

Técnicas portátiles para monitoreo de agua aplicadas a un entorno universitario en Panamá

Portable water monitoring techniques applied to a university environment in Panama

Kathleen J. Castillo-Martínez¹, Valerie Ramos-Esquivel¹, Natasha A. Gómez-Zanetti², Yazmin L. Mack-Vergara^{1,2,3,*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

²Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Experimental de Ingeniería, Grupo de Investigación Sustainable Construction UTP, Panamá

³Sistema Nacional de Investigación (SNI), SENACYT, Panamá

*Autor de correspondencia: yazmin.mack@utp.ac.pa

Fecha de recepción: 9 de octubre de 2025. Fecha de aceptación: 1 de marzo de 2026.

Resumen. El agua, como recurso principal en los diversos procesos naturales se ve amenazado, constantemente, por contaminantes en todo el sistema de distribución de agua potable. Por ello, Panamá ha adoptado el reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-2019 que establece los límites máximos permisibles de parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua, para garantizar el bienestar de quien lo consume. El presente estudio se enfoca en evaluar la presencia de contaminantes en el agua en cinco dispensadores utilizados, especialmente por estudiantes, en las diferentes cafeterías del Campus Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá mediante técnicas analíticas portátiles que utilizan métodos estandarizados, permitiendo generar una línea base para futuras acciones de monitoreo y gestión sanitaria en entornos educativos. Las técnicas analíticas portátiles brindan no solo confiabilidad, sino que además son fáciles de transportar y cumplen la función de versatilidad ya que pueden ser utilizadas en entornos controlados como lo son los laboratorios físicos o dentro de un laboratorio móvil como lo es la Unidad Técnica de Calidad Hídrica. Los parámetros se determinaron mediante los métodos de espectrofotometría, nefelometría, titulación, filtración por membrana y a través de sondas multiparamétricas. Los análisis de las muestras arrojaron resultados de cuatro indicadores que se encuentran fuera del rango establecido por el Reglamento Técnico. Los parámetros de turbiedad ($> 1 \text{ UNT}$) y color ($> 15 \text{ Pt/Co}$) están relacionados con la presencia de materia orgánica en las fuentes de agua, lo que se recalca la importancia de la gestión adecuada para garantizar la calidad del agua y el potencial del uso de técnicas analíticas para generar una respuesta rápida y obtención de datos in situ.

Palabras clave. Agua potable, características biológicas, características fisicoquímicas, técnicas portátiles, universidad.

Abstract. Water, as the main resource in various natural processes, is constantly threatened by contaminants throughout the drinking water distribution system. Therefore, Panama has adopted the Technical Regulation DGNTI-COPANIT 21-2019, which establishes the maximum permissible limits for physical, chemical, and biological parameters in water to ensure the well-being of its consumers. The present study focuses on evaluating the presence of contaminants in water from five dispensers used, especially by students, in the different cafeterias of the Víctor Levi Sasso Campus of the Technological University of Panama through portable analytical techniques that use standardized methods, allowing the generation of a baseline for future monitoring actions and sanitary management in educational environments. Portable analytical techniques provide not only reliability but are also easy to transport and fulfill the function of versatility since they can be used in controlled environments such as physical laboratories or within a mobile laboratory such as Technical Water Quality Unit. The parameters were determined using spectrophotometry, nephelometry, titration, membrane filtration, and multiparameter probes. The analysis of the samples yielded results for four indicators that are outside the range established by the Technical Regulation. The turbidity ($> 1 \text{ NTU}$) and color ($> 15 \text{ Pt/Co}$) parameters are related to the presence of organic matter in water sources, which emphasizes the importance of proper management to ensure water quality and the potential of using analytical techniques to provide a rapid response and obtain in situ data.

Keywords. Drinking water, biological characteristics, physicochemical characteristics, portable techniques, university.

1. Introducción

El agua es el recurso más utilizado en el mundo y resulta fundamental para los seres humanos desde la satisfacción de las necesidades básicas hasta el desarrollo de actividades económicas del crecimiento regional. Su acceso sigue siendo un desafío global, de allí nace la necesidad de evaluaciones frecuentes y confiables sobre su calidad [1]. Afortunadamente, debido a su ubicación geográfica, Panamá es un país con gran disponibilidad del recurso hídrico. Por ejemplo, cuenta con un aporte promedio de 2928 mm de lluvia al año [2]. Pero es necesario evaluar su calidad.

