalmente, la interpretación de estos resultados debe integrarse con las condiciones fisicoquímicas previamente observadas, particularmente los bajos niveles de cloro residual, los cuales limitan la capacidad de inhibición microbiana durante el almacenamiento. Esta interacción sugiere que la ausencia inicial de contaminación no garantiza la inocuidad del producto a lo largo del tiempo, ya que condiciones subóptimas de desinfección pueden facilitar el crecimiento bacteriano en etapas posteriores. En consecuencia, la evidencia microbiológica presentada no solo refleja eventos de contaminación puntual, sino también la vulnerabilidad estructural del sistema frente a fallas en el control de calidad.

En conjunto, los resultados de la Tabla 3 ponen de manifiesto la necesidad de fortalecer los sistemas de aseguramiento de la calidad microbiológica mediante la implementación de controles más estrictos, monitoreo continuo y trazabilidad de los lotes de producción. Asimismo, resaltan la importancia de adoptar un enfoque preventivo basado en la gestión integral del riesgo, que no se limite al cumplimiento de parámetros fisicoquímicos, sino que incorpore de manera sistemática la vigilancia microbiológica como eje central para garantizar la seguridad del agua embotellada.

Tabla 4. Resultados de las muestras analizadas según desviación absoluta

Variable numérica	# de datos	Desviación Absoluta de la Mediana	Mínimo	Máxim	Rango
Cloro libre (mg/L)	29	0,015	0,0100	0,07	0,0600
pH	30	0,222	6,2600	7,62	1,3600
Fosfatos (mg/L)	30	0,297	0,9000	2,7	1,8000
nitratos_ (mg/L)	30	0,519	0,3000	4,7	4,4000
Nitritos (mg/L)	30	0,003	0,0010	0,021	0,0200
uS/cm	30	203,116	0,0000	792	792,000
T °C	30	0,593	23,4000	25,8	2,4000
Ppm	30	102,299	0,0000	396	396,000
mV	30	37,065	247,000	398	151,000

El análisis basado en la desviación absoluta de la mediana (MAD) y en los estadísticos de dispersión presentados en la Tabla 4 permite profundizar en la robustez y heterogeneidad de los parámetros fisicoquímicos, aportando evidencia inferencial relevante para la evaluación del riesgo sanitario. A diferencia de la desviación estándar, la MAD ofrece una

medida menos sensible a valores extremos, por lo que su interpretación resulta particularmente útil para identificar la estabilidad estructural de los datos y detectar la presencia de outliers con potencial impacto en la calidad del agua.

En el caso del cloro libre residual, la desviación absoluta de la mediana (0,015 mg/L) junto con un rango de 0,060 mg/L revela una dispersión moderada en torno a valores consistentemente bajos, lo que confirma que la baja concentración de cloro no responde a valores atípicos puntuales, sino a una condición sistemática en la mayoría de las muestras. Este patrón refuerza la hipótesis de un control insuficiente del residual desinfectante a lo largo de toda la muestra, incrementando de manera uniforme la vulnerabilidad frente a procesos de recontaminación microbiológica y comprometiendo la estabilidad sanitaria del producto durante su almacenamiento.

El pH presenta una MAD de 0,222 y un rango relativamente limitado (1,36 unidades), lo que indica una estabilidad química considerable entre las muestras. Esta baja dispersión, tanto en términos absolutos como robustos, sugiere que el pH no constituye un factor diferenciador relevante en términos de riesgo sanitario directo; sin embargo, su comportamiento homogéneo dentro del rango neutro a ligeramente alcalino puede facilitar la persistencia de ciertos microorganismos en ausencia de mecanismos desinfectantes eficaces, especialmente cuando se combina con otros factores limitantes como el bajo cloro residual.

Respecto a los fosfatos, la MAD de 0,297 mg/L y el rango de 1,8 mg/L evidencian una variabilidad intermedia con presencia de valores relativamente elevados. Este comportamiento sugiere que, aun cuando la mayoría de las muestras presentan concentraciones cercanas a la mediana, existen incrementos significativos en determinadas condiciones que podrían favorecer procesos de enriquecimiento trófico. En este contexto, el fósforo continúa posicionándose como un factor crítico en la evaluación del riesgo ecológico, ya que pequeñas variaciones en su concentración pueden desencadenar cambios sustanciales en la dinámica biológica, particularmente en sistemas susceptibles a la proliferación de cianobacterias.

El análisis de los nitratos muestra una MAD de 0,519 mg/L y un rango amplio de 4,4 mg/L, lo que pone de manifiesto una alta heterogeneidad en la distribución de este nutriente. La combinación de una dispersión robusta relativamente elevada con un rango amplio sugiere la coexistencia de dos comportamientos: un grupo mayoritario de valores moderados y una fracción de muestras con concentraciones significativamente superiores. Desde el enfoque de riesgo sanitario, esta distribución no uniforme implica que determinados lotes presentan condiciones más favorables para procesos de eutrofización o reflejan posibles influencias de fuentes externas de contaminación, aumentando la incertidumbre en la calidad del agua.

