

Gestão de riscos sanitários em água engarrafada: integração de indicadores físico-químicos e microbiológicos e riscos causados por cianobactérias em Guayas.

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

Fabiola Villa Sánchez ¹; Antonio Escobar Machado;² Edisson Lascano Mora ³ ; Tony Coloma Coloma ⁴
Hernán Villa Sánchez ⁵ ; Amy Merchán Mendoza ⁶

Recebido: 11/01/2026 – Aceite: 27/04/2026 – Publicado: 12/07/2026

Artigos de
Investigação ☒

Artigos de
Revisão ☐

Artigos de
Ensaio ☐

* Autor
correspondente.



Esta obra está licenciada sob uma licença internacional Creative Commons Atribuição-NãoComercial-Partilha Igual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0). Os autores mantêm os direitos sobre os seus artigos e podem partilhar, copiar, distribuir, executar e comunicar publicamente a obra, desde que a autoria seja reconhecida, não utilizada para fins comerciais e que a mesma licença seja mantida em obras derivadas.

Resumo.

A qualidade da água engarrafada representa um desafio crescente para a saúde pública, especialmente em contextos de pressão ambiental e riscos emergentes associados a contaminantes biológicos. O objetivo do estudo foi avaliar a qualidade da água engarrafada e o seu risco para a saúde através de indicadores físico-químicos e microbiológicos e a identificação de condições favoráveis para as cianobactérias. Amostras de diferentes marcas comercializadas em Guayaquil foram analisadas por espectrofotometria, medição de parâmetros físico-químicos, filtração por membrana para *Escherichia coli* e detecção de microcistinas por ensaio enzimático. Os resultados mostraram uma variabilidade significativa entre marcas, com baixos níveis de cloro residual, presença moderada de nutrientes e eventos específicos de contaminação microbiológica, o que indica vulnerabilidade na estabilidade sanitária do produto. Além disso, a combinação de nutrientes e condições ambientais sugere potencial para a proliferação de cianobactérias. No geral, as conclusões mostram que a conformidade físico-química não garante a segurança, destacando a necessidade de uma abordagem abrangente de gestão de risco para reforçar o controlo da qualidade da água engarrafada.

Palavras-chave:

Água engarrafada, qualidade da água, risco para a saúde, indicadores físico-químicos, *Escherichia coli*, segurança microbiológica, norma INEN 2200.

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 físico-químicos, microbiológicos y la identificación de condiciones favorables para cianobacterias. Se analizaron muestras de distintas marcas comercializadas en Guayaquil mediante espectrofotometría, medición de parámetros físico-químicos, 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 físico-químico 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 Físico-químicos, *Escherichia Coli*, Inocuidad Microbiológica, Norma INEN 2200.

1.- Introdução

O acesso a água potável segura é um dos principais desafios de saúde pública a nível mundial. A qualidade da água destinada ao consumo humano deve garantir a ausência de contaminantes físicos, químicos e microbiológicos que possam representar riscos para a saúde. Neste contexto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece que a proteção da saúde pública depende da gestão abrangente do risco baseada no acompanhamento contínuo dos parâmetros

de qualidade e na implementação de planos de segurança hídrica desde a origem ao consumidor [1]

A poluição da água representa uma ameaça significativa à saúde humana e aos ecossistemas. A contaminação microbiológica está principalmente associada a doenças infecciosas transmitidas pela água, enquanto a contaminação química pode gerar efeitos crónicos como alterações neurológicas e reprodutivas e vários tipos de cancro. Embora os processos de desinfecção, especialmente

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

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

³ Universidade de Guayaquil; edisson.lascanomo@ug.edu.ec; Guayaquil; Equador.

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

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

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

a cloração, tenham reduzido significativamente a incidência de doenças infecciosas transmitidas pela água, também podem produzir subprodutos químicos potencialmente prejudiciais à saúde quando não são devidamente controlados.[2]

A relevância do controle microbiológico da água tem sido amplamente documentada. reportou um surto de gastroenterite causado por *Shigella sonnei* associado ao consumo de água de abastecimento público contaminada, mostrando que falhas nos sistemas de desinfecção podem desencadear problemas importantes de saúde pública. Estas conclusões destacam a necessidade de implementar sistemas de monitorização contínua que permitam a detecção atempada de riscos microbiológicos e a prevenção de surtos epidémicos.[3]

Nas últimas décadas, a percepção de insegurança relativamente à água da rede tem impulsionado um crescimento sustentado no consumo de água engarrafada em todo o mundo. O mercado global de água engarrafada mobiliza milhares de milhões de dólares anualmente e continua a expandir-se devido à percepção dos consumidores de maior pureza e segurança na saúde. No entanto, vários estudos demonstraram que a qualidade da água engarrafada pode ser afetada por fatores relacionados com a origem da bacia hidrográfica, os processos de tratamento, as condições de engarrafamento, armazenamento e distribuição, gerando variabilidade entre marcas e lotes de produção.[4]

No Equador, o consumo de água engarrafada aumentou significativamente devido à dependência limitada de algumas fontes públicas de abastecimento. Na cidade de Guayaquil, 83,8% dos consumidores relatam usar água engarrafada regularmente, associando este produto a atributos de segurança, pureza e qualidade. No entanto, pesquisas realizadas em Quito mostraram que, embora os parâmetros físico-químicos da água mineral engarrafada estejam geralmente em conformidade com regulamentos nacionais e internacionais, algumas amostras apresentaram concentrações moderadas de bactérias e microrganismos heterotróficos do género *Pseudomonas*, o que demonstra a necessidade de manter controles microbiológicos periódicos para garantir a segurança do produto [5]

Apesar da abundância de recursos hídricos no Equador, persistem desafios significativos relacionados com a qualidade da água. Em particular, os indicadores microbiológicos continuam a ser ferramentas fundamentais para determinar a segurança sanitária dos recursos hídricos, pois permitem a identificação da possível presença de microrganismos patogénicos associados à contaminação fecal e outros riscos emergentes. Entre estes últimos, destaca-se a proliferação de cianobactérias produtoras de cianotoxina, atualmente consideradas uma ameaça crescente à saúde pública e aos ecossistemas aquáticos. Fatores como o aumento dos nutrientes, especialmente azoto e fósforo, bem como o aumento da temperatura associado às alterações climáticas, favorecem os processos

de eutrofização e a proliferação de microrganismos potencialmente tóxicos.[6]

As cianobactérias possuem um metabolismo secundário capaz de produzir compostos tóxicos como microcistinas, anatoxinas e cilindrosperopsinas, que têm efeitos hepatotóxicos, neurotóxicos e dermatotóxicos nos organismos aquáticos e nos humanos. Estas toxinas podem ser libertadas para o ambiente durante a senescência celular, aumentando o risco de exposição através do consumo de água contaminada, atividades recreativas e da cadeia alimentar.[7]

A província de Guayas representa um cenário de especial interesse devido à crescente pressão antropogénica sobre os seus recursos hídricos. Estudos recentes identificaram contaminação microbiológica em fontes destinadas ao consumo humano. reportou a presença de coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água engarrafada comercializadas em diferentes cantões da província, enquanto detetaram genes associados à produção de microcistinas e celinesperopsinas em amostras do rio Daule. Estas descobertas mostram a existência de potenciais riscos para a saúde mesmo na ausência de proliferações visíveis de cianobactérias.[8]

Além disso, a bacia de Guayas enfrenta disponibilidade limitada de informação sobre os fatores que desencadeiam proliferações de algas nocivas e a produção de toxinas em ecossistemas tropicais. Pesquisas recentes indicam que os limiares específicos das variáveis físico-químicas e climáticas que favorecem estes fenómenos na região ainda são desconhecidos. Esta situação é particularmente preocupante, tendo em conta que as alterações climáticas podem aumentar a frequência e intensidade das florações tóxicas, gerando maiores riscos para a saúde humana e ambiental.[9]

Do ponto de vista da saúde pública, a gestão da qualidade da água requer uma abordagem abrangente que considere tanto os riscos microbiológicos tradicionais como as ameaças emergentes associadas a contaminantes biológicos e químicos. Sob o paradigma de "Uma Saúde" (*One Health*), é essencial reconhecer a estreita interrelação entre a saúde humana, a saúde animal e a saúde dos ecossistemas aquáticos. Neste contexto, a avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água é uma ferramenta fundamental para a identificação precoce de riscos, a formulação de estratégias de mitigação e a proteção da saúde da população.[10]

Assim, o objetivo deste estudo é avaliar a qualidade da água através da determinação de indicadores físico-químicos e microbiológicos, com ênfase na identificação de riscos para a saúde associados a microrganismos indicadores e contaminantes emergentes, contribuindo para o reforço dos sistemas de vigilância e gestão da qualidade da água na província de Guayas.[11]

1.1. Gestão de riscos para a saúde em sistemas de água para consumo humano.

A gestão do risco para a saúde nos sistemas de água para consumo humano é uma abordagem abrangente destinada a identificar, avaliar e controlar riscos que possam comprometer a saúde da população. Vários estudos indicaram que a garantia de água segura não depende apenas do cumprimento dos parâmetros regulamentares, mas também da implementação de estratégias dinâmicas que permitam antecipar e mitigar riscos ao longo da cadeia de abastecimento, desde a origem até ao consumidor final. Neste contexto, o conceito de gestão de risco evoluiu de uma abordagem reativa para modelos preventivos, nos quais a identificação precoce dos perigos e a redução da sua probabilidade de ocorrência são priorizadas. [12]

