ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1522

Application of AI for Water Quality Assessment in Intelligent Hydration Systems

Paulo C. Poma[1], Carol Sánchez[2], Ángeles Pareja-Achahui[3], Liset Monzon Rivera[4], Giovanna M. Martínez Molina[5]
[1,2,3,4,5]Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú; N00179583@upn.pe; N00304547@upn.pe; N00290985@upn.pe; N00291569@upn.pe; giovanna.martinez@upn.edu.pe

***Abstract:** This project, developed under a semi-experimental approach, evaluated the need for an additional physicochemical analysis of the Elkay ezH2O water fountains at a private university, using artificial intelligence (AI) to optimize decision-making and ensure water quality in an educational environment. In Peru, reliable access to basic services such as drinking water remains a challenge; within this context, the study explored how AI can enhance water management in educational institutions. Through systematic methodologies (PICO and PRISMA), key data from the literature were collected and analyzed. Additionally, bacterial colony growth was measured in two university water fountains, revealing an inverse correlation between usage frequency and microbial proliferation. Fountain 1, located near restroom facilities and with an approximate flow of 150 users per day, exhibited lower bacterial growth (3 relative units), possibly due to the constant flow of water and frequent cleanings. In contrast, Fountain 2, situated in a low-traffic area (~20 users per day), showed significantly higher microbial proliferation (8 relative units), suggesting that lower water turnover and less frequent maintenance favor bacterial development. It is important to note that these microbial levels exceeded the potability standards established by the World Health Organization (WHO). These findings highlight the importance of continuous use and cleaning practices for the microbiological quality of drinking water. The support of AI helped optimize work times in literature collection (~50% reduction), critical evaluation (~42%), and data synthesis (~57%), while maintaining the accuracy and consistency of the analyses. In summary, the results confirmed the need to carry out a complementary physicochemical analysis in both fountains, thereby strengthening water safety and management in educational environments.*

***Keywords:** Water quality, artificial intelligence, physicochemical analysis, contamination.*

Aplicación de IA para la Evaluación de la Calidad del Agua en Sistemas de Hidratación Inteligente

Paulo C. Poma[1], Carol Sánchez[2], Ángeles Pareja-Achahui[3], Liset Monzon Rivera[4], Giovanna M. Martínez Molina[5]
[1,2,3,4,5]Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú; N00179583@upn.pe; N00304547@upn.pe; N00290985@upn.pe; N00291569@upn.pe; giovanna.martinez@upn.edu.pe

Resumen: ***Este proyecto, desarrollado bajo un enfoque semiexperimental, evaluó la necesidad de realizar un análisis físico-químico adicional en los bebederos Elkay ezH2O de una universidad privada, empleando inteligencia artificial (IA) para optimizar la toma de decisiones y asegurar la calidad del agua en un entorno educativo. En Perú, el acceso confiable a servicios básicos como el agua potable sigue siendo un desafío; en este contexto, el estudio exploró cómo la IA puede mejorar la gestión del agua en instituciones educativas. Mediante metodologías sistemáticas (PICO y PRISMA), se recopilaron y analizaron datos clave de la literatura. Asimismo, se midió el crecimiento de colonias bacterianas en dos bebederos universitarios, revelándose una correlación inversa entre la frecuencia de uso y la proliferación microbiana. El Bebedero 1, ubicado cerca de servicios higiénicos y con un flujo aproximado de 150 usuarios diarios, presentó un menor crecimiento bacteriano (3 unidades relativas *Estas 'unidades relativas' corresponden a un sistema interno de medición comparativa no estandarizado, sin equivalencia directa con ufc/mL), posiblemente debido al constante flujo de agua y limpiezas frecuentes. En contraste, el Bebedero 2, situado en una zona de baja afluencia (~20 usuarios diarios), mostró una proliferación microbiana significativamente mayor (8 unidades relativas), lo que sugiere que la menor rotación de agua y un mantenimiento más espaciado favorecen el desarrollo bacteriano. Cabe destacar que dichos niveles microbianos superaron los estándares de potabilidad establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Estos hallazgos resaltan la importancia del uso continuo y las prácticas de limpieza en la calidad microbiológica del agua potable. El apoyo de la IA permitió optimizar los tiempos de trabajo en la recopilación de literatura (~50% de reducción), evaluación crítica (~42%) y síntesis de datos (~57%), manteniendo la precisión y consistencia de los análisis. En resumen, los resultados obtenidos confirmaron la necesidad de efectuar un análisis físico-químico complementario en ambos bebederos, fortaleciendo así la seguridad y gestión del agua en ambientes educativos.***

Palabras Clave: Calidad del agua, inteligencia artificial, análisis físico-químico, contaminación.

I. INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable segura es un requisito fundamental para proteger la salud de la comunidad educativa y garantizar un entorno de aprendizaje adecuado. La Organización Mundial de la Salud (OMS) fija un límite de 0 ufc mL^{-1} de coliformes para agua destinada al consumo humano [1]. El incumplimiento de este parámetro se asocia a brotes de gastroenteritis y otras enfermedades infecciosas que reducen la asistencia a clases y merman el rendimiento académico [2][6][12]. Investigaciones epidemiológicas demuestran que la exposición repetida a agua contaminada puede provocar alteraciones intestinales crónicas y afectar el desarrollo cognitivo de los estudiantes [12].

En el Perú persisten grandes disparidades en la calidad y disponibilidad de agua potable. Datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) señalan que más del 25 % de los centros educativos urbanos y más del 50 % de los rurales carecen de agua segura [9][11]. La problemática se agrava en Lima y otras capitales regionales, donde las redes de distribución muchas con más de medio siglo de antigüedad presentan fugas y corrosión que incrementan la turbidez y el riesgo microbiológico del agua que llega al usuario final [10]. Para reducir el consumo de botellas plásticas y favorecer la hidratación constante, numerosas universidades han instalado sistemas de bebederos inteligentes que incluyen filtros de carbón activado y contadores digitales de botellas ahorradas [14]. Sin embargo, la eficiencia sanitaria de estos dispositivos depende de protocolos de mantenimiento estrictos y de un monitoreo periódico que verifique el cumplimiento de los estándares internacionales [14].