En el caso de los nitritos, la MAD es baja (0,003 mg/L), pero su rango (0,020 mg/L) indica la presencia de valores extremos que, aunque poco frecuentes, tienen relevancia por su significado sanitario. Esta discrepancia entre estabilidad central y amplitud del rango sugiere eventos puntuales de contaminación reciente o fallas en la oxidación completa del nitrógeno. Desde una perspectiva epidemiológica, incluso pequeñas concentraciones de nitritos pueden tener implicaciones en poblaciones vulnerables, lo que refuerza la necesidad de considerar no solo la magnitud sino también la variabilidad de este parámetro.

Los parámetros asociados a la mineralización, como la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales, presentan los valores de dispersión más elevados, con MAD de 203,116 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 102,299 ppm respectivamente, y rangos extremadamente amplios (792 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 396 ppm). Esta alta variabilidad confirma una marcada heterogeneidad en el origen del agua y en los procesos de tratamiento aplicados por las distintas marcas. Desde el punto de vista sanitario, esta diversidad composicional puede influir en la estabilidad química del agua y en la interacción entre microorganismos y matriz acuosa, afectando indirectamente la persistencia de contaminantes y la eficacia de los procesos de desinfección.

Finalmente, la temperatura y el potencial redox presentan valores de MAD relativamente bajos en comparación con sus rangos, lo que indica condiciones de estabilidad operativa durante el muestreo, aunque con cierta amplitud que podría responder a variaciones en almacenamiento y manipulación. La temperatura en torno a 25 °C, combinada con valores moderados de potencial redox, puede contribuir a la viabilidad microbiana en ausencia de un adecuado control químico, reforzando así la interacción entre variables fisicoquímicas y microbiológicas en la construcción del riesgo sanitario.

En conjunto, el análisis robusto de la dispersión confirma que la calidad del agua embotellada no solo depende de los valores promedio de los parámetros, sino también de su variabilidad estructural y de la presencia de valores extremos. La coexistencia de estabilidad en algunos parámetros y alta heterogeneidad en otros configura un escenario complejo en el cual el riesgo sanitario no es homogéneo, sino que se distribuye de manera desigual entre muestras, marcas y lotes. Este comportamiento resalta la necesidad de enfoques de monitoreo que incorporen métricas robustas de variabilidad y que permitan identificar tempranamente condiciones críticas que puedan comprometer la inocuidad del producto.

Tabla 5. Resultados de las muestras analizadas según sesgos

Variable numérica	# de datos	Sesgo	Curtosis	Error Estándar de la media
Cloro_libre (mg/L)	29	1,014	1,0780	0,002554
pH	30	-1,093	-0,2706	0,0775693
Fosfatos (mg/L)	30	1,357	1,5780	0,0823133

nitratos_(mg/L)	30	1,656	2,1482	0,1853949
nitritos_(mg/L)	30	2,376	7,7043	0,000698
uS/cm	30	1,459	1,5211	39,600312
T_°C	30	-1,185	1,1433	0,1064293
Ppm	30	1,457	1,5122	19,813812
mV	30	-0,039	-0,2561	6,290201

El análisis de los coeficientes de asimetría (sesgo) y curtosis presentados en la Tabla 5 permite profundizar en la forma de las distribuciones de los parámetros fisicoquímicos, aportando evidencia inferencial crítica sobre la presencia de valores extremos y su implicación en la evaluación del riesgo sanitario. En términos generales, la predominancia de sesgos positivos en varias variables indica distribuciones asimétricas hacia la derecha, lo que implica la existencia de valores elevados que, aunque no representen la tendencia central, tienen un impacto significativo en la calidad del sistema y en la interpretación del riesgo.

En el caso del cloro libre residual, el sesgo positivo (1,014) y la curtosis ligeramente elevada (1,078) evidencian una distribución asimétrica con presencia de valores altos aislados, aunque la mayoría de las muestras se concentran en niveles bajos. Este comportamiento confirma que los valores más elevados de cloro, si bien existen, no representan la condición dominante del sistema. Desde una perspectiva sanitaria, ello refuerza la interpretación de que la protección microbiológica es insuficiente en la mayoría de los casos, y que los eventos con mayor residual clorado no compensan el déficit generalizado de desinfección.

El pH presenta un sesgo negativo (-1,093) y una curtosis cercana a cero (-0,2706), lo que indica una ligera concentración de valores hacia la zona superior del rango con una distribución relativamente aplanada. Este patrón sugiere una estabilidad estructural del parámetro, con baja presencia de valores extremos. Aunque el pH no representa un riesgo directo en los rangos observados, su distribución uniforme confirma condiciones fisicoquímicas consistentes que podrían favorecer la persistencia de microorganismos en ausencia de barreras desinfectantes adecuadas.