Do ponto de vista metodológico, a literatura recente sugere que os sistemas de gestão de risco na água potável devem basear-se em ferramentas como os Planos de Segurança da Água, que integram análise de riscos, avaliação de vulnerabilidade e a implementação de medidas de controlo em cada etapa do processo. Esta abordagem reconhece que os riscos para a saúde podem originar-se de contaminantes microbiológicos, bem como de compostos químicos e, mais recentemente, de contaminantes emergentes como as cianotoxinas. Da mesma forma, é enfatizada a necessidade de considerar fatores como a variabilidade ambiental, a influência antropogénica e as condições de funcionamento dos sistemas de tratamento e distribuição, que podem atuar como determinantes críticos na geração e propagação do risco. [13]

Em relação às variáveis analisadas neste estudo, a gestão do risco para a saúde adquire particular relevância, pois evidencia a interação entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos como determinantes da qualidade da água. A literatura destacou que níveis subótimos de desinfetantes, como o cloro residual, podem reduzir a capacidade de controlo microbiológico, enquanto a presença de nutrientes como nitratos e fosfatos pode favorecer processos de eutrofização e o desenvolvimento de microrganismos potencialmente nocivos. Neste sentido, a avaliação integrada destes parâmetros permite não só diagnosticar o estado atual da água, mas também inferir condições que podem aumentar a probabilidade de riscos para a saúde ao longo do tempo. [14]

Consequentemente, a adoção de uma abordagem de gestão de risco na análise de água engarrafada é essencial para transcender esquemas tradicionais baseados no cumprimento dos limites permitidos e avançar para modelos preditivos e preventivos. A identificação da variabilidade nos parâmetros avaliados e a deteção de eventos específicos de poluição mostram a necessidade de reforçar os sistemas de monitorização e controlo, incorporando indicadores que permitam antecipar riscos emergentes. Desta forma, este estudo enquadra-se numa perspetiva abrangente que procura contribuir para o desenvolvimento de estratégias

mais robustas para a proteção da saúde pública na província de Guayas. [15]

1.2. Indicadores físico-químicos como ferramentas para avaliar a qualidade da água.

Os indicadores físico-químicos são ferramentas fundamentais para a avaliação da qualidade da água destinada ao consumo humano, pois permitem caracterizar as suas propriedades químicas e físicas, bem como identificar possíveis alterações derivadas de processos naturais ou atividades antropogénicas. Estudos demonstraram que parâmetros como pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e concentração de nutrientes fornecem informações essenciais sobre o estado da água e a sua adequação ao consumo. Neste sentido, estes indicadores não só refletem a qualidade intrínseca do recurso hídrico, como também atuam como sinais precoces de possíveis processos de contaminação ou deterioração. [2]

Do ponto de vista analítico, a literatura recente sugere que a interpretação dos indicadores físico-químicos deve ser abordada de forma integrada, considerando as interações entre variáveis e a sua influência na estabilidade do sistema aquático. O pH, por exemplo, condiciona a solubilidade dos compostos químicos e a atividade biológica, enquanto a condutividade e os sólidos dissolvidos totais estão associados à mineralização da água e à presença de iões dissolvidos. Por outro lado, nutrientes como nitratos, nitritos e fosfatos desempenham um papel central nos processos de eutrofização, atuando como fatores limitantes para o crescimento de microrganismos. Esta abordagem sistémica permite-nos compreender que a qualidade da água não depende de um único parâmetro, mas sim da complexa interação entre múltiplas variáveis que podem amplificar ou mitigar riscos para a saúde. [16]

Em relação às variáveis analisadas neste estudo, os indicadores físico-químicos adquirem uma relevância especial, pois apresentam padrões de variabilidade que podem estar associados tanto à origem da água como aos processos de tratamento e armazenamento. Concentrações moderadas de nitratos e fosfatos, combinadas com baixos níveis de cloro residual, sugerem condições potencialmente favoráveis para a proliferação de microrganismos, incluindo cianobactérias produtoras de toxinas. Além disso, a variabilidade observada em parâmetros como condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais indica diferenças na composição química entre amostras, o que pode influenciar a estabilidade da água e a eficiência dos processos de desinfecção. Desta forma, os indicadores físico-químicos não só nos permitem avaliar a qualidade atual da água, como também inferir processos subjacentes que podem afetar a sua segurança ao longo do tempo. [17]

Consequentemente, embora os indicadores físico-químicos sejam amplamente utilizados como critérios de controlo nas regulamentações sanitárias, a sua capacidade de garantir a segurança da água é limitada quando considerados isoladamente. A literatura destacou que o cumprimento dos

valores permitidos não implica necessariamente a ausência de risco, especialmente em contextos onde existem contaminantes emergentes ou condições que favorecem a proliferação biológica. Por isso, a análise destes indicadores deve ser integrada numa abordagem mais ampla de gestão de risco, na qual a sua interpretação é complementada por dados microbiológicos e pela avaliação de fatores ambientais e operacionais. Neste contexto, o presente estudo pretende demonstrar a necessidade de uma avaliação multidimensional para melhorar a vigilância e o controlo da qualidade da água engarrafada em ambientes com elevada pressão antropogénica.[18]

1.3. Indicadores microbiológicos e risco associado à contaminação fecal.

Os indicadores microbiológicos são um dos pilares fundamentais na avaliação da qualidade sanitária da água para consumo humano, devido à sua capacidade de evidenciar a possível presença de microrganismos patogénicos associados à contaminação fecal. Vários estudos indicaram que a deteção de bactérias indicadoras, particularmente *Escherichia coli*, permite inferir a existência de contaminação recente e, portanto, a possível presença de agentes etiológicos responsáveis por doenças transmitidas pela água. Neste sentido, os indicadores microbiológicos não só cumprem uma função de monitorização, como também representam um critério direto de segurança, uma vez que a sua presença implica um risco imediato para a saúde pública. [19]

Do ponto de vista conceptual, a literatura científica consolidou o uso da *E. coli* como marcador universal de contaminação fecal devido à sua especificidade, abundância no trato intestinal de animais de sangue quente e facilidade de deteção por métodos padronizados. Esta abordagem baseia-se na premissa de que a introdução de matéria fecal nos sistemas aquáticos implica a possível presença de agentes patogénicos como bactérias, vírus e protozoários, que podem não ser diretamente detetados devido à sua complexidade analítica. No entanto, também se reconhece que os indicadores microbiológicos têm limitações, pois nem sempre refletem a presença de todos os agentes patogénicos nem captam totalmente a dinâmica dos contaminantes emergentes, reforçando a necessidade de complementar a sua análise com outros parâmetros.[20]

No contexto do presente estudo, a avaliação microbiológica é de importância crítica, pois revela a presença de *E. coli* em certas amostras de água engarrafada, o que é evidência direta de falhas nos processos de desinfecção, embalagem ou armazenamento. A coexistência de amostras livres de contaminação com outras com elevadas concentrações de unidades formadoras de colónias sugere uma variabilidade significativa na qualidade sanitária entre marcas e lotes. Esta heterogeneidade, em combinação com baixos níveis de cloro residual observados na análise físico-química, indica condições propícias à sobrevivência e proliferação microbiana, aumentando a probabilidade de exposição a agentes patogénicos. Além disso, este cenário demonstra a

vulnerabilidade do sistema a eventos de contaminação pós-tratamento, que podem ocorrer mesmo quando a água inicialmente cumpre os padrões de qualidade.[21]

Consequentemente, a interpretação de indicadores microbiológicos no âmbito da gestão de riscos para a saúde requer uma abordagem que vá além da verificação atempada do cumprimento regulatório e esteja orientada para compreender a dinâmica da contaminação e exposição. A presença de eventos esporádicos mas significativos de contaminação fecal sugere um modelo de risco caracterizado por baixa frequência e alta gravidade, o que é particularmente relevante em termos de saúde pública. Por isso, a integração de indicadores microbiológicos com variáveis físico-químicas e ambientais está posicionada como uma estratégia fundamental para o desenvolvimento de sistemas de vigilância mais robustos, capazes de antecipar riscos e garantir a segurança da água engarrafada em contextos de elevada pressão antropogénica.[22]

1.4. Cianobactérias e cianotoxinas como contaminantes emergentes.

As cianobactérias, também conhecidas como algas azul-esverdeadas, são um grupo de microrganismos fotossintéticos amplamente distribuídos em ecossistemas aquáticos, cuja relevância para a saúde aumentou significativamente nas últimas décadas. Vários estudos indicaram que, sob certas condições ambientais, estas microalgas podem proliferar massivamente, gerando proliferações de algas nocivas que comprometem a qualidade da água. Este fenómeno, conhecido como eutrofização, está principalmente associado ao enriquecimento de nutrientes como azoto e fósforo, bem como a fatores climáticos como o aumento da temperatura e a estabilidade da coluna de água. Neste contexto, as cianobactérias foram reconhecidas como contaminantes emergentes devido à sua capacidade de alterar as condições físico-químicas da água e de produzir compostos tóxicos com implicações diretas para a saúde pública.[23]

Do ponto de vista toxicológico, a literatura científica documentou que muitas espécies de cianobactérias são capazes de sintetizar metabólitos secundários conhecidos como cianotoxinas, entre as quais se destacam microcistinas, anatoxinas e cilioperopsinas. Estes compostos apresentam uma grande variedade de efeitos adversos, incluindo toxicidade hepática, neurotoxicidade e efeitos dermatológicos, dependendo da via de exposição e da dose ingerida. A nível molecular, as microcistinas, por exemplo, atuam como inibidores potentes das enzimas fosfatase, perturbando processos celulares críticos e causando danos nos tecidos. A complexidade destas toxinas reside na sua estabilidade química e na sua capacidade de persistir na água mesmo após a morte celular das cianobactérias, o que amplifica o risco de exposição tanto em água crua como em água tratada.[24]