La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una aliada estratégica para el monitoreo hídrico. Modelos de aprendizaje automático y redes neuronales alcanzan precisiones superiores al 90 % en la predicción de picos de contaminación bacteriana en redes de distribución [17][26][27], permitiendo activar alertas tempranas y focalizar recursos en los puntos de mayor riesgo, algo particularmente valioso cuando los presupuestos de control son limitados [8][19]. En plantas de tratamiento, los algoritmos de IA ajustan en tiempo real la dosificación de coagulantes y desinfectantes, lo que ha permitido reducir costos operativos hasta en un 30 % y, simultáneamente, mejorar la calidad final del agua producida [19]. Además, la analítica avanzada facilita la trazabilidad de datos que exigen las autoridades sanitarias, fortaleciendo la transparencia y la rendición de cuentas [10][19].

El caso peruano presenta desafíos adicionales: la variabilidad hidrológica de la cordillera andina y la contaminación por metales pesados en zonas mineras generan escenarios difíciles de vigilar con métodos convencionales. Estudios recientes revelan concentraciones elevadas de arsénico, plomo y cadmio en pozos y ríos que abastecen a poblaciones urbanas y rurales [3][21]. Herramientas basadas en IA permiten identificar patrones espaciales de riesgo y anticipar eventos críticos, como descargas industriales o desbordes de alcantarillado, minimizando su impacto en la salud pública [17][28][31] y aumentando la resiliencia del suministro

[20][30][32]. Pese a estos avances, la literatura muestra un vacío en la aplicación de IA para la evaluación *in situ* de bebederos dentro de instituciones educativas peruanas.

Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue evaluar la efectividad de la IA (específicamente la asistencia de ChatGPT) como herramienta de apoyo para el monitoreo de la calidad del agua en los bebederos Elkay ezH2O. En particular, se buscó determinar si una evaluación preliminar asistida por IA puede identificar de manera eficiente y confiable la necesidad de realizar análisis físico-químicos adicionales, optimizando el uso de recursos sin comprometer el cumplimiento de los estándares internacionales de agua potable.

MÉTODOS

La contribución de este trabajo radica en la aplicación de un enfoque novedoso basado en IA para el monitoreo y gestión de la calidad del agua en instituciones educativas, algo que hasta ahora ha sido poco explorado en el contexto peruano. Este enfoque no solo tiene el potencial de reducir tiempos y costos, sino también de mejorar significativamente la seguridad y bienestar de la comunidad educativa.

A. Metodología PICO P – Población o Problema: Sistema Elkay ezH2O de la Universidad, y el reto de evaluar la calidad del agua dispensada. I – Intervención: Uso de IA (ChatGPT) para recopilar y analizar datos secundarios, identificando si es necesario realizar un análisis químico adicional. C – Comparación: Se comparará entre: • Realizar un análisis químico inmediato del agua. • Evaluación preliminar basada en IA y fuentes secundarias. O – Resultado: Determinar si la evaluación asistida por IA puede optimizar los recursos evitando análisis innecesarios, asegurando la calidad del agua y cumpliendo normativas. Este estudio plantea si el uso de IA puede resultar más eficiente que un análisis químico inmediato para evaluar la calidad del agua del sistema Elkay ezH2O.

B. Metodología PRISMA

Fase 1: Definición de los Criterios de Búsqueda • Términos de búsqueda: "Calidad del agua en sistemas educativos", "IA en monitoreo de agua", "Comparación de análisis químico y predictivo". • Fuentes: Google Scholar, ScienceDirect, repositorios institucionales y bases de datos académicas relevantes. • Ecuación de búsqueda: ("Calidad del agua" AND "sistemas educativos") OR ("inteligencia artificial" AND "monitoreo de agua") OR ("análisis químico" AND "predictivo")

Fase 2: Selección de Estudios • Criterios de inclusión: Estudios publicados entre 2019 y 2024, investigaciones sobre sistemas de agua en universidades o centros urbanos, enfoque en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. • Criterios de exclusión: Estudios que no se enfoquen en sistemas urbanos o educativos, artículos sin datos relevantes sobre calidad del agua o IA. • Proceso de selección: La selección de artículos se realizó de manera sistemática y fue llevada a cabo por dos investigadores de manera independiente. Se utilizó un proceso de doble ciego para evitar sesgos en la selección de estudios relevantes.

Fase 3: Extracción de Datos • Parámetros que se analizarán: Contaminantes microbiológicos, resultados de estudios previos comparados con normativas (OMS, EPA).

Fase 4: Análisis y Síntesis • Comparación de los parámetros encontrados en los estudios seleccionados con los estándares normativos. • Identificación de patrones de riesgo que justifiquen o no un análisis químico adicional.

Fase 5: Diagrama de Flujo PRISMA • Se utilizará un diagrama de flujo para representar las fases de identificación, selección, elegibilidad e inclusión de los estudios analizados.