Los fosfatos muestran un sesgo positivo (1,357) y una curtosis elevada (1,578), lo que indica una distribución con cola hacia valores altos y cierta concentración de datos en torno a la media con presencia de picos. Este comportamiento es consistente con la existencia de muestras con concentraciones significativamente superiores que pueden actuar como puntos críticos en la dinámica del sistema. Desde el enfoque de riesgo, estos valores elevados adquieren relevancia al potenciar procesos de eutrofización, aumentando la probabilidad de proliferación de cianobacterias y, en consecuencia, de generación de cianotoxinas.

El análisis de los nitratos presenta un sesgo positivo más pronunciado (1,656) y una curtosis elevada (2,1482), lo que refleja una distribución altamente asimétrica y leptocúrtica. Este patrón evidencia que, aunque la mayoría de las muestras se concentra en valores moderados, existen

concentraciones elevadas que incrementan significativamente la media. La presencia de estos valores extremos sugiere fuentes localizadas de contaminación que generan heterogeneidad en la calidad del agua. Desde el punto de vista sanitario, esta distribución implica que ciertos lotes presentan un mayor potencial de contribuir a procesos de enriquecimiento trófico y, por tanto, a riesgos ambientales y de salud asociados.

El comportamiento de los nitritos es particularmente relevante, con un sesgo muy elevado (2,376) y una curtosis extremadamente alta (7,7043), lo que indica una distribución altamente concentrada en valores bajos pero con presencia de picos extremos poco frecuentes. Este patrón sugiere eventos puntuales de contaminación reciente o fallas en el tratamiento, los cuales, aunque estadísticamente poco representativos, tienen una alta relevancia sanitaria. Desde la perspectiva de riesgo, este tipo de distribución caracteriza escenarios donde la frecuencia de eventos es baja pero su severidad potencial es alta, lo cual es consistente con sistemas vulnerables a fallas esporádicas.

Los parámetros de mineralización, como la conductividad (sesgo 1,459; curtosis 1,5211) y los sólidos disueltos totales (sesgo 1,457; curtosis 1,5122), presentan comportamientos similares, con asimetría positiva y curtosis elevada, lo que indica una alta heterogeneidad en la composición del agua. Este patrón confirma la existencia de muestras con niveles significativamente superiores de mineralización, que pueden influir en la estabilidad química del sistema y en la interacción con microorganismos. Desde el punto de vista del riesgo, esta variabilidad puede afectar la dinámica de supervivencia bacteriana y la eficacia de los procesos de desinfección.

En contraste, la temperatura muestra un sesgo negativo (-1,185) y una curtosis positiva (1,1433), lo que indica una ligera concentración de valores en el extremo superior con cierta acumulación central. Este comportamiento, junto con la baja variabilidad observada previamente, sugiere condiciones térmicas relativamente estables, pero en rangos que pueden favorecer el crecimiento microbiano. Por su parte, el potencial redox (mV) presenta un sesgo cercano a cero (-0,039) y una curtosis negativa (-0,2561), lo que indica una distribución prácticamente simétrica y homogénea, sin presencia significativa de valores extremos.

El análisis conjunto de los coeficientes de sesgo, curtosis y error estándar de la media permite inferir que, si bien algunos parámetros presentan distribuciones relativamente estables, otros muestran asimetrías marcadas y colas largas que evidencian la presencia de valores críticos. Esta configuración estadística es indicativa de un sistema no homogéneo, en el cual la calidad del agua puede variar significativamente entre muestras y donde la presencia de eventos extremos, aunque poco frecuentes, tiene un impacto desproporcionado en la evaluación del riesgo sanitario. En este contexto, la identificación y control de estos valores

atípicos resulta fundamental para el diseño de estrategias de monitoreo y gestión, ya que constituyen los principales determinantes de los riesgos emergentes asociados a la calidad del agua embotellada.

4.- Discusión

4.1. Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos evidencian que la calidad del agua embotellada evaluada no puede interpretarse únicamente bajo un enfoque de cumplimiento normativo, sino que requiere un análisis integral basado en la gestión del riesgo sanitario. Si bien la mayoría de los parámetros fisicoquímicos se mantienen dentro de rangos permisibles, la presencia de una variabilidad significativa entre marcas y lotes sugiere la existencia de heterogeneidad en los procesos de captación, tratamiento y control de calidad. Este comportamiento confirma que la calidad del agua no es una condición estática, sino el resultado de dinámicas operacionales complejas que pueden generar escenarios de vulnerabilidad sanitaria, incluso en sistemas regulados.