El 80% de las cuencas de Panamá tiene una calidad de agua considerada como aceptable o poco contaminada; sin embargo, la calidad del agua puede verse afectada por compuestos químicos, contaminantes de origen biológico [3], [4] además de algunas características físicas que condicionan la aceptabilidad de los consumidores. Existen ocasiones en donde estos contaminantes pueden darse por un proceso poco eficiente de los sistemas de tratamiento, por defecto en las redes de tuberías o incluso en los sistemas de almacenamiento. Este deterioro se refleja en mayor turbidez y conteo de partículas, mayor número de células, mayor presencia de microorganismos indicadores seleccionados en los grifos en comparación con las plantas de tratamiento [5].

Es por ello, que dichos parámetros son regidos bajo el «Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-2019» [6] la cual tiene como objetivo establecer los requisitos físicos, químicos y biológicos para considerarse el agua como potable. Además, internacionalmente se cuenta con la «Guía para la calidad del agua potable» establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [7] que es el resultado de varias modificaciones producto de las investigaciones y el avance científico a lo largo del tiempo.

El agua potable con valores fuera del rango establecido no solo afecta a la población, sino que también deteriora los sistemas de abastecimiento. Por ejemplo, valores de pH menores a 6.5 aumentan la corrosión de las tuberías mientras que los valores mayores a 8 no son adecuados para una desinfección eficaz por lo que la OMS recomienda un rango de 6.5-8 para valores de pH [7] [8]. Se cuenta con otras normas para evaluar la calidad de agua para distintos usos y para su descarga [9] [10] [11].

Todos estos parámetros pueden ser medidos con equipos en laboratorio; sin embargo, hay casos donde la lejanía de los sitios de muestreo imposibilita la preservación adecuada y el tiempo establecido de medición de cada parámetro.

No se encontraron evidencias de registros públicos de evaluaciones previas sobre la calidad de agua que consume la comunidad educativa dentro de las diferentes cafeterías existentes en el Campus Víctor Levi Sasso (VLS), incluso no se cuenta con evaluaciones previas de la calidad de agua en general de todo el campus por lo que este tipo de estudios proporcionan una línea base para realizar las modificaciones o adecuaciones con el fin de mejorar el suministro en caso de que existan deficiencias en su calidad; en este caso por medio de técnicas portátiles para demostrar su aplicación.

En este contexto, el objetivo de este estudio es evaluar la calidad de agua en los sistemas dispensadores de agua ubicados en las cafeterías del Edificio 1, Edificio 3 y la Cafetería Central de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) en el Campus VLS a través de técnicas analíticas portátiles. Las muestras recolectadas permitirán realizar una evaluación de los parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, cloro residual libre, dureza, nitratos, sólidos disueltos totales, entre otros) y microbiológicos (coliformes fecales). El estudio busca resaltar la importancia del monitoreo continuo del agua consumida en entornos educativos, además de fortalecer la gestión institucional y la utilidad de las técnicas portátiles como las contenidas en la Unidad Técnica de Calidad Hídrica (UTECH) [12].

2. Materiales y métodos

2.1 Puntos de muestreo

Se realizó un recorrido por las diferentes cafeterías que se encuentran dentro del Campus VLS para determinar la cantidad de fuentes y dispensadores con las que cuenta cada cafetería y las condiciones en las que estas se encuentran. Los dispensadores de agua contienen sus respectivos filtros en funcionamiento y el flujo de agua es de manera continua por lo que no hay obstrucción aparente en la fuente que pudiera afectar la calidad del agua.

En este recorrido se contabilizaron las fuentes y dispensadores de agua potable en funcionamiento que disponen cada una de las cafeterías, encontrando que la cafetería del Edificio 1 mantiene dos dispensadores, el Edificio 3 un dispensador y la Cafetería Central mantiene un dispensador y dos fuentes de agua de las cuales una no está disponible. Para evaluar la calidad de agua potable para consumo dentro de las cafeterías se realizó un muestreo por triplicado para obtener una muestra representativa, totalizando 15 muestras recolectadas.