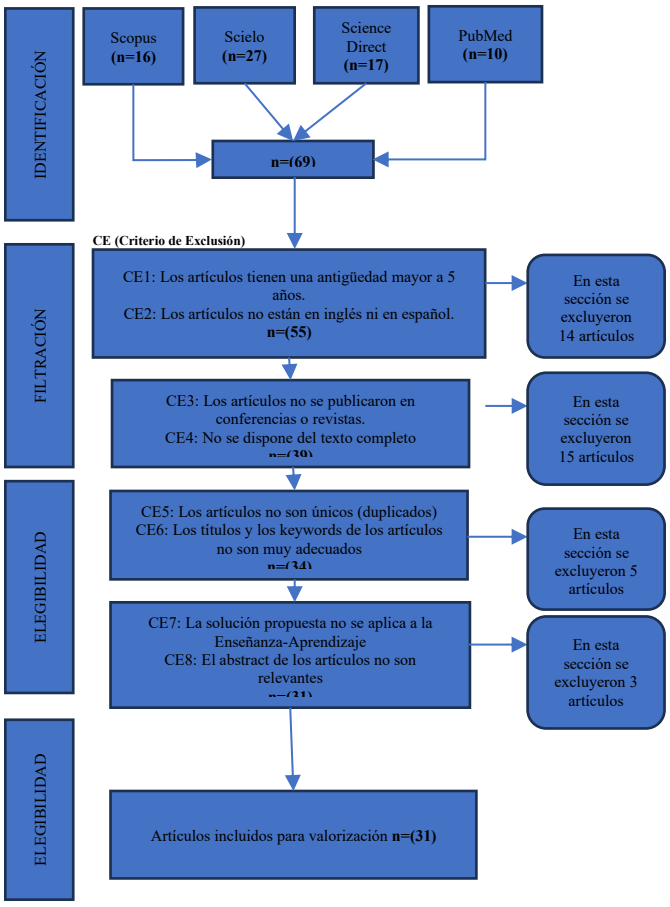


Figura 1. Flujo de Selección de Artículos Según Criterios de Exclusión

La metodología incluyó el uso de *ChatGPT* como herramienta de apoyo para la recopilación y análisis de información. Dado que ChatGPT es un modelo de lenguaje de propósito general, se reconocen sus limitaciones en contextos técnicos especializados: sus respuestas pueden carecer de precisión absoluta en detalles científicos específicos. Por ello, su contribución se utilizó de forma orientativa y siempre complementada con la verificación por expertos humanos, asegurando la confiabilidad de los datos interpretados. Se justificó su empleo debido a su capacidad para acelerar la

síntesis de literatura y la identificación de patrones preliminares en grandes volúmenes de datos, lo que permitió optimizar el proceso de investigación sin comprometer la rigurosidad.

Así como también, se llevaron a cabo simulaciones predictivas asistidas por IA para proyectar escenarios de calidad del agua basados en patrones históricos. Estas simulaciones utilizaron el modelo generativo de ChatGPT para estimar tendencias de contaminación y compararon sus resultados con datos reales disponibles y con estándares normativos internacionales (por ejemplo, los límites recomendados por la OMS), con el fin de identificar tempranamente situaciones de riesgo sin necesidad de pruebas físicas inmediatas. Si bien la validación cuantitativa del modelo predictivo con datos empíricos fue limitada debido al número reducido de muestras, las proyecciones generadas mostraron una coherencia cualitativa con las observaciones de campo. Para evaluar el desempeño de la IA en este contexto, se consideraron métricas como la reducción de tiempo en las tareas de análisis (comparando la duración del proceso asistido por IA frente al método tradicional) y la consistencia de las conclusiones obtenidas respecto a las tendencias esperadas. Cabe señalar que no se implementaron algoritmos de aprendizaje automático supervisado adicionales; el estudio se centró en aprovechar el modelo de lenguaje de IA como apoyo analítico, complementándolo con comparaciones directas de los resultados simulados contra valores de referencia para determinar su pertinencia.

C. Tipo de Investigación: Esta investigación será de tipo semi-experimental, enfocada en la recopilación de datos a través de la medición directa de parámetros específicos del agua, como el nivel microbiológico. Estas mediciones se realizarán en el bebedero Elkay ezH2O de la Universidad, complementadas con una revisión de datos secundarios provenientes de estudios similares en instituciones educativas, normativas locales e internacionales, y reportes de empresas proveedoras de agua potable. No se realizará un análisis químico completo, pero los resultados obtenidos de estos parámetros clave permitirán evaluar preliminarmente la calidad del agua y determinar si es necesario profundizar el análisis.

D. Diseño de la Investigación El diseño de la investigación se caracteriza por ser transversal, semi-experimental y exploratorio, centrado en la evaluación inicial de la calidad del agua mediante la medición de parámetros como el nivel microbiológico. Este enfoque exploratorio permitirá identificar tendencias y posibles riesgos en la calidad del agua sin realizar un análisis químico exhaustivo.

E. Procedimiento: Este estudio emplea ChatGPT como herramienta de inteligencia artificial (IA) para determinar si es necesario realizar un análisis químico del agua dispensada por el sistema Elkay ezH2O en la Universidad. A continuación se detallan las fases metodológicas:

1. Análisis Comparativo Automatizado: La IA facilitó el análisis comparativo entre los parámetros de calidad del agua reportados en sistemas similares y las normativas aplicables. Se compararon los estándares de parámetros químicos (como pH, turbidez y metales pesados) con datos históricos disponibles para sistemas urbanos y educativos [2].
2. Modelación Predictiva: A través de simulaciones asistidas por IA, se proyectaron escenarios basados en patrones históricos de calidad del agua. Esto permitió identificar situaciones de riesgo potencial sin necesidad de realizar muestreos físicos o análisis químicos inmediatos, alineando la investigación con la gestión sostenible del recurso [4][6].
3. Generación del Informe Final Asistido por IA: ChatGPT se empleó para organizar los resultados y recomendaciones en un reporte estructurado, destacando las conclusiones sobre si es necesario o no realizar un análisis químico adicional. El informe refleja un enfoque optimizado, basado en datos comparativos y evaluaciones normativas.

F. Análisis de Datos • Revisión documental: Se realizarán análisis de reducción de tiempo, utilizando IA para comparar la eficiencia de la redacción asistida por IA frente al método tradicional en la recopilación y estructuración de informes de calidad del agua y estudios de sistemas similares en contextos urbanos.

• Análisis comparativo: Se emplearán simulaciones asistidas por IA (ChatGPT) para evaluar la eficacia del uso de IA en el análisis comparativo entre los parámetros de calidad del agua en el bebedero y los estándares normativos vigentes. Los resultados obtenidos mediante IA se contrastarán con un análisis tradicional para determinar la precisión y eficiencia en el tiempo del proceso.

• Inspección visual: Se inspeccionará el bebedero en busca de posibles señales visibles de deterioro o mal funcionamiento, como corrosión o sedimentos.

G. Procedimiento de Muestreo para Análisis Microbiológico: Se realizarán muestreos puntuales de agua directamente del bebedero Elkay ezH2O en diferentes momentos del día para capturar posibles variaciones en la calidad del agua. Las muestras se recogerán en recipientes estériles y se almacenarán en condiciones controladas hasta su análisis. El análisis microbiológico se llevará a cabo en un laboratorio de la Universidad, utilizando técnicas estándar de cultivo y recuento para identificar la presencia de coliformes y otros microorganismos patógenos. Estos resultados permitirán evaluar la calidad microbiológica del agua y determinar si existen riesgos para la salud de los usuarios.