Un hallazgo particularmente relevante es la consistencia de niveles subóptimos de cloro residual, lo cual representa un factor crítico desde el punto de vista de la desinfección. Desde una perspectiva técnica, el cloro residual actúa como una barrera secundaria que garantiza la estabilidad microbiológica del agua durante su almacenamiento y distribución. La literatura ha establecido que concentraciones inferiores a los rangos recomendados reducen la eficacia de esta barrera, incrementando la probabilidad de contaminación post-tratamiento. En este contexto, los resultados sugieren que el sistema analizado presenta una limitada capacidad de control microbiológico a lo largo del tiempo, lo que podría explicar la aparición de eventos puntuales de contaminación detectados en el análisis microbiológico [31].

En relación con los nutrientes, la presencia de nitratos, nitritos y fosfatos en concentraciones moderadas, aunque dentro de límites aceptables, adquiere relevancia al considerarse desde un enfoque ecológico y de riesgo emergente. La literatura reciente sugiere que la disponibilidad simultánea de nitrógeno y fósforo puede favorecer procesos de eutrofización, incluso en sistemas aparentemente controlados, particularmente en condiciones tropicales caracterizadas por temperaturas elevadas. En este sentido, la coexistencia de nutrientes con bajos niveles de desinfectante configura un escenario propicio para el desarrollo de microorganismos, incluyendo cianobacterias potencialmente productoras de toxinas, lo cual trasciende los enfoques tradicionales de evaluación de calidad.

Finalmente, la detección de contaminación microbiológica en un número reducido pero significativo de muestras introduce una dimensión crítica en la interpretación de los resultados. Desde el punto de vista de la gestión del riesgo, este comportamiento es consistente con sistemas caracterizados por baja frecuencia de eventos pero alta

severidad, donde la ocurrencia de fallas puntuales puede generar impactos desproporcionados en la salud pública. En conjunto, los hallazgos evidencian que la aparente conformidad fisicoquímica no garantiza la inocuidad sanitaria, lo que refuerza la necesidad de adoptar enfoques integrales que consideren la interacción entre variables químicas, microbiológicas y ambientales.

4.2. Comparación con estudios previos

Los resultados obtenidos presentan consistencias relevantes con investigaciones previas que han documentado la variabilidad en la calidad del agua embotellada y las limitaciones de los sistemas de control basados exclusivamente en parámetros convencionales. Diversos estudios han reportado que, aunque el agua envasada suele cumplir con criterios fisicoquímicos establecidos, pueden presentarse inconsistencias microbiológicas asociadas a fallas en procesos de desinfección o condiciones inadecuadas de almacenamiento. Este patrón coincide con los hallazgos observados, donde la mayoría de las muestras cumple con los requerimientos normativos, pero persisten eventos aislados de contaminación fecal [32].

En particular, los resultados microbiológicos son coherentes con lo reportado en estudios regionales, como el realizado en la provincia del Guayas, donde se evidenció la presencia de *Escherichia coli* en agua embotellada comercializada. Esta coincidencia refuerza la hipótesis de que, en contextos locales, los sistemas de aseguramiento de calidad presentan debilidades estructurales que permiten la ocurrencia de eventos de contaminación. Asimismo, investigaciones recientes han señalado que la percepción de seguridad asociada al agua embotellada no siempre se corresponde con su calidad microbiológica real, lo que posiciona estos hallazgos dentro de un problema más amplio de confianza y regulación en sistemas de abastecimiento alternativos [33].

En relación con los parámetros fisicoquímicos, los resultados concuerdan con estudios que han evidenciado la influencia de factores como la fuente de captación y los procesos de tratamiento en la variabilidad de parámetros como conductividad, sólidos disueltos y nutrientes. Sin embargo, el presente estudio aporta un elemento adicional al integrar estos parámetros con el enfoque de riesgo sanitario, evidenciando cómo la presencia de nutrientes, aun en concentraciones moderadas, puede adquirir relevancia en términos de procesos de eutrofización y proliferación biológica. Esta integración permite avanzar más allá de la descripción de calidad hacia una interpretación funcional del sistema [34].

Adicionalmente, los hallazgos relacionados con el potencial de proliferación de cianobacterias se alinean con investigaciones recientes que han documentado la presencia de genes asociados a la producción de cianotoxinas en cuerpos de agua de la región, como el río Daule. Esta convergencia de evidencia sugiere que los sistemas hídricos del área presentan condiciones favorables para el desarrollo

de contaminantes emergentes, y que estos riesgos pueden extenderse a sistemas de agua tratada si no se implementan controles adecuados. En este sentido, el estudio contribuye a ampliar el conocimiento existente al vincular la calidad del agua embotellada con dinámicas ambientales regionales y riesgos emergentes [35].