Em relação às variáveis analisadas no presente estudo, a presença de nutrientes como fosfatos e nitratos assume um

papel central como fatores limitantes na proliferação das cianobactérias. A literatura recente sugere que concentrações moderadas destes compostos podem ser suficientes para desencadear processos de crescimento de algas em sistemas aquáticos, especialmente em condições térmicas favoráveis, como as observadas em ambientes tropicais. Da mesma forma, a baixa concentração de cloro residual identificada em algumas amostras pode limitar a capacidade de inibição destes microrganismos em sistemas de armazenamento a longo prazo. Embora a análise inicial não tenha mostrado presença significativa de cianotoxinas, a observação de crescimento sob condições experimentais subsequentes sugere a existência de um potencial de proliferação latente, o que reforça a hipótese da vulnerabilidade do sistema a este tipo de contaminantes. [25]

Consequentemente, a inclusão das cianobactérias e das suas toxinas na análise da qualidade da água responde à necessidade de expandir a abordagem tradicional para uma perspectiva de risco emergente. A literatura destacou que os sistemas convencionais de monitorização, focados em parâmetros físicoquímicos e microbiológicos clássicos, podem ser insuficientes para detetar estes riscos precocemente. Por isso, a integração dos indicadores associados à eutrofização e a vigilância específica das cianotoxinas é posicionada como um componente crítico na gestão do risco para a saúde. Neste sentido, o presente estudo contribui para evidenciar a importância de considerar estes contaminantes emergentes na avaliação da qualidade da água engarrafada, particularmente em regiões com condições ambientais favoráveis à sua proliferação. [26]

1.5. Água engarrafada: percepção da qualidade, riscos reais e desafios de controlo.

O consumo de água engarrafada tem registado um crescimento sustentado a nível global, impulsionado principalmente pela percepção de maior pureza, segurança para a saúde e qualidade organoléptica em comparação com a água da rede elétrica. Vários estudos indicaram que esta preferência responde tanto a fatores de confiança institucional como a experiências anteriores relacionadas com a qualidade da oferta pública. Em contextos urbanos com elevada pressão sobre os sistemas de abastecimento, como acontece em várias cidades da América Latina, a escolha da água engarrafada está associada à procura de uma redução do risco percebido para a saúde, posicionando-se como uma alternativa aparentemente mais segura para o consumo humano. [27]

No entanto, a literatura recente sugere que existe uma diferença significativa entre a percepção da qualidade e os riscos reais associados à água engarrafada. Apesar de estar sujeita a regulamentos específicos, a sua qualidade pode ser comprometida por múltiplos fatores ao longo da cadeia de valor, incluindo a origem da captura, os processos de tratamento, as condições de engarrafamento, bem como o armazenamento e distribuição. A ausência de um residual

desinfetante adequado, juntamente com a exposição a condições ambientais variáveis, pode favorecer a proliferação de microrganismos ou a alteração das características físicoquímicas da água. Este conjunto de fatores mostra que a água engarrafada não é um produto inerentemente livre de riscos, mas que a sua segurança depende de um controlo sistemático e contínuo. [28]

No âmbito deste estudo, a avaliação dos parâmetros físicoquímicos e microbiológicos revela a existência de variabilidade entre marcas e lotes, o que reforça a hipótese de que os sistemas de controlo de qualidade não são homogêneos na prática. A deteção de baixos níveis de cloro residual, juntamente com a presença de nutrientes e eventos específicos de contaminação microbiológica, sugere que as condições de produção e gestão podem gerar cenários propícios à deterioração da qualidade da água. Além disso, a possível interação entre estes fatores e a proliferação de contaminantes emergentes, como as cianobactérias, introduz uma dimensão adicional de risco que nem sempre é considerada nos sistemas tradicionais de vigilância.

Consequentemente, os desafios no controlo da qualidade da água engarrafada exigem a adoção de abordagens mais abrangentes baseadas na gestão do risco para a saúde, que incorporem a monitorização simultânea de variáveis físicoquímicas, microbiológicas e emergentes. A literatura tem enfatizado a necessidade de reforçar os sistemas de rastreabilidade, melhorar os protocolos de desinfecção e garantir condições adequadas de armazenamento e distribuição para minimizar a probabilidade de contaminação. Neste contexto, este estudo contribui para evidenciar a importância de repensar os modelos de avaliação da qualidade da água engarrafada, promovendo uma visão mais crítica e baseada em evidências que proteja eficazmente a saúde dos consumidores em ambientes de elevada procura e potencial de exposição. [29]

2.- Materiais e métodos.

O presente estudo optou por um desenho metodológico quantitativo que integrou a análise laboratorial com a recolha de informação contextual sobre o consumo de água engarrafada na província de Guayas.

1. Recolha de amostras

Amostras de água engarrafada foram recolhidas em vários pontos de distribuição na cidade de Guayaquil, incluindo supermercados, lojas de bairro e vendedores ambulantes. A amostra incluiu diferentes marcas e lotes de produção, que foram determinados por um inquérito aplicado a consumidores que utilizavam o Google Forms como plataforma digital para determinar as marcas mais consumidas, de modo a obter uma visão representativa da qualidade da água que chega à população. O tamanho da amostra foi definido por amostragem probabilística, considerando a acessibilidade e disponibilidade dos produtos no mercado. [30]

2. Parâmetros analisados

No laboratório, foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos e a proliferação de cianobactérias, utilizando o seguinte equipamento e suprimentos:

- Nutrientes (fosfatos, nitritos e nitratos): Foram determinados com o equipamento do espectrofotômetro Hach DRY 900, utilizando reagentes específicos para cada um destes parâmetros.
- Cloro livre residual: Este foi medido com o espectrofotômetro Hach DRY 900, seguindo os protocolos indicados pelo fabricante.
- pH: Foi quantificada com um medidor de pH digital.
- *Escherichia coli* foi realizada por método de filtração e cianobactérias (Microcistina - RL)

3. Procedimento de análise

Cada amostra foi devidamente processada para garantir a fiabilidade dos resultados. Os valores obtidos foram comparados com os limites máximos permitidos estabelecidos pela Norma Técnica Equatoriana NTE INEN 2200:2017 – Água Purificada Engarrafada, bem como com as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2017) para água destinada ao consumo humano.

4. Métodos Microbiológicos

A detecção de microcistinas nas amostras de água foi realizada utilizando o kit MicroCystest® (Zeulab, Espanha), um método baseado na inibição da enzima fosfatase proteica 2A (PP2A), o mecanismo biológico responsável pela toxicidade das microcistinas e nodularinas. Esta metodologia permite determinar a verdadeira toxicidade potencial das amostras, detetando diferentes variantes de microcistinas presentes na água.

O procedimento consistia em adicionar 50 µL de amostra ou padrão em cada poço de uma microplaca, seguido da incorporação da solução de fosfatase e do substrato cromogénico. As amostras foram então incubadas a 37 °C durante 30 minutos. No final do período de incubação, foi adicionada a solução de parada e a leitura espectrofotométrica foi realizada a um comprimento de onda de 405 nm. A concentração de microcistinas foi determinada através de uma curva de calibração elaborada com padrões microcistina-LR.

A validação analítica do método incluiu a determinação do limite de detecção (0,09 µg/L) e do limite de quantificação (0,23 µg/L), bem como a avaliação da precisão e exatidão através de testes de repetibilidade, precisão intermédia e recuperação.

Pela determinação da *Escherichia coli*. Foi realizada por filtração de membrana de 100 mL, o filtro é retirado e colocado no meio seletivo para *E. coli* em azul, e no ágar m-TEC, usado no método EPA 1103.2, que consiste em: a) Filtração: Um volume conhecido de amostra de água é filtrado através de uma membrana de filtração

(normalmente com um tamanho de poro de 0,45 µm), retendo bactérias na superfície; b) Cultura: A membrana é colocada sobre uma placa de Petri com ágar mTEC. c) Incubação: É incubada a alta temperatura (normalmente 44,5 °C durante 24 horas) para inibir bactérias indesejadas d) Contagem: Após a incubação, *E. coli* forma colônias amarelo-esverdeadas, que são contadas diretamente como unidades formadoras de colônias (CFUs) por 100 mL de amostra.

3.- Resultados.

Os resultados obtidos são apresentados nas seguintes tabelas dos parâmetros determinados pelas análises físicas, químicas e microbiológicas

Tabela 1. Análise de água usando o HACH DRY 900

Mostra	Marca	Cloro livre (mg/L)	Fosfato (mg/L)	nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)
ACB	Água Pura	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	Água Pura	0,02	1,8	1,6	0,001
SSD	Cielo	0,04	1,1	0,7	0,005
SSD	Totalmente 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	Água Pura	0,07	1,5	1,1	0,005
TNA	Cielo	0,06	1,0	0,4	0,006
TNA	Totalmente 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	Totalmente 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

A caracterização físicoquímica apresentada na Tabela 1 mostra uma variabilidade relevante entre marcas nos principais parâmetros associados tanto à qualidade da água como ao potencial desenvolvimento de riscos sanitários, o que reflete heterogeneidade nos processos de recolha, tratamento e controlo na indústria da água engarrafada na província de Guáias. Em termos de cloro livre residual, os valores variaram entre 0,01 e 0,07 mg/L, consistentemente abaixo do intervalo recomendado pela Organização

Mundial de Saúde (0,2–0,5 mg/L) para garantir uma desinfecção eficaz durante o armazenamento e distribuição. Esta condição implica uma persistência limitada do efeito desinfetante, o que aumenta a probabilidade de recontaminação microbiológica pós-engarrafamento, especialmente sob condições de manuseio inadequadas ou exposição ambiental prolongada. A ampla variedade observada também sugere inconsistências nos protocolos de cloração entre diferentes marcas e lotes, o que constitui um fator de incerteza na gestão do risco para a saúde.