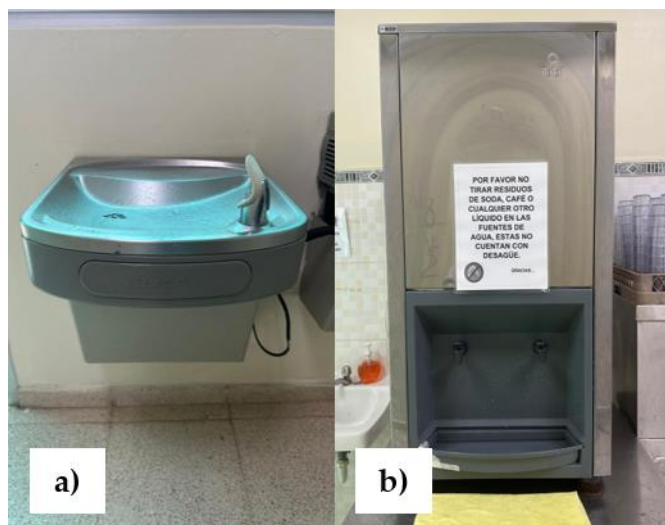


Figura 1. a) Fuente de agua. b) Dispensador de agua.

2.2 Ensayos realizados

El equipo utilizado para la recolección y el análisis de resultados pertenecen a la Unidad Técnica de Calidad Hídrica (UTECH), un laboratorio móvil para la evaluación de la calidad de agua en Panamá, que cuenta con equipos portátiles compactos para el análisis in situ de compuestos orgánicos volátiles, metales pesados, contaminación biológica y parámetros fisicoquímicos [12].

El procesamiento y análisis de los datos se realizó dentro del Laboratorio Marino Costero del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotercias (CIHH).

2.2.1 Parámetros evaluados

Los parámetros que se evaluaron dentro de este estudio fueron: cloruros, cobre, conductividad, cromo hexavalente, dureza total, hierro, nitrato, nitritos, sólidos disueltos totales y sulfato para los parámetros químicos; *Escherichia coli* y coliformes totales para parámetros biológicos; turbiedad, cloro residual libre, color, pH, temperatura para parámetros físicos.

A continuación, en la tabla 1 se muestran los valores máximos permitidos por el reglamento nacional, en este caso la DGNTI-COPANIT 21-2019 y los valores presentados en la Guía para la calidad del agua potable de la OMS con los que fueron comparados los resultados.

Tabla 1. Valores máximos permitidos

Parámetro	DGNTI-COPANIT 21-2019	OMS
Cloruros	250 mg/L	250 mg/L
Cobre	1mg/L	2 mg/L
Conductividad	850 μ S/cm	
Cromo hexavalente	-	-
Dureza total	200 mg/L	200 mg/L
Hierro	0.3 mg/L	0.3 mg/L
Nitrato	10 mg/L	50 mg/L
Nitrito	1 mg/L	0.2 mg/L
Sólidos disueltos totales	500 mg/L	600 mg/L
Sulfato	250 mg/L	250 mg/L
Coliformes fecales	0 UFC/100mL	0 UFC/100mL
Turbiedad	1 UNT	≤ 5 UNT
Cloro residual	0.3-0.8 mg/L	0.2-0.5 mg/L
Color	≤ 15 UC	≤ 15 UCV
pH	6.5-8.5	6.5-8.0
Temperatura	-	-

Fuente: [6] [7].

Las unidades de concentración son expresadas en miligramos por litro (mg/L), microsiemens por centímetros (μ S/cm), unidad formadora de colonias sobre 100 mililitros (UFC/100mL) y Platino - Cobalto (Pt-Co) para la unidad de medida de color. Esta última es la más utilizada en los equipos para determinar el parámetro de color

2.2.2 Procedimientos

Luego de solicitar autorización, se realizó la visita a las cafeterías del Campus VLS el día 4 de junio de 2025 para la toma de muestras y su posterior análisis dentro del laboratorio cumpliéndose con el orden de prioridades y los tiempos establecidos para cada parámetro.

La medición de los parámetros ambientales en cada punto de muestreo se realizó mediante una estación meteorológica portátil modelo Kestrel 5200 Professional con la capacidad de medir parámetros como temperatura, humedad, sensación térmica, presión atmosférica, entre otros.

En el caso de los parámetros de pH, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales se realizaron las mediciones por medio de una sonda multiparamétrica portátil marca Hach modelo HQ40d que proporcionan resultados fiables. Para garantizar la precisión en las lecturas, previamente se realizó una calibración de los medidores con los buffers de pH (4,7 y 10) y estándar de conductividad.