4.3. Implicaciones teóricas y prácticas

Desde el punto de vista teórico, los resultados del estudio aportan evidencia que refuerza la necesidad de transitar desde enfoques tradicionales de control de calidad hacia modelos integrales basados en la gestión del riesgo sanitario. La literatura ha señalado que la evaluación de la calidad del agua debe considerar no solo el cumplimiento de límites máximos permisibles, sino también la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos y sus posibles consecuencias. En este contexto, el presente estudio contribuye a consolidar un enfoque multidimensional que integra variables fisicoquímicas, microbiológicas y ambientales, ampliando el marco conceptual para la evaluación de sistemas de agua embotellada.

Asimismo, el estudio aporta una perspectiva relevante al incorporar el análisis de contaminantes emergentes, como las cianobacterias y sus toxinas, dentro del contexto de agua embotellada. Este enfoque permite extender la discusión más allá de los indicadores tradicionales, evidenciando la necesidad de incluir variables asociadas a eutrofización y dinámica ecológica en los sistemas de monitoreo. De esta manera, se contribuye al desarrollo de modelos conceptuales más completos que consideren la interacción entre procesos químicos, biológicos y ambientales en la generación del riesgo sanitario.

En términos prácticos, los resultados tienen implicaciones directas para la industria del agua embotellada y para las entidades regulatorias. La evidencia de niveles bajos de cloro residual sugiere la necesidad de revisar y optimizar los procesos de desinfección para garantizar la estabilidad microbiológica del producto durante su ciclo de vida. Asimismo, la variabilidad observada entre marcas pone de manifiesto la importancia de fortalecer los sistemas de control de calidad, incluyendo auditorías periódicas, monitoreo en tiempo real y trazabilidad de lotes, con el fin de reducir la ocurrencia de eventos de contaminación. Adicionalmente, desde una perspectiva aplicada, los hallazgos abren la posibilidad de desarrollar estrategias de innovación tecnológica orientadas a la mejora de los sistemas de tratamiento y almacenamiento, tales como el uso de desinfectantes alternativos, sensores inteligentes para monitoreo continuo o modelos predictivos de calidad del agua. Asimismo, en el ámbito de la gestión ambiental, los resultados sugieren la necesidad de implementar políticas integradas que aborden la calidad del agua desde la fuente hasta el consumo, incorporando el enfoque de “Una Sola Salud” como marco para la toma de decisiones.

4.4. Limitaciones y proyecciones futuras

A pesar de la relevancia de los hallazgos obtenidos, el estudio presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas en la interpretación de los resultados. En primer lugar, el tamaño de la muestra, aunque representativo de las marcas más consumidas, puede no capturar completamente la variabilidad del mercado de agua embotellada en la provincia del Guayas, lo que podría limitar la generalización de los resultados. Asimismo, la selección de muestras se realizó en función de la disponibilidad y accesibilidad, lo que introduce un posible sesgo asociado a la distribución comercial de los productos.

Desde el punto de vista metodológico, el análisis se centró en un conjunto específico de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, lo que implica que otros contaminantes potencialmente relevantes, como metales pesados, microplásticos o compuestos orgánicos emergentes, no fueron considerados. Esta limitación restringe el alcance del estudio en términos de caracterización integral de la calidad del agua y sugiere la necesidad de ampliar el espectro de análisis en futuras investigaciones.

En relación con las cianotoxinas, aunque se empleó un método de detección validado, los resultados obtenidos reflejan la ausencia aparente de estas sustancias en condiciones iniciales, pero evidencian su posible desarrollo bajo condiciones experimentales controladas. No obstante, el estudio no incorpora un análisis longitudinal que permita evaluar la evolución temporal de estos contaminantes en condiciones reales de almacenamiento, lo que limita la comprensión de su dinámica en escenarios de consumo. Esta restricción destaca la necesidad de estudios más profundos que integren análisis temporales y condiciones ambientales variables.

En este contexto, futuras investigaciones deberían orientarse hacia el desarrollo de modelos predictivos de riesgo que integren variables fisicoquímicas, microbiológicas y ambientales, permitiendo anticipar escenarios de contaminación. Asimismo, se recomienda incorporar técnicas avanzadas de análisis, como herramientas moleculares para la detección de genes toxigénicos o sensores en tiempo real para monitoreo de calidad. Estas líneas de investigación no solo permitirían superar las limitaciones identificadas, sino que contribuirían al desarrollo de sistemas de gestión más robustos y adaptativos, capaces de responder a los desafíos emergentes en la calidad del agua para consumo humano.

5.- Conclusión.

5.1. Síntesis de los hallazgos

El presente estudio permitió evaluar de manera integral la calidad del agua embotellada comercializada en la provincia del Guayas mediante la aplicación de indicadores fisicoquímicos y microbiológicos, evidenciando que, aunque la mayoría de las muestras cumple con los límites establecidos por la normativa vigente, existen variaciones significativas entre marcas y lotes que condicionan la

estabilidad sanitaria del producto. En particular, se identificó que los parámetros fisicoquímicos presentan comportamientos heterogéneos, caracterizados por la presencia de nutrientes en concentraciones moderadas y niveles consistentemente bajos de cloro residual, lo cual limita la capacidad de control de la calidad microbiológica durante el almacenamiento.