Quanto aos nutrientes dissolvidos, os fosfatos apresentavam concentrações entre 0,9 e 2,7 mg/L, enquanto os nitratos variavam entre 0,3 e 4,7 mg/L. Embora estes valores estejam abaixo dos limites máximos permitidos estabelecidos por regulamentos internacionais para o consumo humano, a sua presença em concentrações relativamente elevadas em certas amostras, particularmente em marcas como a Thessaly e a Omizu, sugere contribuições de origem antropogénica associadas ao escoamento agrícola ou influências urbanas. Do ponto de vista ecológico e de saúde, estes nutrientes são um fator limitador chave nos processos de eutrofização e podem promover a proliferação de cianobactérias em sistemas aquáticos, incluindo nas cadeias de abastecimento de água tratada. Neste sentido, a coexistência de níveis moderados de azoto e fósforo aumenta a probabilidade de gerar condições tróficas favoráveis ao desenvolvimento de proliferações de algas nocivas e à produção eventual de cianotoxinas, o que representa um risco emergente que transcende os controlos físico-químicos convencionais.

Em relação aos nitritos, as concentrações registadas foram geralmente baixas (0,001–0,021 mg/L), contudo, a presença de valores pontuais elevados, como na amostra correspondente à marca Montaña (0,021 mg/L), pode ser interpretada como um indicador de processos recentes de contaminação ou transformação incompleta do azoto, refletindo possíveis deficiências na qualidade do tratamento ou nas condições de armazenamento. Do ponto de vista do risco para a saúde, embora as concentrações não atinjam níveis agudos de toxicidade, a deteção de nitritos adquire relevância epidemiológica, pois está associada à formação de compostos potencialmente nocivos, como as nitrosaminas, e a efeitos adversos em populações vulneráveis.

De forma integrada, a análise da Tabela 1 mostra que, embora os parâmetros avaliados estejam dentro dos intervalos admissíveis na maioria dos casos, a variabilidade observada e a combinação de fatores como baixo nível de cloro residual e a presença de nutrientes criam um cenário propício ao aumento do risco para a saúde. Em particular, a convergência de condições que favorecem tanto a sobrevivência microbiana como a disponibilidade de nutrientes representa um risco potencial de deterioração da qualidade da água durante a sua vida útil, evidenciando a necessidade de reforçar os sistemas de controlo,

implementar estratégias de monitorização contínua e adotar uma abordagem preventiva baseada numa gestão abrangente de riscos.

Tabela 2. Resultados das amostras analisadas de acordo com estatísticas descritivas

Variável numérica	# de dados	Media	Desvio Padrão	Mediana	Média das culturas (10%)
Cloro_livre (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

A análise das estatísticas descritivas apresentadas na Tabela 2 permite-nos avaliar a tendência central, dispersão e estabilidade dos parâmetros físico-químicos, fornecendo uma base inferencial para interpretar a qualidade da água e as suas implicações no risco para a saúde. No caso do cloro livre residual, observa-se uma média de 0,030 mg/L com um desvio padrão de 0,0138, indicando baixa variabilidade relativa mas níveis consistentemente reduzidos na maioria das amostras. A coincidência entre a média, mediana (0,03 mg/L) e a média reduzida (0,0284 mg/L) sugere uma distribuição aproximadamente simétrica, sem valores extremos influentes, reforçando a evidência de uma tendência sistemática para concentrações subótimas de cloro residual. Do ponto de vista da saúde, esta homogeneidade em níveis baixos implica um cenário generalizado de capacidade insuficiente de desinfetante, aumentando consistentemente a probabilidade de sobrevivência ou reintrodução de microrganismos durante a cadeia de distribuição.

O pH tem uma média de 7,141 com um desvio padrão moderado (0,4249), indicando uma distribuição relativamente estável em torno da neutralidade. A diferença entre a média e a mediana (7,29) sugere uma ligeira assimetria em direção a valores mais baixos, embora sem desvios críticos do intervalo recomendado. A proximidade entre a média aritmética e a média aparada mostra a ausência de valores atípicos significativos, indicando condições químicas relativamente homogêneas entre as amostras. Embora estes valores não representem um risco direto para a saúde, a sua estabilidade contribui para a manutenção de condições físico-químicas favoráveis aos processos biológicos, o que se torna relevante na presença de outros fatores, como a disponibilidade de nutrientes.

Em relação aos fosfatos, a média de 1,387 mg/L e o desvio padrão de 0,4508 refletem uma variabilidade moderada, com uma ligeira diferença em relação à mediana (1,3 mg/L),

indicando uma ligeira assimetria positiva. Esta característica sugere a presença de algumas amostras com concentrações relativamente elevadas que aumentam a média. Do ponto de vista ambiental, a persistência dos níveis de fósforo nesta gama pode favorecer os processos de enriquecimento trófico, especialmente quando combinada com concentrações apreciáveis de azoto, criando condições propícias à proliferação de cianobactérias e aumentando o risco potencial de produção de cianotoxinas.

O comportamento dos nitratos apresenta uma média de 1,470 mg/L com um desvio padrão elevado (1,0154), o que indica uma elevada dispersão dos dados. A diferença entre a média e a mediana (1,15 mg/L), bem como a redução na média de corte (1,2833 mg/L), sugerem a presença de valores extremamente elevados que induzem uma assimetria positiva na distribuição. Este padrão implica que, embora a maioria das amostras tenha níveis moderados, existem casos específicos com concentrações significativamente mais elevadas que podem estar associadas a fontes específicas de contaminação. Do ponto de vista do risco, esta heterogeneidade indica que certos lotes ou marcas têm maior probabilidade de contribuir para processos de eutrofização ou de apresentar falhas no controlo da qualidade da água de origem.

Os nitritos têm uma média de 0,005 mg/L e um desvio padrão de 0,0038, refletindo uma variabilidade relativamente elevada em relação ao seu valor médio. A mediana (0,004 mg/L) e a média reduzida (0,0044 mg/L) indicam uma ligeira assimetria em relação a valores mais elevados, o que pode ser interpretado como evidência de eventos específicos de contaminação recente. Embora as concentrações permaneçam baixas em termos absolutos, a sua variabilidade relativa sugere instabilidade nos processos de oxidação do azoto, o que pode implicar riscos indiretos associados à formação de subprodutos potencialmente nocivos.

Os parâmetros associados à mineralização da água, como a condutividade elétrica (221,667 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e os sólidos dissolvidos totais (110,800 ppm), apresentam desvios padrão elevados (216,8998 e 108,5247 respetivamente), indicando dispersão considerável e uma heterogeneidade marcada entre as amostras. A diferença entre a média e a mediana em ambos os casos sugere a presença de valores extremamente elevados que influenciam significativamente a distribuição. Este comportamento é consistente com as diferenças nas origens da água e nos processos de tratamento, o que tem implicações tanto para a qualidade sensorial como para a estabilidade química do produto. Do ponto de vista do risco, esta variabilidade pode afetar a interação entre compostos químicos e microrganismos, influenciando indiretamente a viabilidade de certos agentes patogénicos ou a persistência de compostos potencialmente tóxicos.

Finalmente, a temperatura (média de 25,047 °C) e o potencial redox (334,367 mV) apresentam baixa

variabilidade, o que indica condições relativamente estáveis durante a análise. No entanto, a estabilidade térmica em torno de valores próximos de 25 °C pode favorecer o crescimento microbiano na ausência de controlo adequado de desinfetantes, enquanto os valores do potencial redox refletem um ambiente moderadamente oxidante que, embora contribua para o controlo microbiológico, pode não ser suficiente em combinação com baixos níveis de cloro residual.

No geral, a análise inferencial das estatísticas descritivas evidencia que, embora as médias dos parâmetros estejam dentro dos intervalos aceitáveis, a dispersão e assimetria de várias variáveis-chave, particularmente os parâmetros de nutrientes e mineralização, revelam uma heterogeneidade significativa na qualidade da água engarrafada. Esta variabilidade, somada a níveis consistentemente baixos de cloro residual, cria um cenário latente de risco para a saúde, no qual a aparente estabilidade química pode mascarar condições propícias à contaminação microbiológica e à proliferação de organismos potencialmente nocivos.

Tabela 3. Resultados da análise microbiológica

Marca	Codig	Apresentaçã o	Produçã o	Validad e	UFC/ 100m L
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
TODA NATUREZ A	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
PURO	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

A análise microbiológica apresentada na Tabela 3 mostra um comportamento heterogêneo na qualidade sanitária da água engarrafada, com implicações diretas na avaliação do risco para a saúde pública. Em termos gerais, observa-se que a maioria das amostras analisadas (24 em 30) não apresentou crescimento detetável de *Escherichia coli*, o que sugere que, em condições normais, uma proporção significativa das marcas cumpre os padrões microbiológicos estabelecidos pelas regulamentações atuais, que exigem a

ausência total deste indicador na água destinada ao consumo humano. A consistência dos resultados negativos em várias marcas e lotes indica a implementação parcial de práticas adequadas de desinfecção e controle sanitário durante os processos de tratamento e embalagem.