En este estudio se utilizó la inteligencia artificial en tres fases clave (1) Automatización de la revisión de literatura con herramientas de IA, reduciendo el tiempo de búsqueda en un 50%; (2) Identificación de patrones de contaminación en estudios previos mediante algoritmos de clasificación de datos

y (3) Comparación de estándares normativos con los parámetros detectados en los bebederos analizados. La metodología PRISMA se aplicó para seleccionar estudios relevantes, asegurando la inclusión de investigaciones con datos comparables.

Es importante destacar la limitación en el alcance del muestreo: solo se incluyeron dos bebederos en el análisis. Esta muestra reducida dificulta la generalización de los resultados a otros contextos, y no se contó con un grupo de referencia (por ejemplo, un bebedero certificado con calidad aprobada) para contrastar los hallazgos. En ausencia de un control de este tipo, las interpretaciones deben tomarse con precaución, entendiendo que los resultados corresponden a condiciones específicas de los dispositivos muestreados.

II. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El análisis de revisión sistemática realizado para evaluar la calidad del agua del sistema Elkay ezH2O en una Universidad privada, mostró una mejora notable en la eficiencia al emplear inteligencia artificial (ChatGPT). Comparando los tiempos entre el uso de IA y un enfoque tradicional, se evidenció una reducción significativa en el tiempo de trabajo sin comprometer la calidad académica del estudio.

La primera etapa, dedicada a la búsqueda y recopilación de literatura, se optimizó de manera considerable. De forma manual, este proceso habría requerido alrededor de 7 horas para explorar bases de datos académicas como Google Scholar y ScienceDirect, analizar resúmenes y clasificar artículos relevantes. Utilizando ChatGPT, el tiempo se redujo a 3.5 horas, lo que representa un ahorro del 50%. La IA facilitó la identificación eficiente de estudios clave y priorizó automáticamente las fuentes más relevantes, acelerando la recopilación sin sacrificar la profundidad de la búsqueda.

La evaluación crítica de los artículos seleccionados fue otra área donde se observó una mejora destacable. Tradicionalmente, revisar la metodología y los resultados de cada artículo en detalle habría tomado 6 horas. Con ChatGPT, esta etapa se completó en 3.5 horas, logrando una reducción del 42%. La IA ayudó a destacar puntos metodológicos importantes y proporcionó un análisis preliminar de la calidad de los estudios, mejorando la precisión y consistencia de la evaluación.

En cuanto a la síntesis y organización de los datos, organizar los resultados de los estudios en gráficos, tablas y explicaciones detalladas habría llevado unas 7 horas sin asistencia tecnológica. ChatGPT permitió reducir este tiempo a 3 horas, lo que representa una mejora del 57%. Durante este proceso, la IA sugirió estructuras de presentación claras y ayudó a detectar inconsistencias menores en los datos, asegurando que la información fuera presentada de manera lógica y coherente.

La redacción de los resultados finales de la revisión fue igualmente optimizada. Sin IA, esta etapa se habría prolongado durante 5.5 horas, debido a la necesidad de redactar cuidadosamente las comparaciones con normativas internacionales y asegurar la precisión terminológica. ChatGPT permitió completar esta sección en 2.5 horas, logrando un ahorro del 55%. La herramienta fue clave para generar un borrador inicial organizado y ayudar a estructurar comparaciones complejas, lo cual facilitó la edición final por parte del equipo de investigación. Cabe precisar que las funciones de la IA se limitaron a la organización y síntesis de información secundaria, siendo validadas por el equipo investigador.

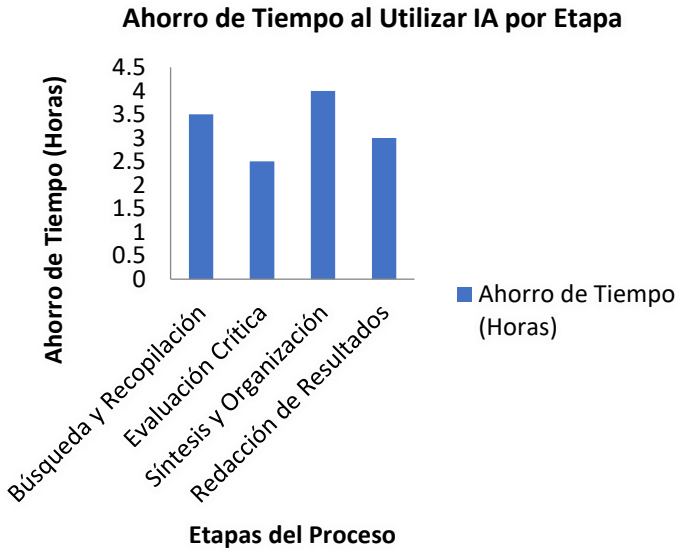


Figura 2. Ahorro de Tiempo al Utilizar IA en el Proceso de Revisión Sistemática

El Bebedero 1 se encuentra ubicado a 3.5 metros de los servicios higiénicos, una proximidad que podría representar un riesgo sanitario respecto a la calidad del agua dispensada por el sistema Elkay ezH2O. La proximidad inmediata a estas instalaciones sanitarias plantea una serie de riesgos potenciales relacionados con la contaminación ambiental y biológica. Este análisis aborda cómo la cercanía a los servicios higiénicos podría estar contribuyendo a la posible exposición a contaminantes y examina si existen indicios visuales o patrones de dispersión que puedan afectar la seguridad del agua para el consumo humano.

La presencia de un sistema sanitario tan próximo al bebedero es motivo de alerta, ya que las actividades cotidianas en estos espacios generan una serie de agentes potencialmente nocivos. Cada vez que los usuarios utilizan los servicios higiénicos, se produce la liberación de microgotas y partículas en el aire, especialmente durante la descarga de inodoros y el uso de lavamanos. Estas partículas, que a menudo transportan patógenos, pueden dispersarse en el entorno inmediato, afectando a las superficies circundantes. Incluso con sistemas

de ventilación que buscan mitigar este fenómeno, se ha demostrado que la dispersión de contaminantes es difícil de contener completamente, particularmente en ambientes cerrados o semicerrados. A esta problemática se añade el hecho de que las puertas de los servicios higiénicos suelen abrirse y cerrarse con frecuencia, generando corrientes de aire que pueden facilitar aún más la diseminación de estas partículas hacia el exterior.