Asimismo, los resultados microbiológicos revelaron la presencia de eventos puntuales de contaminación fecal, lo que demuestra que el cumplimiento de parámetros fisicoquímicos no garantiza por sí mismo la inocuidad del agua. Esta evidencia confirma que la calidad del agua embotellada responde a dinámicas complejas que involucran tanto procesos de tratamiento como condiciones de manejo posterior. En este sentido, los objetivos del estudio se cumplieron al evidenciar la necesidad de integrar múltiples indicadores para una evaluación más robusta del riesgo sanitario en sistemas de agua para consumo humano.

5.2. Contribuciones científicas y técnicas

Desde el punto de vista científico, el estudio contribuye a fortalecer el marco conceptual de la gestión del riesgo sanitario en sistemas de agua embotellada, al demostrar que la evaluación basada en parámetros tradicionales resulta insuficiente cuando se analizan de forma aislada. La integración de variables fisicoquímicas y microbiológicas, junto con la consideración de factores asociados a contaminantes emergentes, permite avanzar hacia un enfoque multidimensional que amplía la comprensión de los procesos que determinan la calidad del agua.

En el ámbito técnico, el trabajo aporta evidencia empírica relevante sobre la variabilidad en la calidad del agua embotellada en un contexto tropical, identificando condiciones que pueden favorecer la proliferación de microorganismos y el deterioro de la calidad durante la cadena de suministro. Asimismo, la incorporación del análisis de cianotoxinas, aun cuando no se detectaron inicialmente en las muestras, representa un avance metodológico al considerar el potencial de desarrollo de riesgos emergentes bajo condiciones ambientales específicas, contribuyendo así a cerrar brechas en la evaluación convencional de la calidad del agua.

5.3. Implicaciones teóricas y aplicaciones prácticas

Los hallazgos del estudio tienen implicaciones relevantes para el desarrollo teórico de modelos de evaluación de calidad del agua, al evidenciar la necesidad de adoptar enfoques basados en la gestión del riesgo que integren variables químicas, microbiológicas y ecológicas. Esta perspectiva permite avanzar hacia marcos conceptuales más robustos, en los cuales la calidad del agua es entendida como un sistema dinámico influenciado por múltiples factores interrelacionados, superando así los enfoques tradicionales centrados exclusivamente en el cumplimiento normativo.

Desde el punto de vista aplicado, los resultados destacan la importancia de fortalecer los sistemas de control de calidad en la industria del agua embotellada, particularmente en lo relacionado con la optimización de los procesos de desinfección, el monitoreo continuo de parámetros críticos y la implementación de sistemas de trazabilidad que permitan identificar y corregir fallas en la cadena de suministro. Asimismo, se evidencia la necesidad de incorporar indicadores de contaminación emergente y estrategias preventivas que permitan mitigar riesgos asociados a la proliferación de cianobacterias, especialmente en regiones con condiciones ambientales favorables para su desarrollo.

5.4. Proyecciones y líneas de investigación futura

A partir de los resultados obtenidos, se identifican diversas líneas de investigación futura orientadas a profundizar en la comprensión de los factores que condicionan la calidad del agua embotellada. En primer lugar, se recomienda el desarrollo de estudios longitudinales que permitan evaluar la evolución temporal de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante el almacenamiento, con el fin de determinar la estabilidad del producto a lo largo de su vida útil. Asimismo, resulta pertinente incorporar el análisis de otros contaminantes emergentes, como metales pesados, microplásticos y compuestos orgánicos, que podrían influir en la calidad del agua y en la salud de los consumidores.

Adicionalmente, se sugiere avanzar hacia el desarrollo de modelos predictivos de riesgo que integren variables ambientales, operativas y de calidad del agua, permitiendo anticipar escenarios de contaminación y optimizar los sistemas de gestión. Finalmente, la implementación de técnicas avanzadas de monitoreo, incluyendo herramientas moleculares para la detección de microorganismos toxigénicos y sensores en tiempo real, representa una línea prometedora para fortalecer la vigilancia sanitaria y contribuir al diseño de sistemas de abastecimiento más seguros y resilientes en contextos de alta presión antropogénica.

6.- Agradecimientos.

No aplica.