La turbiedad se analizó en laboratorio por medio de un turbidímetro marca Hach modelo 2100Q y parámetros como color, cobre, cromo hexavalente, sulfato, cloro residual, hierro, nitritos y nitratos fueron medidos por el espectrofotómetro marca Hach modelo DR1900 que tiene la capacidad de más de 220 métodos de análisis preprogramados. La medición mediante instrumentos ópticos, continua y seguirá siendo la técnica más utilizada para determinar la turbidez y los sólidos en suspensión [13].

Para determinar los cloruros y la dureza total en cada una de las muestras se utilizó el HACH DREL que se basa en un kit de laboratorio completo para análisis de agua que incluye un titulador digital, su set de reactivos e instrumental de vidrio.

Se utilizaron los equipos y reactivos principalmente de la marca Hach ya que estos están basados en los Métodos Estándar para la Examinación de Agua y Agua Residual “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” y sus métodos aprobados por la Agencia de Protección Ambiental, EPA por sus siglas en inglés [14].

El Wagtech Potatest 2 es un equipo con la capacidad de evaluar la calidad microbiológica en las muestras de agua. Este equipo utiliza el método de filtro de membrana para retener las bacterias que es posteriormente transferida al medio de cultivo. En este caso, para las placas petri se utilizó como medio de cultivo el caldo de lauril-sulfato de membrana (MLSB por sus siglas en inglés) con el fin de determinar la presencia de coliformes fecales, incubándose por 18 horas a una temperatura de 44°C en este equipo para su posterior análisis y conteo de unidades formadoras de colonias (UFC/100mL).

3. Resultados y discusión

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros físicos, químicos y biológicos identificándose los puntos de muestreo de la siguiente manera:

- E1-D1: primer dispensador en el Edificio 1.
- E1-D2: segundo dispensador en el Edificio 1.
- E3-D1: único dispensador en el Edificio 3.
- CC-F1: fuente de agua en la Cafetería Central.
- CC-D1: dispensador de agua en la Cafetería Central.

Tabla 2. Resultados de las muestras de agua

Parámetros	Unidades	E1-D1	E1-D2	E3-D1	CC-F1	CC-D1
Conductividad	μS/cm	1.81	1.81	1.80	1.82	1.82
Temperatura	°C	21.3	20.62	20.68	20.77	21.35
pH	-	6.31	6.527	6.67	6.78	6.82
Turbiedad	NTU	0.113	1.16	0.083	6.183	0.097
Color	Pt-Co	0.33	5.67	-1.0	38.67	-1.0
Cloro Residual	mg/L	0.0	0.007	0.007	0.547	0.01
Coliformes fecales	UFC/mL	0.0	2	0.0	0	0.0
Hierro	mg/L	0.01	0.023	0.013	0.053	0.01
Nitrato	mg/L	0.017	0.013	0.023	0.01	0.027
Nitrito	mg/L	0.003	0.004	0.004	0.003	0.007
Sólidos disueltos totales	mg/L	0.843	0.858	0.85	0.86	0.847
Sulfato	mg/L	4.0	4.0	3.33	3.67	4.33
Dureza total	mg/L	34.33	32.67	34.67	63.67	38.67
Cloruro	mg/L	35.0	55.0	56.25	51.67	40.0
Cobre	mg/L	0.01	0.017	0.013	0.257	0.017
Cromo hexavalente	mg/L	0.003	0.007	0.008	0.01	0.023

En general, los parámetros evaluados se encuentran dentro de los límites permisibles según las normativas, con excepción de cuatro indicadores. Si comparamos los resultados obtenidos con los valores máximos permitidos del reglamento técnico y los lineamientos de la OMS, se puede apreciar que tanto la turbidez del dispensador del Edificio 1 (E1-D1) y la fuente de la Cafetería Central (CC-F1) rebasan los límites establecidos. Estos valores guardan relación con los resultados altos del indicador de color, porque validan la presencia de materia suspendida en las muestras.

Los patrones de consumo, es decir, el tiempo de estancamiento del agua, influye en la resuspensión de los componentes fisicoquímicos en la pared de las tuberías, lo que puede afectar la turbidez [15].

La presencia de turbidez en el agua funciona como parámetro de monitoreo operativo en todo el sistema de distribución [7], porque puede intervenir en la eficiencia de la desinfección en los procesos de tratamiento de agua, debido a que los microorganismos utilizan las partículas en suspensión como medio de protección.