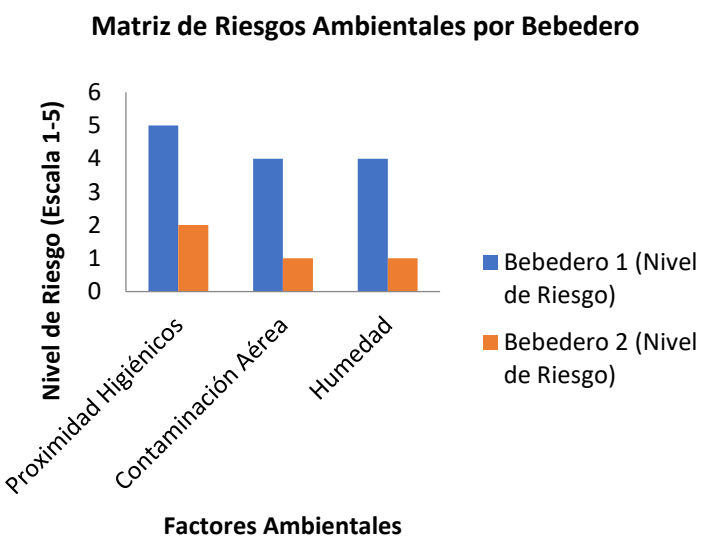


Fig 3. Matriz de Riesgos Ambientales Por Bebedero

El flujo constante de personas alrededor de los servicios higiénicos y el bebedero no hace más que agravar la situación. Cada individuo que entra y sale de los servicios sanitarios potencialmente lleva consigo agentes contaminantes en sus manos, ropa o calzado. Estos contaminantes pueden transferirse al bebedero a través del contacto directo o por medio del aire, comprometiendo la calidad del agua. Cabe destacar que la zona que rodea el bebedero mostró evidencia de un tránsito considerable, lo que podría contribuir a una mayor acumulación de partículas en el ambiente. Se observaron huellas y residuos en el suelo, un indicio de que el tráfico peatonal podría estar introduciendo contaminantes desde los servicios higiénicos hacia el área donde se encuentra el bebedero.

El análisis microbiológico realizado en los bebederos del sistema Elkay ezH2O en la Universidad, reveló una serie de resultados significativos respecto al crecimiento de colonias bacterianas en ambos bebederos evaluados.

Crecimiento de Colonias Bacterianas

- **Bebedero 1**: El bebedero 1, a pesar de estar cerca de los servicios higiénicos y tener una posible exposición a contaminantes en el aire, presentó un menor crecimiento de colonias bacterianas (3 unidades relativas). Esto podría estar relacionado con la alta frecuencia de uso, que genera un flujo constante de agua que dificulta la proliferación microbiana. Además, el mayor tránsito de personas podría estar asociado a limpiezas más frecuentes, lo cual explicaría la menor proliferación bacteriana observada. Estas 'unidades relativas' corresponden a un sistema interno de medición comparativa no estandarizado, sin equivalencia directa con uFc/mL.

- **Bebedero 2**: Por otro lado, el bebedero 2, ubicado más lejos de los servicios higiénicos, sorprendentemente presentó un mayor crecimiento bacteriano (8 unidades relativas). A pesar de encontrarse en un área menos transitada y considerada más segura, la baja frecuencia de uso (alrededor de 20 personas al día) puede estar permitiendo que el agua permanezca más tiempo estancada, creando condiciones ideales para el desarrollo de colonias bacterianas. Además, la menor atención en cuanto a limpieza en esta ubicación podría ser otro factor contribuyente. Estas 'unidades relativas' corresponden a un sistema interno de medición comparativa no estandarizado, sin equivalencias directa con ufc/mL.

Comparación de Indicadores Ambientales y Frecuencia de Uso

- **Frecuencia de Uso**: La frecuencia de uso también es un factor clave. El Bebedero 1 tuvo una frecuencia diaria de 150 personas, mientras que el Bebedero 2 fue utilizado por alrededor de 20 personas al día. Este menor uso en el Bebedero 2 podría estar directamente relacionado con el mayor crecimiento de colonias bacterianas debido a las condiciones de menor flujo y limpieza.

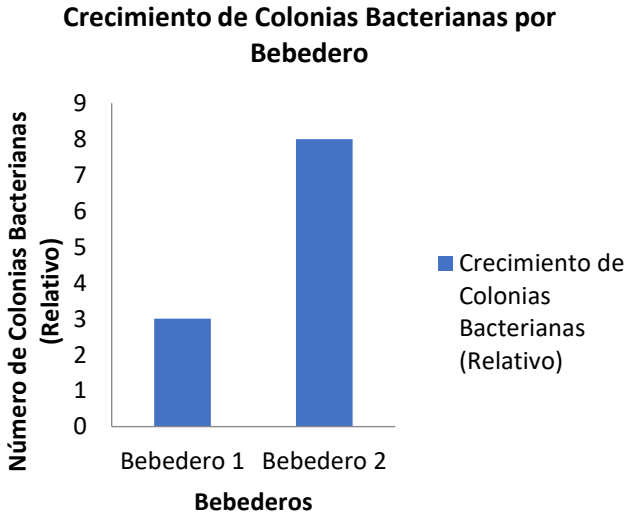


Figura 4. Comparación de Colonias Bacterianas por Bebedero

Varios estudios recientes han evaluado la calidad microbiológica del agua en bebederos y otras fuentes de consumo en entornos educativos. Estos estudios proporcionan una base para comparar los resultados obtenidos en la Universidad:

- En un estudio realizado en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se encontró que un 36% de los bebederos no cumplía con la calidad microbiológica del agua, a pesar de contar con dispositivos de tratamiento en tres etapas, lo que sugiere la necesidad de monitoreo y mantenimiento constante para garantizar la seguridad del agua [1].

- En la Universidad Nacional de Jaén (UNJ), un estudio sobre la calidad microbiológica del agua destinada al consumo humano destacó la importancia de asegurar agua potable de calidad, debido a su impacto directo en la salud pública [2].