7.- Contribuciones de los autores (Taxonomía de roles de los colaboradores - CRediT)

1. Conceptualización: Fabiola Villa Sánchez
2. Curación de datos: Amy Merchán Mendoza
3. Análisis formal: Fabiola Villa Sánchez
4. Adquisición de fondos: Tony Coloma Coloma
5. Investigación: Antonio Escobar Machado
6. Metodología: Tony Coloma Coloma
7. Administración del proyecto: Hernan Villa Sánchez
8. Recursos: Hernan Villa Sánchez
9. Software: Antonio Escobar Machado
10. Supervisión: Edison Lascano Mora
11. Validación: Tony Coloma Coloma
12. Visualización: Amy Merchán Mendoza

13. Redacción - borrador original: Edison Lascano Mora
14. Redacción -revisión y edición: Amy Merchán Mendoza

8.- Apéndice.

No aplica.

9.- Referencias.

- [1] World Health Organization (WHO), "Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first, second and third addenda," World Health Organization. , 2026. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240121225> . [Accessed 2026].
- [2] Villanueva, C. M., Kogevinas, M., & Grimalt, J. O., "Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga.," in *Gaceta Sanitaria*, 2001, pp. 15(1), 48–53.
- [3] Godoy, P., Bartolomé, R., Torres, J., Espinet, L., Escobar, A., Nuin, C., & Domínguez, Á. , "rote de gastroenteritis por el consumo de agua de suministro público causado por *Shigella sonnei*," *Gaceta Sanitaria*, 25(5), 363–367, 2011. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2011.0>. [Accessed 2026].
- [4] McLachlan, R. I., & Tuffley, C., "Parametric study of *E. coli* incidence with reference to the New Zealand freshwater standards and the Manawatū-Whanganui region," arXiv, 2011. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2110.01808>. [Accessed 2026].
- [5] C. P. R. J. A. & L. F. A. Lluscha, ". Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua mineral de manantial embotellada comercializada en Quito, Ecuador.," *Acta Farmacêutica Portuguesa*. , 2023.
- [6] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)., "NTE INEN 2200: Agua envasada. Requisitos.," *NTE INEN 2200: Agua envasada. Requisitos*. , 2014.
- [7] Alejandro Quezada, Daniela del Cisne, "Identificación de cianobacterias asociadas a riesgos para la salud humana presentes en la biodiversidad acuática de la Laguna de Papallacta.," REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2023. [Online]. Available: <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/9da979f3-4c27-4bbc-93d4-da9dfae5c09a>. [Accessed 2026].
- [8] Estupiñán Vera, G. E., Briceño Castillo, J. P., Cazañas Chica, J. D., & Vínces Muñoz, A. A. , "Nivel de aceptación de los tipos de agua envasada en la ciudad de Guayaquil.," *RECIMUNDO*, 9(2), 596–607, 2025. [Online]. Available: [https://doi.org/10.26820/recimundo/9\(2\).abril.2025.596-607](https://doi.org/10.26820/recimundo/9(2).abril.2025.596-607) . [Accessed 2026].
- [9] Huisman, J., & Visser, P. M. , "Harmful cyanobacterial blooms: Causes, consequences and control strategies.," *Aquatic Ecology*. , 2018.
- [10] Schreiber, A., & Van der Merwe, M., ". One Health and water quality management: Integrating ecosystem, animal and human health.," 2021.
- [11] Coloma Gavilanes, Julio Ferdinand; Labanda Lucero, Ricardo Andrés, "Herramientas moleculares para la detección de cianobacterias potencialmente tóxicas en ecosistemas acuáticos del Río Daule," DSpace Repository, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/58379?locale-attribute=en>. [Accessed 2026].
- [12] R. Rojas, "Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano," OPS, 2002.
- [13] L. A. Zapata Aspiazu, E. Haymacaña Moreno, F. J. Duque-Aldaz, F. G. Cabezas García and R. A. Sánchez Ancajima, "ARIMA vs. Hybrid Models with Machine Learning for Forecasting Ecuador's GDP.," 2026.
- [14] Zepeda Rodríguez, L. F., & Tello Ibarra, J. V., "Agua embotellada: contemplaciones sanitarias entre el derecho humano a la salud y la industria privada.," *Cuestiones Constitucionales. Revista Mexicana de Derecho Constitucional*, 26(52), e19558. , 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.22201/ijj.24484881e.2025.52.19558> . [Accessed 2026].
- [15] B. Fournier and R. Mujeriego Sahuquillo, "Gestión del riesgo sanitario en la regeneración del agua," UPC, 2006.
- [16] B. M. Guillén Chunchu, "valuación de componentes químicos y microbiológicos en agua embotellada para el consumo humano, comercializada en tres cantones de la provincia del Guayas," Repositorio UG, 2020. [Online]. Available: <https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49925> . [Accessed 2026].
- [17] E. I. Carrillo Paredes and J. E. Baldeón Cajo, "Control de la calidad del agua para consumo humano a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la Parroquia San Andrés, Chimborazo, para una gestión sanitaria eficiente," UISEK, 2018.
- [18] E. Osorio Caicedo and D. Paredes Cuervo, "Lineamientos estratégicos enfocados a la disminución del riesgo sanitario aplicado en dos sistemas de abastecimiento comunitario," UTP, 2022.
- [19] B. L. Guzmán, G. Nava and P. Díaz, "La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbilidad en Colombia, 2008-2012.," *Biomédica*, vol. 35, 2015.
- [20] J. E. Estiven Pincay Moran, J. F. Ramírez Salcan, A. F. López Vargas, F. J. Duque-Aldaz, W. Villamagua Castillo and R. Sánchez Casanova, "Evaluation and Proposal for an Environmental Management System in a Mango Plantation," *Inquide*, vol. 7, no. 1, 2025.
- [21] F. J. Duque-Aldaz, E. R. Haymacaña Moreno, L. A. Zapata Aspiazu and F. Carrasco Choque, "Prediction of moisture content in the cocoa drying process by simple linear regression.," *Inquide*, vol. 6, no. 2, 2024.
- [22] A. Pérez Vidal, P. Torres Lozada and C. H. Cruz Vélez, "Planes de seguridad del agua. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia," *Ingeniería e Investigación*, vol. 29, no. 3, 2009.
- [23] M. Padilla Gómez and F. Ascuntar Ríos, "Análisis de los riesgos sanitarios y ambientales identificados en los sistemas de suministro de agua para consumo humano de los municipios categoría 4, 5 y 6 del Departamento del Valle del Cauca," Universidad Autónoma de Occidente, 2020.
- [24] C. M. Tito Arequipa and V. M. Ortiz Bustamante, "Estudio de la calidad de agua como factor de riesgo sanitario y modelo de gestión del suministro de agua del barrio Santo Samana de la ciudad de Latacunga en el periodo 2015.," Universidad Técnica de Cotopaxi, 2017.
- [25] F. J. Duque-Aldaz, F. R. Rodríguez-Flores and J. Carmona Tapia, "Identificación de parámetros en sistemas ecuaciones diferenciales ordinarias mediante el uso de redes neuronales artificiales," *Revista San Gregorio*, vol. 1, no. 2, 2025.
- [26] K. E. Zambrano Acosta and N. Vásquez Sarria, "Estudio de los factores de riesgo ambiental y sanitario y su impacto en la calidad del agua para consumo humano en algunas zonas rurales del Valle del Cauca," Universidad Autónoma de Occidente, 2018.
- [27] L. E. Quispe Alegre, "Desarrollo e implementación de un prototipo de control y monitoreo para determinar el riesgo sanitario del sistema de abastecimiento de agua para el consumo humano en la localidad el Triunfo, a través de sensores electrónicos y tecnología web, 2017," UNAMAD, 2019.
- [28] R. González Forero and N. F. Ajiaco Ajiaco, "Diseño de un sistema de gestión del riesgo basado en la Norma ISO 31000 para sistemas de desinfección con cloro en plantas potabilizadoras," Universidad de La Salle, 2018.
- [29] G. E. Castro Rosales, A. D. Torres Alvarado, L. S. Zalamea Cedeño, F. J. Duque-Aldaz and F. R. Rodríguez-Flores, "Comprehensive Ergonomic Proposal for the Reduction of Musculoskeletal Risks in Soap Production: An Approach Based on