Por otro lado, los niveles de cloro residual en las muestras de agua no cumplen con los estándares establecidos, con excepción del CC-F1, lo que comprueba que las otras muestras de agua pasan por un sistema de filtros que remueve tanto la turbidez como el cloro, antes de ser dispensadas, en cuyo caso, es adecuado el resultado de calidad de agua para consumo.

Mediante el laboratorio de microbiología portátil, Wagtech Potatest 2, se evaluó la calidad microbiológica del agua reflejando la presencia de coliformes termotolerantes o fecales en el dispensador 2 del Edificio 1. La presencia de este indicador se puede atribuir a una posible infiltración en algún punto del sistema de distribución, por la presencia de turbiedad o al contacto directo por los usuarios.

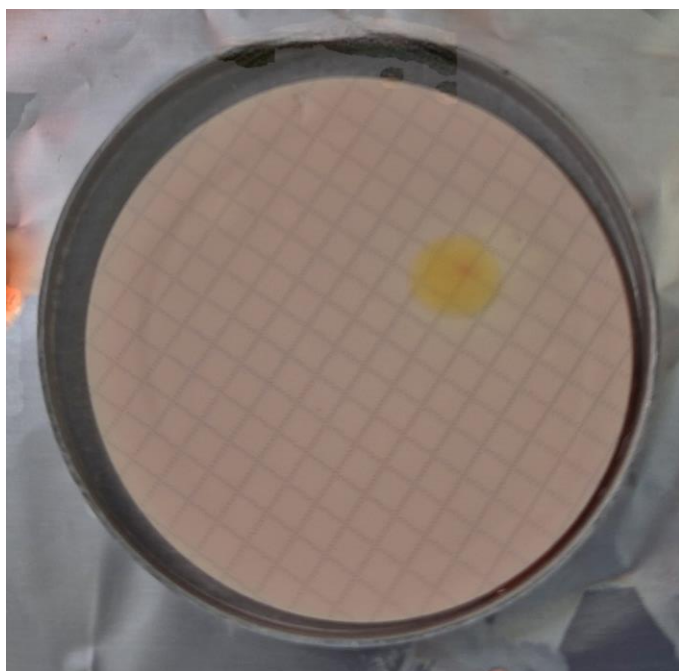


Figura 2. Presencia de Coliformes totales en la muestra E1-D2.

En cuanto a las técnicas utilizadas, la implementación de técnicas portátiles para la evaluación de la calidad del agua permite realizar un monitoreo eficiente, preciso y en menos tiempo, lo cual es fundamental para la toma de decisiones oportuna, especialmente en contextos remotos o de difícil acceso. El uso de equipos como la estación meteorológica Kestrel 5200 permite caracterizar las condiciones ambientales locales que pueden influir en los parámetros fisicoquímicos del agua, aportando un contexto valioso para la interpretación de resultados.

La sonda multiparamétrica Hach HQ40d permite la medición simultánea de parámetros esenciales como pH, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales, reduciendo tiempos de análisis y mejorando la eficiencia operativa. La calibración previa con soluciones buffer asegura la fiabilidad de los datos obtenidos. Asimismo, el análisis de parámetros como turbidez, metales y nutrientes mediante instrumentos como el turbidímetro Hach 2100Q y el espectrofotómetro DR1900, con métodos preprogramados validados por la EPA y los Standard Methods, garantiza un alto grado de precisión y comparabilidad internacional de los datos generados.

Para la evaluación microbiológica, el sistema Wagtech Potatest 2 aporta una ventaja significativa al permitir detectar coliformes fecales mediante el método de filtro de membrana, con condiciones controladas de incubación, lo cual es crucial para la vigilancia sanitaria del agua potable.

Finalmente, el uso del kit portátil Hach DREL para la determinación de dureza y cloruros mediante titulación directa aporta versatilidad y confiabilidad en la medición de estos parámetros que inciden directamente en la potabilidad y corrosividad del agua.

En conjunto, estas técnicas portátiles fortalecen la capacidad de respuesta en la gestión del recurso hídrico, promueven la descentralización del monitoreo, y fomentan una cultura de vigilancia ambiental basada en evidencia científica, incluso en zonas rurales o vulnerables.

4. Conclusiones

La aplicación de técnicas analíticas portátiles permitió realizar una evaluación integral, rápida y confiable de la calidad del agua en los dispensadores ubicados en las cafeterías del Edificio 1, Edificio 3 y la Cafetería Central de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), Campus Víctor Levi Sasso.