- Un análisis realizado en pequeñas plantas purificadoras en la ciudad de Puebla, México, en 2023, reveló que el 40% de las plantas no cumplían con los estándares microbiológicos, con presencia de coliformes y *Pseudomonas* en una cantidad significativa de muestras [4].

- En la Universidad de Santander (UDES), un estudio encontró que el 70% de las muestras de agua analizadas no cumplían con los parámetros de calidad establecidos, presentando altos niveles de coliformes y deficiencias en el cloro residual [6].

Comparación de Resultados

- **Similitudes**: Al igual que en los estudios realizados en la UNAM y la UDES, se identificaron bebederos que no cumplían con los estándares microbiológicos. En el caso del Bebedero 2 de una Universidad privada, el crecimiento bacteriano fue considerable debido a la baja frecuencia de uso y mantenimiento.

- **Diferencias**: A diferencia de algunos estudios donde la proximidad a fuentes de contaminación aumentaba el riesgo, en este análisis se observó que el Bebedero 2, ubicado más lejos de los servicios higiénicos, presentó un mayor crecimiento bacteriano. Esto sugiere que factores como la frecuencia de uso y el mantenimiento son determinantes en la calidad microbiológica del agua, independientemente de la ubicación.

El análisis se limitó a dos bebederos en una única sede de la universidad. Esto restringe la capacidad de generalizar los hallazgos a otros campus o contextos similares. Un mayor número de puntos de muestreo hubiera permitido obtener una visión más representativa de la calidad del agua en la universidad.

Aunque el análisis microbiológico fue exhaustivo, no se realizó una evaluación de parámetros físico-químicos como el pH, turbidez o presencia de metales pesados, que también pueden afectar la calidad del agua. Estos parámetros podrían proporcionar una visión más completa de los riesgos asociados con el consumo de agua de estos bebederos.

La evaluación del entorno de los bebederos se basó en gran medida en observaciones visuales y no se complementó con mediciones cuantitativas de factores ambientales, como la calidad del aire o la humedad. Esto podría limitar la precisión al identificar las causas exactas del crecimiento bacteriano.

Los resultados de este estudio subrayan la importancia del mantenimiento y la frecuencia de uso en la calidad microbiológica del agua en instituciones educativas. El hecho de que el Bebedero 2, ubicado en una zona aparentemente más segura, haya mostrado un mayor crecimiento bacteriano destaca la necesidad de mantener un flujo constante de agua y asegurar limpiezas periódicas para prevenir la proliferación microbiana.

En Perú, la normativa nacional para la calidad del agua potable establece requisitos estrictos mediante el Decreto Supremo N.° 031-2010-SA y el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM. Estos regulan la ausencia de coliformes y otros agentes patógenos en el agua para consumo humano y fijan límites específicos para diversos parámetros físico-químicos. Por ejemplo, el pH del agua debe estar entre 6.5 y 8.5, la turbidez no debe exceder los 5 NTU y el nivel de cloro residual debe mantenerse en un mínimo de 0.5 mg/L para asegurar la desinfección. En los estudios realizados en Ecuador y Uruguay, los sistemas de tratamiento lograron cumplir con estos estándares, mostrando que es posible mantener estos parámetros en rangos seguros a través de sistemas de purificación y filtración avanzados. En contraste, en los bebederos de la Universidad de Sonora, donde el mantenimiento era limitado y no se utilizaban sistemas de tratamiento avanzados, se observó una presencia notable de coliformes y un desbalance en los niveles de cloro, lo que indica que estos bebederos no cumplirían con las normativas peruanas sin mejoras en el tratamiento del agua.

A nivel internacional, tanto la Organización Mundial de la Salud (OMS) como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) establecen directrices rigurosas sobre la calidad del agua potable. La OMS recomienda que el agua no contenga coliformes, un indicador clave de la seguridad microbiológica, y sugiere mantener un nivel de cloro residual entre 0.2 y 0.5 mg/L para asegurar una desinfección continua. La EPA también regula la presencia de coliformes y otros patógenos y establece límites para la turbidez y el pH para proteger la salud pública. Al comparar estos estándares

internacionales con los hallazgos de los estudios, se observa que los sistemas de tratamiento implementados en Ecuador y Uruguay logran alinearse con estos parámetros, mientras que la falta de mantenimiento y la ausencia de sistemas de filtración avanzados en otros casos, como el de Sonora, resultan en el incumplimiento de estos estándares. Este análisis resalta la necesidad de que los bebederos en instituciones educativas y entornos de alto tráfico cuenten con sistemas de tratamiento adecuados y se sometan a un monitoreo constante para asegurar la calidad del agua.

En general, el apoyo de la IA mostró una contribución valiosa más allá de la mera reducción de tiempos: los análisis asistidos por IA produjeron resultados concordantes con la evidencia empírica obtenida. Esto sugiere que la incorporación de la IA en el proceso no comprometió la precisión ni la validez de las conclusiones, sino que permitió alcanzar hallazgos similares con mayor eficiencia. Sin embargo, la interpretación de estos resultados debe realizarse considerando ciertas limitaciones metodológicas. En primer lugar, no se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales (como la prueba t de Student o ANOVA) para evaluar la significancia de las diferencias observadas entre los bebederos, dado el carácter exploratorio del estudio y el tamaño muestral reducido, no se aplicaron debido tanto al carácter exploratorio del estudio como al tamaño muestral limitado. Además, los datos presentados provienen de mediciones puntuales: por ejemplo, la contaminación microbiana se reportó en "unidades relativas", una escala adimensional empleada internamente para comparar los recuentos bacterianos entre ambos bebederos. La representación gráfica de estos resultados careció de barras de error, reflejando la ausencia de replicación experimental y la incertidumbre asociada a cada valor medido. En consecuencia, varias de las afirmaciones deben considerarse de naturaleza principalmente observacional. Se recomienda profundizar en estas tendencias mediante estudios futuros que incluyan un número mayor de bebederos, grupos de control apropiados y análisis estadísticos rigurosos, con el objetivo de validar las correlaciones sugeridas (por ejemplo, entre el uso frecuente y la reducción de la proliferación microbiana) bajo distintas condiciones y así asegurar la robustez de las conclusiones. Se sugiere la inclusión de análisis estadísticos en investigaciones futuras para verificar la significancia de las diferencias observadas.