- Statistical Analysis and Postural Evaluation," *Inquide*, vol. 7, no. 2, 2025.
- [30] G. J. Morocho Choca, L. Á. Bucheli Carpio and F. J. Duque-Aldaz, "Fuel oil fuel dispatch optimization through multivariate regression using local storage indicators," *Inquide*, vol. 6, no. 2, 2024.
- [31] E. Haymacaña Moreno, L. A. Zapata Aspiazu, F. J. Duque-Aldaz, G. F. Cabezas García and R. A. Sánchez Ancajima, Time series modeling of secondary school enrollment in Ecuador: a Box–Jenkins analysis (1971–2023), *Inquide*, 2026.
- [32] B. L. Guzmán B., G. Nava T. and P. D. Bevilacqua, "Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia: desafíos para la salud ambiental," *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, vol. 34, no. 2, 2016.
- [33] L. Alcalde Sanz, M. Folch Sánchez and J. C. Tapias Pantebre, "Evaluación y gestión del riesgo asociado a la reutilización de aguas residuales," Universitat de Barcelona., 2012.
- [34] J. Ramírez Flórez and J. W. Sanchez Marin, "Apoyo en proyecto de riesgo sanitario enfocado en la línea de agua para consumo humano y uso recreativo en la Secretaría de Salud de la alcaldía de Medellín," Tecnológico de Antioquia, 2021.
- [35] J. J. Caverro Torres and B. R. Mariño Tenio, "Diagnóstico en los sistemas de saneamiento desde la gestión del riesgo de desastres: una revisión sistemática," *Revista InveCom*, vol. 5, no. 3, 2025.