Los resultados obtenidos evidencian que algunos parámetros físicos y microbiológicos no cumplen con los límites establecidos en la normativa nacional, y subraya la necesidad de un monitoreo regular.

El uso de instrumentos portátiles facilitó la identificación in situ de desviaciones en parámetros clave como pH, turbidez, cloro residual libre y presencia de coliformes, destacando su valor como herramientas efectivas para la vigilancia continua en entornos educativos.

El estudio demuestra la pertinencia de fortalecer la gestión institucional en temas de calidad de agua y seguridad sanitaria, y confirma la utilidad técnica y operativa de la Unidad Técnica de Calidad Hídrica (UTECH) como una estrategia innovadora para la gestión descentralizada del recurso hídrico.

Finalmente, se reafirma la importancia de establecer protocolos de monitoreo sistemático en dispensadores de agua dentro de instituciones educativas como medida preventiva y de control.

AGRADECIMIENTOS

Al Sistema Nacional de Investigación (SNI) de Panamá por su apoyo a la investigación. A la Dra. Katia Broce por el respaldo del Laboratorio Marino Costero para la realización de los análisis. Al Mgr. Jorge Olmos por la revisión del borrador de artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

REFERENCIAS

- [1] E. Jekel Könnel, S. D. Nonno, y R. Ulber, "Low-cost and easy-to-use: A portable photometer for simple and comprehensive analysis of critical water quality parameters", *Microchemical Journal*, vol. 214, p. 113946, jul. 2025, doi: 10.1016/j.microc.2025.113946.
- [2] World Bank Group, "Promedio detallado de precipitaciones (mm anuales)," World Bank Open Data. [En línea]. Disponible en: <https://data.worldbank.org>. [Consultado: 11 de junio de 2025].
- [3] Y. Meride y B. Ayenew, "Drinking water quality assessment and its effects on residents health in Wondo genet campus, Ethiopia", *Environmental Systems Research*, vol. 5, núm. 1, 2016, doi: 10.1186/s40068-016-0053-6.
- [4] J. Fábrega *et al.*, "Calidad del Agua en las Américas - Riesgos y oportunidades". México, 2019.
- [5] G. Liu *et al.*, "Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution: A review", *Water Research*, vol. 116, pp. 135–148, jun. 2017, doi: 10.1016/j.watres.2017.03.031.
- [6] Ministerio de Comercio e Industrias, "Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-2019", Panamá, 2019.
- [7] World Health Organization, *Guidelines for drinking-water quality*, 4th ed. 2022.
- [8] S. Haydar, M. Arshad, y J. A. Aziz, "Evaluation of Drinking Water Quality in Urban Areas of Pakistan: A Case Study of Southern Lahore", vol. 5, pp. 16–23, 2009.
- [9] Dirección General de Normas y Tecnología Industrial, "Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 77-2007", Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas (COPANIT), Panamá, Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 77-2007, 2007.
- [10] Ministerio de Comercio e Industrias, "Resolución No. 58: Por la cual se aprueba el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2019: Medio Ambiente y Protección de la Salud. Seguridad. Calidad del Agua. Descarga de efluentes líquidos a cuerpos y masas de aguas continentales y marinas", Panamá, Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2019, jun. 2019.
- [11] Ministerio de Comercio e Industrias, "Resolución No. 350: Por la cual se aprueba el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000: Agua. Descarga de efluentes líquidos directamente a sistemas de recolección de aguas residuales", Panamá, DGNTI-COPANIT 39-2000, jul. 2000.
- [12] Y. Mack, J. Olmos, K. Broce, N. Gómez, y D. Henríquez, "Evaluación de la calidad del agua para consumo humano por medio de un laboratorio móvil", *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología – APANAC*, pp. 377–384, sep. 2023, doi: 10.33412/apanac.2023.3962.
- [13] T. Matos, M. S. Martins, R. Henriques, y L. M. Goncalves, "A review of methods and instruments to monitor turbidity and suspended sediment concentration", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 64, p. 105624, jul. 2024, doi: 10.1016/j.jwpe.2024.105624.
- [14] American Public Health Association, American Water Works Association, y Water Environment Federation, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24th ed. Washington DC: APHA, 2023.
- [15] S. Nduli, M. Tekere, V. Masindi, y S. Foteinis, "Assessment of the water quality and microbial regrowth in drinking water treatment plants and the distribution network", *Water Resources and Industry*, vol. 33, p. 100290, jun. 2025, doi: 10.1016/j.wri.2025.100290.