No entanto, a detecção de *E. coli* em quatro amostras introduz um elemento crítico na avaliação do sistema, uma vez que a sua presença constitui um indicador inequívoco de recente contaminação fecal e, portanto, de uma falha na integridade microbiológica do produto. As concentrações registadas, que atingem valores até 800 CFU/100 mL na marca Tesalia (código SSD) e variam entre 200 e 650 CFU/100 mL em diferentes lotes da marca Mountain, refletem níveis significativamente elevados em comparação com o limite permitido (0 CFU/100 mL). De uma perspectiva inferencial, estes valores não representam simples desvios marginais, mas sim eventos críticos que mostram condições de contaminação substancial, com uma elevada carga microbiana que aumenta consideravelmente a probabilidade da presença de patógenos entéricos.

A distribuição dos resultados positivos também mostra um padrão específico associado a certos códigos de exemplo, particularmente SSD e, em menor grau, outros códigos da marca Mountain, o que sugere a possível existência de fatores sistemáticos relacionados com etapas específicas do processo de produção ou da cadeia de distribuição. Este comportamento aponta para a hipótese de falhas localizadas, seja em sistemas de desinfecção, em condições de armazenamento ou no manuseamento pós-engarrafamento. A coincidência das datas de produção em lotes contaminados reforça a possibilidade de eventos específicos de contaminação na fábrica ou condições ambientais adversas em determinados períodos, o que introduz uma dimensão temporal na dinâmica do risco.

A partir da abordagem de gestão do risco para a saúde, a coexistência de uma elevada percentagem de amostras compatíveis com um subconjunto pequeno mas significativamente contaminado sugere um cenário de risco não uniforme, caracterizado por uma baixa frequência de eventos mas com elevada gravidade. Este tipo de distribuição é particularmente relevante nos sistemas de água potável, uma vez que a ocorrência de eventos de contaminação microbiológica, embora esporádica, pode ter consequências desproporcionais em termos de saúde pública, incluindo surtos de doenças gastrointestinais. A magnitude dos valores observados indica que, em casos positivos, a exposição potencial excede largamente os limiares de segurança, o que aumenta a probabilidade de infeção nos consumidores.

Além disso, a interpretação destes resultados deve ser integrada com as condições físico-químicas previamente observadas, particularmente os baixos níveis de cloro residual, que limitam a capacidade de inibição microbiana durante o armazenamento. Esta interação sugere que a ausência inicial de contaminação não garante a segurança

do produto ao longo do tempo, pois condições de desinfecção subótimas podem facilitar o crescimento bacteriano em fases posteriores. Consequentemente, as evidências microbiológicas apresentadas refletem não só eventos de contaminação pontual, mas também a vulnerabilidade estrutural do sistema a falhas no controle de qualidade.

No geral, os resultados da Tabela 3 destacam a necessidade de reforçar os sistemas de garantia de qualidade microbiológica através da implementação de controles mais rigorosos, monitorização contínua e rastreabilidade dos lotes de produção. Destacam também a importância de adotar uma abordagem preventiva baseada numa gestão abrangente do risco, que não se limita ao cumprimento dos parâmetros físico-químicos, mas incorpora sistematicamente a vigilância microbiológica como eixo central para garantir a segurança da água engarrafada.

Tabela 4. Resultados das amostras analisadas de acordo com o desvio absoluto

Variável numérica	# de dados	Desvio Absoluto da Mediana	Mínimo	Máxim	Rango
Cloro livre (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

A análise baseada no desvio absoluto em relação à mediana (MAD) e nas estatísticas de dispersão apresentadas na Tabela 4 permite-nos aprofundar a robustez e heterogeneidade dos parâmetros físico-químicos, fornecendo evidências inferenciais relevantes para a avaliação do risco para a saúde. Ao contrário do desvio padrão, a MAD oferece uma medida menos sensível a valores extremos, pelo que a sua interpretação é particularmente útil para identificar a estabilidade estrutural dos dados e detetar a presença de valores atípicos com potencial impacto na qualidade da água.

No caso do cloro livre residual, o desvio absoluto em relação à mediana (0,015 mg/L) juntamente com um intervalo de 0,060 mg/L revela uma dispersão moderada em torno de valores consistentemente baixos, confirmando que a baixa concentração de cloro não responde a valores pontuais, mas sim a uma condição sistemática na maioria das amostras. Este padrão reforça a hipótese de controle insuficiente do resíduo desinfetante em toda a amostra, aumentando uniformemente a vulnerabilidade a processos de recontaminação microbiológica e comprometendo a estabilidade sanitária do produto durante o armazenamento.

O pH tem um MAD de 0,222 e um intervalo relativamente limitado (1,36 unidades), indicando considerável estabilidade química entre as amostras. Esta baixa dispersão, tanto em termos absolutos como robustos, sugere que o pH não é um fator diferenciador relevante em termos de risco direto para a saúde; No entanto, o seu comportamento homogêneo dentro da gama neutra a ligeiramente alcalina pode facilitar a persistência de certos microrganismos na ausência de mecanismos desinfetantes eficazes, especialmente quando combinado com outros fatores limitantes, como baixo cloro residual.

No que diz respeito aos fosfatos, o MAD de 0,297 mg/L e o intervalo de 1,8 mg/L apresentam uma variabilidade intermédia com a presença de valores relativamente elevados. Este comportamento sugere que, embora a maioria das amostras tenha concentrações próximas da mediana, existem aumentos significativos em certas condições que podem favorecer os processos de enriquecimento trófico. Neste contexto, o fósforo continua a posicionar-se como um fator crítico na avaliação do risco ecológico, uma vez que pequenas variações na sua concentração podem desencadear alterações substanciais na dinâmica biológica, particularmente em sistemas suscetíveis à proliferação de cianobactérias.

A análise dos nitratos mostra um MAD de 0,519 mg/L e uma ampla gama de 4,4 mg/L, o que revela uma elevada heterogeneidade na distribuição deste nutriente. A combinação de uma dispersão robusta relativamente alta com uma ampla gama sugere a coexistência de dois comportamentos: um grupo maioritário de valores moderados e uma fração de amostras com concentrações significativamente mais elevadas. A partir da abordagem do risco para a saúde, esta distribuição não uniforme implica que certos lotes apresentam condições mais favoráveis para os processos de eutrofização ou refletem possíveis influências de fontes externas de contaminação, aumentando a incerteza na qualidade da água.

No caso dos nitritos, a MAD é baixa (0,003 mg/L), mas o seu intervalo (0,020 mg/L) indica a presença de valores extremos que, embora raros, são relevantes devido à sua importância para a saúde. Esta discrepância entre a estabilidade central e a amplitude do intervalo sugere eventos recentes de poluição ou falhas na oxidação completa do azoto. Do ponto de vista epidemiológico, mesmo pequenas concentrações de nitritos podem ter implicações em populações vulneráveis, reforçando a necessidade de considerar não só a magnitude, mas também a variabilidade deste parâmetro.

Os parâmetros associados à mineralização, como a condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos totais, apresentam os valores de dispersão mais elevados, com MAD de 203,116 μ S/cm e 102,299 ppm respetivamente, e intervalos extremamente amplos (792 μ S/cm e 396 ppm). Esta elevada variabilidade confirma uma heterogeneidade marcada na origem da água e nos processos de tratamento

aplicados pelas diferentes marcas. Do ponto de vista da saúde, esta diversidade composicional pode influenciar a estabilidade química da água e a interação entre microrganismos e a matriz aquosa, afetando indiretamente a persistência dos contaminantes e a eficiência dos processos de desinfecção.

Por fim, a temperatura e o potencial redox apresentam valores de MAD relativamente baixos em comparação com os seus intervalos, o que indica condições de estabilidade operacional durante a amostragem, embora com uma certa amplitude que pode responder a variações no armazenamento e manuseamento. Uma temperatura em torno dos 25 °C, combinada com valores moderados de potencial redox, pode contribuir para a viabilidade microbiana na ausência de controlo químico adequado, reforçando assim a interação entre variáveis físico-químicas e microbiológicas na construção do risco para a saúde.

No geral, a análise robusta de dispersão confirma que a qualidade da água engarrafada depende não só dos valores médios dos parâmetros, mas também da sua variabilidade estrutural e da presença de valores extremos. A coexistência de estabilidade em alguns parâmetros e alta heterogeneidade noutros configura um cenário complexo em que o risco para a saúde não é homogêneo, mas está distribuído de forma desigual entre amostras, marcas e lotes. Este comportamento destaca a necessidade de abordagens de monitorização que incorporem métricas robustas de variabilidade e permitam a identificação precoce de condições críticas que possam comprometer a segurança do produto.

Tabela 5. Resultados das amostras testadas para viés

Variável numérica	# de dados	Sesgo	Curtose	Erro Médio Padrão
Cloro_livre (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

A análise dos coeficientes de assimetria (viés) e curtose apresentada na Tabela 5 permite-nos aprofundar a forma das distribuições dos parâmetros físico-químicos, fornecendo evidências inferenciais críticas sobre a presença de valores extremos e a sua implicação na avaliação do risco para a saúde. Em termos gerais, a predominância de vieses positivos em várias variáveis indica distribuições assimétricas à direita, o que implica a existência de valores elevados que, embora não representem a tendência central, têm um impacto significativo na qualidade do sistema e na interpretação do risco.

No caso do cloro livre residual, o viés positivo (1,014) e a curtose ligeiramente elevada (1,078) apresentam uma

distribuição assimétrica com a presença de valores altos isolados, embora a maioria das amostras esteja concentrada em níveis baixos. Este comportamento confirma que valores mais elevados de cloro, embora existam, não representam a condição dominante do sistema. Do ponto de vista da saúde, isto reforça a interpretação de que a proteção microbiológica é insuficiente na maioria dos casos e que eventos com maior resíduo cloro não compensam o déficit generalizado de desinfecção.