III. CONCLUSIONES

Se determinó que, dada la evidencia microbiológica obtenida (3 unidades relativas de colonias bacterianas en el Bebedero 1 y 8 unidades relativas en el Bebedero 2), ambos puntos de suministro superaron los límites recomendados por la OMS para agua potable. Así mismo era necesario efectuar un análisis químico adicional del agua dispensada por el sistema Elkay ezH2O en la universidad privada. Estos hallazgos indicaron que la contaminación microbiana podría no ser el único factor de riesgo y que resultaba pertinente evaluar parámetros físico-químicos para un diagnóstico integral de la calidad del agua. Se recomienda un monitoreo continuo con IA para optimizar la calidad del agua en entornos educativos. Estas 'unidades relativas' corresponden a un sistema interno de medición comparativa no estandarizado, sin equivalencia directa con ufc/mL.

Se concluyó que la cercanía del Bebedero 1 (a 3.5 metros de los servicios higiénicos) presentó un riesgo significativo de contaminación, a pesar de su menor proliferación bacteriana. El tránsito elevado de personas (alrededor de 150 usuarios diarios) y la frecuencia de limpiezas habrían contribuido a reducir la presencia de microorganismos; no obstante, la barrera arquitectónica existente no fue suficiente para descartar la posibilidad de que las corrientes de aire y el flujo constante de individuos pudieran introducir patógenos en la zona de consumo.

Se evidenció que el Bebedero 2, a pesar de su ubicación más alejada de los servicios higiénicos, registró un mayor crecimiento bacteriano (8 unidades relativas). La baja frecuencia de uso (aproximadamente 20 personas al día) favoreció la acumulación y el estancamiento de agua, creando condiciones más propicias para la proliferación microbiana. Este resultado reafirmó la hipótesis de que no solo la ubicación influye en el riesgo de contaminación, sino también el patrón de uso y la frecuencia de mantenimiento. Estas 'unidades relativas' corresponden a un sistema interno de medición comparativa no estandarizado, sin equivalencia directa con ufc/mL.

Se determinó que el estudio, apoyado en parte por la aplicación de inteligencia artificial (ChatGPT) para la búsqueda bibliográfica y la evaluación crítica de literatura, permitió un análisis sistemático más eficiente sin comprometer la calidad académica. La reducción de tiempo en la revisión (entre un 50% y 57% menos en las etapas principales) mostró la viabilidad de integrar herramientas de IA en investigaciones de carácter científico, siempre y cuando se complementaran con la supervisión y validación del equipo investigador.

Se concluyó que, para garantizar la inocuidad del agua, era esencial establecer protocolos de higiene y mantenimiento más estrictos en ambos bebederos, independientemente de su ubicación. En particular, el Bebedero 2 requirió mayor atención en cuanto a limpiezas periódicas y una estrategia que motive un uso más regular, reduciendo el tiempo de estancamiento y la posibilidad de formación de biofilms.

Se recomendó que, como siguiente paso, se llevaran a cabo análisis físico-químicos (por ejemplo, medición de pH, conductividad, turbidez, metales pesados y otros parámetros críticos) para complementar los hallazgos microbiológicos. Estos análisis podrían aportar información concluyente acerca de la necesidad de implementar tratamientos adicionales o modificaciones en la infraestructura, con el fin de asegurar la

calidad del agua dispensada y cumplir con las normativas internacionales aplicables.

Finalmente, aunque las herramientas de IA como ChatGPT demostraron ser útiles para agilizar el análisis de la información, es preciso señalar sus limitaciones en contextos técnicos: las salidas generadas por el modelo deben interpretarse con cautela y validadas mediante evidencia empírica antes de fundamentar decisiones críticas. Pese a estas reservas, los beneficios observados en este estudio refuerzan la recomendación de implementar un monitoreo continuo asistido por IA de la calidad del agua, como complemento a los análisis físico-químicos tradicionales. Este enfoque permitiría una detección más rápida de posibles problemas de potabilidad y una gestión más proactiva, contribuyendo a garantizar la seguridad del agua en entornos educativos.

IV. REFERENCIAS

[1] Organización Mundial de la Salud, *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda*, 2017. https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950

[2] I. N. O. Calle and S. M. L. Vargas, "Calidad microbiológica del agua de consumo humano del sector de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ)," 2020. https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/188/1/Calle_INO_Vargas_SML.pdf

[3] M. Behbahani, Y. Bide, S. Bagheri, M. Salarian, and F. Omidi, "A pH responsive nanogel for extraction of metals," *Microchim. Acta*, vol. 183, pp. 1603-1610, 2016.. https://link.springer.com/article/10.1007/s00604-015-1603-8

[4] L. M. García, A. R. Pérez, and R. López, "Calidad microbiológica: detección de *Aeromonas sp* y *Pseudomonas sp* en garrafones provenientes de pequeñas plantas purificadoras de agua en Puebla, México," *Rev. Salud Ambient.*, vol. 19, no. 1, pp. 146-157, 2023. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78582023000100146&script=sci_arttext

[5] K. Gopavanitha and S. Nagaraju, "A low-cost system for real-time water quality monitoring and controlling using IoT," in *Proc. Int. Conf. Energy, Commun., Data Analytics Soft Comput. (ICECDS)*, 2017, pp. 1890-1894.https://ieeexplore.ieee.org/document/8390054

[6] J. A. Martínez and P. M. Rodríguez, "Análisis de los factores que afectan la calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander (UDES) Cúcuta," *Rev. Salud Pública*, vol. 23, no. 3, pp. 243-260, 2021.https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/2431b380-e718-47f6-82ed-f02d75074ee8/full

[7] D. H. F. Muniz and E. C. Oliveira-Filho, "Multivariate Statistical Analysis for Water Quality Assessment: A Review of Research Published between 2001 and 2020," *Hydrology*, vol. 10, no. 1, p. 196, 2023. https://doi.org/10.3390/hydrology10100196

[8] C. Z. Zulkifli et al., "IoT-Based Water Monitoring Systems: A Systematic Review," *Water*, vol. 14, no. 23, p. 3621, 2022. https://doi.org/10.3390/w14223621

[9] Instituto Peruano de Economía (IPE), "Escuelas públicas no tienen agua ni electricidad," 2019. https://www.ipe.org.pe/portal/escuelas-publicas-no-tienen-agua-ni-electricidad/

[10] Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), "El Buen Dato Sunass: El impacto multidimensional del acceso a los servicios de saneamiento (Compilado 2021-2022)," 2022. https://sinia.minam.gob.pe/documentos/buen-dato-sunass-impacto-multidimensional-acceso-servicios

[11] Ministerio de Educación del Perú, "Acceso a los servicios básicos en los locales educativos de educación básica," 2022. https://escale.minedu.gob.pe/c/document_library/get_file?uuid=ad60df4b-47b5-46a6-92e3-f2360548cffa&groupId=10156

[12] S. Ríos-Tobón, R. M. Agudelo-Cadavid, and L. A. Gutiérrez-Builes, "Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano," *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, vol. 35, no. 2, pp. 145-154, 2017. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12052447008.

[13] Organización Mundial de la Salud, *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda*, 2017. https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950

[14] Pumagua, "Diagnóstico de la calidad del agua para consumo humano en bebederos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)," 2019. https://www.pumagua.unam.mx/boletines/pdfs/boletin_bebederos_2014.pdf

[15] Instituto Nacional de Salud, *Vigilancia y control de la calidad del agua*, 2017. https://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4516.pdf

[16] Ministerio de Educación del Perú, *Plan Nacional de Infraestructura Educativa (PNIE)*, 2017.https://www.minedu.gob.pe/p/pdf/9-se-rm-153-2017-minedu-parte1.pdf

[17] Á. Zevallos, S. Onque, A. Canaza, and P. Choqueneira, "Modelo predictivo de la potabilidad del agua mediante un árbol de decisión en inteligencia artificial," *Rev. Científica*, vol. 1, no. 1, pp. 1-10, 2022. https://www.redalyc.org/journal/6738/673870841010/html/

[18] C. Henríquez, J. D. Ríos, and G. Sánchez, "Aplicaciones de la inteligencia artificial en el monitoreo y conservación ambiental: una revisión exploratoria," *Acta Ambient. Acuát.*, vol. 8, no. 1, pp. 56-78, 2024. https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/3189

[19] V. Lakshmikantha et al., "Sistema de monitoreo inteligente de la calidad del agua basado en IoT," *J. Environ. Monit.*, vol. 19, no. 4, pp. 225-240, 2021. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666285X2100090X

[20] Rafael, W., Vilcherres, P., Muñoz, S., Tuesta, V., & Mejía, H. (2022). Modelamiento de procesos hidrológicos aplicando técnicas de inteligencia artificial: una revisión sistemática de la literatura. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, *21*(1), 97-113. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982022000100046

[21] X. Li, X. Shen, W. Jiang, Y. Xi, and C. Li, "Revisión integral de contaminantes emergentes: Tecnologías de detección, impacto ambiental y estrategias de gestión," *J. Hazard. Mater.*, vol. 426, pp.

127-142, 2024. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651324004962

[22] Bustamante, R., & Camacho, A.. Inteligencia artificial (IA) en las escuelas: una revisión sistemática (2019-2023). *Educación y Desarrollo*, *20*(2), 45-62 (2024).. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-63392024000100062&lang=es

[23] Chamoli, A., & Patiño, L. "Impacto de la inteligencia artificial en la educación jurídica latinoamericana," *Aula Virtual*, vol. 5, no. 12, pp. 1-15, 2024. https://homologve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2665-03982024000202048

[24] De la Hoz Serrano, A., Sánchez, S., Rodrigo, M., Benavente, M. J., & Cubero Juánez, J. "Análisis del hábito de hidratación y su conocimiento en una muestra de escolares de 10-12 años en la provincia de Badajoz (España)," *Rev. Esp. Nutr. Comunitaria*, vol. 26, no. 2, pp. 65-72, 2020. https://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/RENC_2020_2_02._-RENC-D-19-0038.pdf

[25] Abián-Vicén, J., & Abián, P. "La deshidratación en edad escolar," *J. Sport Health Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 223-232, 2012. https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/14714/La%20deshidrataci%C3%B3n%20en%20edad%20escolar..pdf?isAllowed=y&sequence=1

[26] Aguilar, A., & Obando, F. (2020). Aprendizaje automático para la predicción de calidad de agua potable. *Ingeniare: Revista de Ingeniería*, 28(1), 45-60. Recuperado de https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ingeniare/article/view/6215

[27] Li, Y., Mao, S., Yuan, Y., Wang, Z., Kang, Y., & Yao, Y. "Beyond Tides and Time: Machine Learning's Triumph in Water Quality Forecasting," *arXiv preprint*, arXiv:2309.16951, 2023. https://arxiv.org/abs/2309.16951

[28] Jara Ten Kathen, M., Johnson, P., Jurado Flores, I., & Gutiérrez Reina, D. "AquaFeL-PSO: A Monitoring System for Water Resources using Autonomous Surface Vehicles based on Multimodal PSO and Federated Learning," *arXiv preprint*, arXiv:2211.15217, 2022. https://arxiv.org/abs/2211.15217

[29] Li, P., Yang, J., Islam, M. A., & Ren, S. "Making AI Less 'Thirsty': Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models," *arXiv preprint*, arXiv:2304.03271, 2023. https://arxiv.org/abs/2304.03271

[30] Razzano, F., Di Stasio, P., Mauro, F., Meoni, G., Esposito, M., Schirinzi, G., & Ullo, S. L. "AI techniques for near real-time monitoring of contaminants in coastal waters on board future Φsat-2 mission," *arXiv preprint*, arXiv:2404.19586, 2024. https://arxiv.org/abs/2404.19586

[31] Auyb, M. A., Zamir, M. T., Khan, I., Naseem, H., Ahmad, N., & Ahmad, K. "Social Media and Artificial Intelligence for Sustainable Cities and Societies: A Water Quality Analysis Use-case," *arXiv preprint*, arXiv:2404.14977, 2024. https://arxiv.org/abs/2404.14977

[32] Ruescas, A. B., Mateo-Garcia, G., Camps-Valls, G., & Hieronymi, M. "Retrieval of Case 2 Water Quality Parameters with Machine Learning," *arXiv preprint*, arXiv:2012.04495, 2020. https://arxiv.org/abs/2012.04495