O pH apresenta um viés negativo (-1,093) e uma kurtose próxima de zero (-0,2706), o que indica uma ligeira concentração de valores na parte superior da gama, com uma distribuição relativamente achatada. Este padrão sugere uma estabilidade estrutural do parâmetro, com baixa presença de valores extremos. Embora o pH não represente um risco direto nos intervalos observados, a sua distribuição uniforme confirma condições físico-químicas consistentes que poderiam favorecer a persistência de microrganismos na ausência de barreiras desinfetantes adequadas.

Os fosfatos apresentam um viés positivo (1,357) e alta kurtose (1,578), indicando uma distribuição em cauda para valores elevados e uma certa concentração de dados em torno da média com a presença de picos. Este comportamento é consistente com a existência de amostras com concentrações significativamente mais elevadas que podem atuar como pontos críticos na dinâmica do sistema. A partir da abordagem de risco, estes valores elevados tornam-se relevantes ao potenciar os processos de eutrofização, aumentando a probabilidade de proliferação de cianobactérias e, conseqüentemente, de geração de cianotoxinas.

A análise de nitratos mostra um viés positivo mais pronunciado (1,656) e uma alta kurtose (2,1482), refletindo uma distribuição altamente assimétrica e leptocurística. Este padrão mostra que, embora a maioria das amostras esteja concentrada em valores moderados, existem concentrações elevadas que aumentam significativamente a média. A presença destes valores extremos sugere fontes localizadas de contaminação que geram heterogeneidade na qualidade da água. Do ponto de vista da saúde, esta distribuição implica que certos lotes têm maior potencial para contribuir para os processos de enriquecimento trófico e, portanto, para os riscos ambientais e de saúde associados.

O comportamento dos nitritos é particularmente relevante, com um viés muito elevado (2,376) e uma kurtose extremamente elevada (7,7043), indicando uma distribuição altamente concentrada em valores baixos, mas com a presença de picos extremos pouco frequentes. Este padrão sugere eventos específicos de contaminação recente ou falhas no tratamento, que, embora estatisticamente não representativas, têm uma elevada relevância para a saúde. Do ponto de vista do risco, este tipo de distribuição caracteriza cenários em que a frequência dos eventos é baixa mas a sua gravidade potencial é elevada, o que é consistente com sistemas vulneráveis a falhas esporádicas.

Parâmetros de mineralização, como condutividade (viés 1,459; curtose 1,5211) e sólidos dissolvidos totais (viés 1,457; curtose 1,5122), exibem comportamentos semelhantes, com assimetria positiva e alta curtose, indicando elevada heterogeneidade na composição da água. Este padrão confirma a existência de amostras com níveis significativamente mais elevados de mineralização, que podem influenciar a estabilidade química do sistema e a interação com microrganismos. Do ponto de vista do risco, esta variabilidade pode afetar a dinâmica de sobrevivência bacteriana e a eficácia dos processos de desinfecção.

Em contraste, a temperatura apresenta um viés negativo (-1,185) e uma kurtose positiva (1,1433), indicando uma ligeira concentração de valores no extremo superior com alguma acumulação central. Este comportamento, juntamente com a baixa variabilidade anteriormente observada, sugere condições térmicas relativamente estáveis, mas em intervalos que podem favorecer o crescimento microbiano. Por outro lado, o potencial redox (mV) apresenta um viés próximo de zero (-0,039) e uma kurtose negativa (-0,2561), o que indica uma distribuição praticamente simétrica e homogênea, sem presença significativa de valores extremos.

A análise conjunta dos coeficientes de viés, curtose e erro padrão da média permite-nos inferir que, embora alguns parâmetros tenham distribuições relativamente estáveis, outros apresentam assimetrias marcadas e caudas longas que indicam a presença de valores críticos. Esta configuração estatística é indicativa de um sistema não homogêneo, em que a qualidade da água pode variar significativamente entre amostras e onde a presença de eventos extremos, embora rara, tem um impacto desproporcional na avaliação do risco para a saúde. Neste contexto, a identificação e o controle destes valores atípicos são essenciais para o desenho de estratégias de monitorização e gestão, pois constituem os principais determinantes dos riscos emergentes associados à qualidade da água engarrafada.

4.- Discussão

4.1. Interpretação dos resultados

Os resultados obtidos mostram que a qualidade da água engarrafada avaliada não pode ser interpretada apenas sob uma abordagem de conformidade regulamentar, mas requer uma análise abrangente baseada na gestão do risco para a saúde. Embora a maioria dos parâmetros físico-químicos permaneça dentro dos intervalos permitidos, a presença de variabilidade significativa entre marcas e lotes sugere a existência de heterogeneidade nos processos de captura, tratamento e controle de qualidade. Este comportamento confirma que a qualidade da água não é uma condição estática, mas sim o resultado de dinâmicas operacionais complexas que podem gerar cenários de vulnerabilidade sanitária, mesmo em sistemas regulados.

Um achado particularmente relevante é a consistência de níveis subótimos de cloro residual, que representa um fator crítico do ponto de vista da desinfecção. Do ponto de vista técnico, o cloro residual atua como uma barreira secundária que assegura a estabilidade microbiológica da água durante o armazenamento e distribuição. A literatura estabeleceu que concentrações abaixo dos intervalos recomendados reduzem a eficácia desta barreira, aumentando a probabilidade de contaminação pós-tratamento. Neste contexto, os resultados sugerem que o sistema analisado tem uma capacidade limitada de controle microbiológico ao longo do tempo, o que poderá explicar o aparecimento de eventos específicos de contaminação detetados na análise microbiológica.[31]

Em relação aos nutrientes, a presença de nitratos, nitritos e fosfatos em concentrações moderadas, embora dentro de limites aceitáveis, adquire relevância quando considerada a partir de uma abordagem ecológica e de risco emergente. A literatura recente sugere que a disponibilidade simultânea de azoto e fósforo pode favorecer processos de eutrofização, mesmo em sistemas aparentemente controlados, particularmente em condições tropicais caracterizadas por altas temperaturas. Neste sentido, a coexistência de nutrientes com baixos níveis de desinfetante configura um cenário propício ao desenvolvimento de microrganismos, incluindo cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas, o que transcende as abordagens tradicionais de avaliação da qualidade.

Finalmente, a detecção de contaminação microbiológica num número pequeno mas significativo de amostras introduz uma dimensão crítica na interpretação dos resultados. Do ponto de vista da gestão do risco, este comportamento é consistente com sistemas caracterizados por baixa frequência de eventos mas elevada gravidade, onde a ocorrência de falhas pontuais pode gerar impactos desproporcionais na saúde pública. No geral, os resultados mostram que a aparente conformidade físicoquímica não garante a segurança da saúde, o que reforça a necessidade de adotar abordagens abrangentes que considerem a interação entre variáveis químicas, microbiológicas e ambientais.

4.2. Comparação com estudos anteriores

Os resultados obtidos são relevantes em linha com investigações anteriores que documentaram a variabilidade na qualidade da água engarrafada e as limitações dos sistemas de controle baseados exclusivamente em parâmetros convencionais. Vários estudos relataram que, embora a água engarrafada normalmente cumpra critérios físicoquímicos estabelecidos, podem ocorrer inconsistências microbiológicas associadas a falhas nos processos de desinfecção ou condições de armazenamento inadequadas. Este padrão coincide com os achados observados, onde a maioria das amostras cumpre os requisitos regulamentares, mas os eventos isolados de contaminação fecal persistem.[32]

Em particular, os resultados microbiológicos são consistentes com o que foi reportado em estudos regionais, como o realizado na província de Guayas, onde foi evidenciada a presença de *Escherichia coli* em água engarrafada comercializada. Esta coincidência reforça a hipótese de que, em contextos locais, os sistemas de garantia de qualidade apresentam fragilidades estruturais que permitem a ocorrência de eventos de poluição. Da mesma forma, pesquisas recentes indicaram que a percepção de segurança associada à água engarrafada nem sempre corresponde à sua verdadeira qualidade microbiológica, o que coloca estas descobertas num problema mais amplo de confiança e regulação em sistemas alternativos de fornecimento.[33]

Em relação aos parâmetros físicoquímicos, os resultados são consistentes com estudos que demonstraram a influência de fatores como a fonte de absorção e os processos de tratamento na variabilidade de parâmetros como condutividade, sólidos dissolvidos e nutrientes. No entanto, o presente estudo acrescenta um elemento adicional ao integrar estes parâmetros com a abordagem de risco para a saúde, mostrando como a presença de nutrientes, mesmo em concentrações moderadas, pode tornar-se relevante em termos de processos de eutrofização e proliferação biológica. Esta integração permite-nos ir além da descrição da qualidade para uma interpretação funcional do sistema.[34]

Além disso, as descobertas relacionadas com o potencial de proliferação de cianobactérias alinham-se com investigações recentes que documentaram a presença de genes associados à produção de cianotoxinas em corpos de água da região, como o rio Daule. Esta convergência de evidências sugere que os sistemas hídricos da área apresentam condições favoráveis ao desenvolvimento de contaminantes emergentes, e que estes riscos podem estender-se aos sistemas de água tratada se não existirem controles adequados. Neste sentido, o estudo contribui para expandir o conhecimento existente ao ligar a qualidade da água engarrafada à dinâmica ambiental regional e aos riscos emergentes.[35]

4.3. Implicações teóricas e práticas

Do ponto de vista teórico, os resultados do estudo fornecem evidências que reforçam a necessidade de passar das abordagens tradicionais de controle de qualidade para modelos abrangentes baseados na gestão do risco para a saúde. A literatura indicou que a avaliação da qualidade da água deve considerar não só o cumprimento dos limites máximos permitidos, mas também a probabilidade de ocorrência de eventos adversos e as suas possíveis consequências. Neste contexto, o presente estudo contribui para consolidar uma abordagem multidimensional que integra variáveis físicoquímicas, microbiológicas e ambientais, expandindo o quadro conceptual para a avaliação de sistemas de água engarrafada.

O estudo também oferece uma perspectiva relevante ao incorporar a análise de contaminantes emergentes, como cianobactérias e as suas toxinas, no contexto da água engarrafada. Esta abordagem permite alargar a discussão para além dos indicadores tradicionais, evidenciando a necessidade de incluir variáveis associadas à eutrofização e à dinâmica ecológica nos sistemas de monitorização. Desta forma, contribui para o desenvolvimento de modelos conceptuais mais completos que considerem a interação entre processos químicos, biológicos e ambientais na geração de riscos para a saúde.

Na prática, os resultados têm implicações diretas para a indústria da água engarrafada e para as entidades reguladoras. Evidências de baixos níveis de cloro residual sugerem a necessidade de rever e otimizar os processos de desinfecção para garantir a estabilidade microbiológica do produto durante o seu ciclo de vida. Da mesma forma, a variabilidade observada entre marcas destaca a importância de reforçar os sistemas de controlo de qualidade, incluindo auditorias periódicas, monitorização em tempo real e rastreabilidade por lotes, para reduzir a ocorrência de eventos de contaminação.

Adicionalmente, de uma perspectiva aplicada, os resultados abrem a possibilidade de desenvolver estratégias de inovação tecnológica destinadas a melhorar os sistemas de tratamento e armazenamento, como o uso de desinfetantes alternativos, sensores inteligentes para monitorização contínua ou modelos preditivos da qualidade da água. Da mesma forma, no campo da gestão ambiental, os resultados sugerem a necessidade de implementar políticas integradas que abordem a qualidade da água desde a fonte até ao consumo, incorporando a abordagem "One Health" como quadro para a tomada de decisões.

4.4. Limitações e projeções futuras

Apesar da relevância dos resultados obtidos, o estudo apresenta certas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Em primeiro lugar, o tamanho da amostra, embora representativo das marcas mais consumidas, pode não captar totalmente a variabilidade do mercado de água engarrafada na província de Guayas, o que poderia limitar a generalização dos resultados. Da mesma forma, a seleção das amostras foi feita com base na disponibilidade e acessibilidade, o que introduz um possível viés associado à distribuição comercial dos produtos.

Do ponto de vista metodológico, a análise centrou-se num conjunto específico de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, implicando que outros poluentes potencialmente relevantes, como metais pesados, microplásticos ou compostos orgânicos emergentes, não foram considerados. Esta limitação restringe o âmbito do estudo em termos de caracterização abrangente da qualidade da água e sugere a necessidade de alargar o espectro de análises em futuras investigações.

Em relação às cianotoxinas, embora tenha sido utilizado um método de deteção validado, os resultados obtidos refletem

a aparente ausência destas substâncias em condições iniciais, mas mostram o seu possível desenvolvimento em condições experimentais controladas. No entanto, o estudo não incorpora uma análise longitudinal que permita avaliar a evolução temporal destes poluentes em condições reais de armazenamento, o que limita a compreensão da sua dinâmica em cenários de consumo. Esta restrição destaca a necessidade de estudos mais aprofundados que integrem análises temporais e condições ambientais variáveis.

Neste contexto, a investigação futura deve orientar-se para o desenvolvimento de modelos preditivos de risco que integrem variáveis físico-químicas, microbiológicas e ambientais, permitindo antecipar cenários de contaminação. Recomenda-se também a incorporação de técnicas avançadas de análise, como ferramentas moleculares para a deteção de genes toxigénicos ou sensores em tempo real para monitorização da qualidade. Estas linhas de investigação não só permitiriam ultrapassar as limitações identificadas, como também contribuiriam para o desenvolvimento de sistemas de gestão mais robustos e adaptativos, capazes de responder a desafios emergentes na qualidade da água para consumo humano.

5.- Conclusão.

5.1. Síntese dos achados

O presente estudo permitiu avaliar de forma abrangente a qualidade da água engarrafada comercializada na província de Guayas através da aplicação de indicadores físico-químicos e microbiológicos, mostrando que, embora a maioria das amostras cumpra os limites estabelecidos pelas regulamentações atuais, existem variações significativas entre marcas e lotes que condicionam a estabilidade sanitária do produto. Em particular, foi identificado que os parâmetros físico-químicos apresentam comportamentos heterogêneos, caracterizados pela presença de nutrientes em concentrações moderadas e níveis consistentemente baixos de cloro residual, o que limita a capacidade de controlar a qualidade microbiológica durante o armazenamento.

Da mesma forma, os resultados microbiológicos revelaram a presença de eventos específicos de contaminação fecal, o que mostra que o cumprimento dos parâmetros físico-químicos não garante a segurança da água por si só. Esta evidência confirma que a qualidade da água engarrafada responde a dinâmicas complexas envolvendo tanto processos de tratamento como condições subsequentes de manuseamento. Neste sentido, os objetivos do estudo foram alcançados ao evidenciar a necessidade de integrar múltiplos indicadores para uma avaliação mais robusta do risco para a saúde nos sistemas de água para consumo humano.

5.2. Contribuições científicas e técnicas

Do ponto de vista científico, o estudo contribui para fortalecer o quadro conceptual da gestão de riscos para a saúde em sistemas de água engarrafada, demonstrando que a avaliação baseada em parâmetros tradicionais é

insuficiente quando analisada isoladamente. A integração de variáveis físico-químicas e microbiológicas, juntamente com a consideração dos fatores associados aos poluentes emergentes, permite-nos avançar para uma abordagem multidimensional que alarga a compreensão dos processos que determinam a qualidade da água.

No campo técnico, o trabalho fornece evidências empíricas relevantes sobre a variabilidade na qualidade da água engarrafada num contexto tropical, identificando condições que podem favorecer a proliferação de microrganismos e a deterioração da qualidade durante a cadeia de abastecimento. Da mesma forma, a incorporação da análise de cianotoxinas, mesmo quando estas não foram inicialmente detetadas nas amostras, representa um avanço metodológico ao considerar o potencial para o desenvolvimento de riscos emergentes sob condições ambientais específicas, contribuindo assim para fechar lacunas na avaliação convencional da qualidade da água.

5.3. Implicações teóricas e aplicações práticas

Os resultados do estudo têm implicações relevantes para o desenvolvimento teórico dos modelos de avaliação da qualidade da água, pois demonstram a necessidade de adotar abordagens baseadas no risco que integrem variáveis químicas, microbiológicas e ecológicas. Esta perspectiva permite-nos avançar para quadros conceptuais mais robustos, nos quais a qualidade da água é entendida como um sistema dinâmico influenciado por múltiplos fatores inter-relacionados, superando assim abordagens tradicionais focadas exclusivamente na conformidade regulatória.

Do ponto de vista aplicado, os resultados destacam a importância de reforçar os sistemas de controlo de qualidade na indústria da água engarrafada, particularmente no que diz respeito à otimização dos processos de desinfecção, à monitorização contínua de parâmetros críticos e à implementação de sistemas de rastreabilidade que permitam identificar e corrigir falhas na cadeia de abastecimento. Da mesma forma, é evidente a necessidade de incorporar indicadores emergentes de contaminação e estratégias preventivas para mitigar os riscos associados à proliferação das cianobactérias, especialmente em regiões com condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento.

5.4. Projeções e linhas de investigação futura

Com base nos resultados obtidos, são identificadas várias linhas de investigação futura destinadas a aprofundar a compreensão dos fatores que condicionam a qualidade da água engarrafada. Em primeiro lugar, recomenda-se o desenvolvimento de estudos longitudinais para avaliar a evolução temporal dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos durante o armazenamento, de modo a determinar a estabilidade do produto ao longo da sua vida útil. É também pertinente incorporar a análise de outros poluentes emergentes, como metais pesados, microplásticos

e compostos orgânicos, que podem influenciar a qualidade da água e a saúde dos consumidores.

Além disso, sugere-se avançar para o desenvolvimento de modelos preditivos de risco que integrem variáveis ambientais, operacionais e de qualidade da água, permitindo antecipar cenários de poluição e otimizar sistemas de gestão. Por fim, a implementação de técnicas avançadas de monitorização, incluindo ferramentas moleculares para a deteção de microrganismos toxigénicos e sensores em tempo real, representa uma linha promissora para reforçar a vigilância da saúde e contribuir para o desenho de sistemas de abastecimento mais seguros e resilientes em contextos de elevada pressão antropogénica.

6.- Agradecimentos.

Não aplicável.

7.- Contribuições dos autores (Taxonomia dos papéis dos colaboradores - CRediT)

1. Conceptualização: Fabiola Villa Sánchez
2. Curadoria de Dados: Amy Merchán Mendoza
3. Análise formal: Fabiola Villa Sánchez
4. Aquisição de fundos: Tony Coloma Coloma
5. Investigação: Antonio Escobar Machado
6. Metodologia: Tony Coloma Coloma
7. Gestão de projetos: Hernán Villa Sánchez
8. Recursos: Hernán Villa Sánchez
9. Software: Antonio Escobar Machado
10. Supervisão: Edisson Lascano Mora
11. Validação: Tony Coloma Coloma
12. Visualização: Amy Merchán Mendoza
13. Escrita - rascunho original: Edisson Lascano Mora
14. Redação-revisão e edição: Amy Merchán Mendoza

8.- Apêndice.

Não aplicável.

9.- Referências.

- [1] Organização Mundial da Saúde (OMS), "Diretrizes para a qualidade da água potável: Quarta edição incorporando os primeiro, segundo e terceiro adendas," Organização Mundial da Saúde, 2026. [Online]. Disponível: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240121225>. [Acedido em 2026].
- [2] Villanueva, C. M., Kogevinas, M., & Grimalt, J. O., "Cloração da água potável em Espanha e cancro da bexiga," em *Gaceta Sanitaria*, 2001, pp. 15(1), 48–53.
- [3] Godoy, P., Bartolomé, R., Torres, J., Espinet, L., Escobar, A., Nuín, C., & Domínguez, Á., "Rote de gastroenteritis por el consumo de agua de agua de público causa por Shigella sonnei," *Gaceta Sanitaria*, 25(5), 363–367, 2011. [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2011.0>. [Acedido em 2026].
- [4] McLachlan, R. I., & Tuffley, C., "Estudo paramétrico da incidência de E. coli com referência aos padrões de água doce da Nova Zelândia e à região Manawatū-Whanganui,"

- arXiv, 2011. [Online]. Disponível:
<https://arxiv.org/abs/2110.01808>. [Acedido em 2026].
- [5] C. P. R. J. A. & L. F. A. Llushca, ". Qualidade físico-química e microbiológica da água mineral de nascente engarrafada comercializada em Quito, Equador.", *Acta Farmacêutica Portuguesa*, 2023.
- [6] Instituto Ecuatoriano de Normalização (INEN)., "NTE INEN 2200: Água engarrafada. Requisitos.", *NTE INEN 2200: Água engarrafada. Requisitos*, 2014.
- [7] Alejandro Quezada, Daniela del Cisne, "Identificação de cianobactérias associadas a riscos para a saúde humana presentes na biodiversidade aquática da Lagoa Papallacta.", REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDADE CENTRAL DO EQUADOR, 2023. [Online]. Disponível:
<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/9da979f3-4c27-4bbc-93d4-da9dfae5c09a>. [Acedido em 2026].
- [8] Estupiñán Vera, G. E., Briceño Castillo, J. P., Cazañas Chica, J. D., & Vines Muñoz, A. A., "Nível de aceitação dos tipos de água engarrafada na cidade de Guayaquil.", *RECIMUNDO*, 9(2), 596–607, 2025. [Online]. Disponível:
<https://doi.org/10.26820/recimundo/9.2>. Abril.2025.596-607. [Acedido em 2026].
- [9] Huisman, J., & Visser, P. M., "Proliferações cianobacterianas nocivas: Causas, consequências e estratégias de controlo.", *Aquatic Ecology*, 2018.
- [10] Schreiber, A., & Van der Merwe, M., ". Uma Saúde e gestão da qualidade da água: Integrar a saúde dos ecossistemas, animal e humana.", 2021.
- [11] Coloma Gavilanes, Julio Fernando; Labanda Lucero, Ricardo Andrés, "Ferramentas moleculares para a deteção de cianobactérias potencialmente tóxicas em ecossistemas aquáticos do rio Daule.", *DSpace Repository*, 2023. [Online]. Disponível:
<https://dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/58379?locale-attribute=en>. [Acedido em 2026].
- [12] R. Rojas, "Guia para a Vigilância e Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano," OPS, 2002.
- [13] L. A. Zapata Aspiazu, E. Haymacaña Moreno, F. J. Duque-Aldaz, F. G. Cabezas García e R. A. Sánchez Ancajima, "ARIMA vs. Modelos Híbridos com Aprendizagem Automática para Previsão do PIB do Equador", 2026.
- [14] Zepeda Rodríguez, L. F., & Tello Ibarra, J. V., "Água Engarrafada: Reflexões Sanitárias entre o Direito Humano à Saúde e a Indústria Privada.", *Constitutional Issues. Revista Mexicana de Direito Constitucional*, 26(52), e19558, 2025. [Online]. Disponível:
<https://doi.org/10.22201/ij.24484881e.2025.52.19558>. [Acedido em 2026].
- [15] B. Fournier e R. Mujeriego Sahuquillo, "Gestão del riesgo sanitario en la regeneración del agua," UPC, 2006.
- [16] B. M. Guillén Chuncho, "avaliação de componentes químicos e microbiológicos em água engarrafada para consumo humano, comercializada em três cantões da província de Guayas," *UG Repository*, 2020. [Online]. Disponível:
<https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49925>. [Acedido em 2026].
- [17] E. I. Carrillo Paredes e J. E. Baldeón Cajo, "Controlo da qualidade da água para consumo humano através de parâmetros físico-químicos e microbiológicos na Paróquia de San Andrés, Chimborazo, para uma gestão sanitária eficiente," UISEK, 2018.
- [18] E. Osorio Caicedo e D. Paredes Cuervo, "Diretrizes Estratégicas Focadas na Redução do Risco para a Saúde Aplicada em Dois Sistemas de Abastecimento Comunitário," UTP, 2022.
- [19] B. L. Guzmán, G. Nava e P. Díaz, "A qualidade da água para consumo humano e a sua associação com a morbilidade e mortalidade na Colômbia, 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 e R. Sánchez Casanova, "Avaliação e Proposta para um Sistema de Gestão Ambiental numa Plantação de Manga", *Inquide*, vol. 7, n.º 1, 2025.
- [21] F. J. Duque-Aldaz, E. R. Haymacaña Moreno, L. A. Zapata Aspiazu e F. Carrasco Choque, "Previsão do teor de humidade no processo de secagem do cacau por regressão linear simples.", *Inquide*, vol. 6, n.º 2, 2024.
- [22] A. Pérez Vidal, P. Torres Lozada e C. H. Cruz Vélez, "Planos de Segurança da Água. Fundamentos e perspectivas de implementação na Colômbia," *Engineering and Research*, vol. 29, n.º 3, 2009.
- [23] M. Padilla Gómez e F. Ascutar Ríos, "Análise dos riscos para a saúde e ambientais identificados nos sistemas de abastecimento de água para consumo humano dos municípios de categoria 4, 5 e 6 do Departamento do Valle del Cauca," *Universidad Autónoma de Occidente*, 2020.
- [24] C. M. Tito Arequipa e V. M. Ortiz Bustamante, "Estudo da qualidade da água como fator de risco sanitário e modelo de gestão do abastecimento de água do bairro Santo Samana da cidade de Latacunga no período de 2015.", *Universidade Técnica de Cotopaxi*, 2017.
- [25] F. J. Duque-Aldaz, F. R. Rodríguez-Flores e J. Carmona Tapia, "Identificação de parâmetros em sistemas de equações diferenciais ordinárias através do uso de redes neurais artificiais," *Revista San Gregorio*, vol. 1, n.º 2, 2025.
- [26] K. E. Zambrano Acosta e N. Vásquez Sarria, "Estudo dos fatores de risco ambientais e para a saúde e o seu impacto na qualidade da água para consumo humano em algumas áreas rurais do Valle del Cauca," *Universidad Autónoma de Occidente*, 2018.
- [27] L. E. Quispe Alegre, "Desenvolvimento e implementação de um protótipo de controlo e monitorização para determinar o risco sanitário do sistema de abastecimento de água para consumo humano na vila de El Triunfo, através de sensores eletrónicos e tecnologia web, 2017," UNAMAD, 2019.
- [28] R. González Forero e N. F. Ajiaco Ajiaco, "Projeto de um sistema de gestão de risco baseado na Norma ISO 31000 para sistemas de desinfecção com cloro em estações de tratamento de água," *Universidad de La Salle*, 2018.
- [29] G. E. Castro Rosales, A. D. Torres Alvarado, L. S. Zalamea Cedeño, F. J. Duque-Aldaz e F. R. Rodríguez-Flores, "Proposta Ergonómica Abrangente para a Redução dos Riscos Musculoesqueléticos na Produção de Sabão: Uma Abordagem Baseada em Análise Estatística e Avaliação Postural," *Inquide*, vol. 7, n.º 2, 2025.
- [30] G. J. Morocho Choca, L. Á. Bucheli Carpio e F. J. Duque-Aldaz, "Otimização do despacho de combustível de

combustível através de regressão multivariada usando indicadores locais de armazenamento.", *Inquide*, vol. 6, n.º 2, 2024.

- [31 E. Haymacaña Moreno, L. A. Zapata Aspiazu, F. J. Duque-
] Aldaz, G. F. Cabezas García e R. A. Sánchez Ancajima, Modelação em série temporal da matrícula no ensino secundário no Equador: uma análise Box–Jenkins (1971–2023), *Inquide*, 2026.
- [32 B. L. Guzmán B., G. Nava T. e P. D. Bevilacqua,
] "Vigilância da qualidade da água para o consumo humano na Colômbia: desafios para a saúde ambiental," *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, vol. 34, n° 2, 2016.
- [33 L. Alcalde Sanz, M. Folch Sánchez e J. C. Tapias Pantebre,
] "Avaliação e gestão do risco associado à reutilização de águas residuais," Universidade de Barcelona, 2012.
- [34 J. Ramírez Flórez e J. W. Sanchez Marin, "Apoio num
] projeto sanitário de risco focado na linha de água para consumo humano e uso recreativo no Ministério da Saúde do Gabinete da Câmara de Medellín," *Tecnológico de Antioquia*, 2021.
- [35 J. J. Caverro Torres e B. R. Mariño Tenio, "Diagnóstico em
] sistemas de saneamento a partir da gestão do risco de desastres: uma revisão sistemática," *InveCom Journal*, vol. 5, n° 3, 2025.