

Comparative Evaluation of University Drinking Fountain Technology and Its Influence on the Physicochemical and Microbiological Water Quality

Maria Fernanda Torres Carbajal^{1,2}; Mayra Madelyn Marzano Mejia¹; Alisson Mayra Rojas Vasquez¹; Saúl Edgar Gonzáles Leyva¹; Sheyla Chero-Osorio^{1,2}

¹Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC, Perú, maria.torres.c@utec.edu.pe, mayra.marzano@utec.edu.pe, alisson.rojas@utec.edu.pe, saul.gonzales@utec.edu.pe

²Centro de Investigación y Tecnología del Agua - CITA, Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC, Perú, schero@utec.edu.pe

Abstract– Access to safe drinking water is a fundamental human right and crucial need for human health. On university campuses, drinking fountains are essential to provide safe drinking water, promote healthy habits, and reduce the use of plastic bottles among the university community. This research evaluated four university drinking fountains in Lima, Peru to understand how their technical design influences the physical–chemical and microbiological quality of the water they provide. Samples from the fountains underwent water quality analyse, based on internationally applied Standard Methods (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater), for pH, alkalinity, hardness, conductivity, chloride, sodium, free ammonia, nitrate, (residual) free chlorine and microbial contamination. In addition, water quality results were compared to the Peruvian regulatory limits for drinking water (Decreto Supremo N.º 031-2010-SA). All samples met microbiological standards and regulatory limits for most water quality parameters. However, free chlorine levels were consistently below recommended levels and one fountain sample had very high hardness. By correlating water quality data with the presence of filters, dispensing mechanisms and hygienic design features, we demonstrate that fountains equipped with certified filters and hands-free operation maintain more stable water chemistry, whereas those lacking filtration or maintenance exhibit greater variability. The findings underscore the importance of considering drinking fountains as technological systems whose performance affects water quality, and the need for continuous monitoring and proactive maintenance at the point of consumption.

Keywords– drinking fountains; water quality; free chlorine; hardness; university campuses

Evaluación comparativa de la tecnología de bebederos universitarios y su influencia en la calidad físico-química y microbiológica del agua

Maria Fernanda Torres Carbajal^{1,2} ; Mayra Madelyn Marzano Mejia¹ ; Alisson Mayra Rojas Vasquez¹ ;
Saúl Edgar Gonzáles Leyva¹ ; Sheyla Chero-Orsorio^{1,2} 

¹Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC, Perú,
maria.torres.c@utec.edu.pe, mayra.marzano@utec.edu.pe, alisson.rojas@utec.edu.pe, saul.gonzales@utec.edu.pe

²Centro de Investigación y Tecnología del Agua - CITA, Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC, Perú,
schero@utec.edu.pe

Resumen– La disponibilidad de agua potable es un derecho humano fundamental y crucial para la salud. En los campus universitarios, los bebederos son esenciales para suministrar agua apta para el consumo, promover hábitos saludables y reducir el uso de botellas de plástico entre la comunidad universitaria. Esta investigación evaluó cuatro bebederos universitarios en Lima, Perú para entender cómo su diseño técnico influye en la calidad físico-química y microbiológica del agua que suministran. Se tomaron muestras de los bebederos y se analizaron los siguientes parámetros de calidad mediante Métodos Estándares internacionalmente aplicados: pH, alcalinidad, dureza, conductividad, cloruro, sodio, amoníaco, nitrato, cloro residual y contaminación microbiológica. Además, se compararon los resultados de la calidad del agua con los límites regulatorios peruanos, según el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. Todas las muestras cumplieron las normas microbiológicas y los límites regulatorios para la mayoría de los parámetros de calidad del agua. Sin embargo, los niveles de cloro residual fueron inferiores a los recomendados y un bebedero presentó una dureza muy alta en el agua. Al correlacionar los datos de calidad del agua con la presencia de filtros, mecanismos de dispensación y características higiénicas, se demuestra que los bebederos equipados con filtros certificados y operación sin contacto mantienen mayor estabilidad y seguridad, mientras que aquellos sin filtración o sin mantenimiento presentan mayor variabilidad. Los resultados resaltan la importancia de considerar los bebederos como sistemas tecnológicos cuyo desempeño afecta la calidad del agua y subrayan la necesidad de un monitoreo continuo y mantenimiento preventivo en el punto de consumo.

Palabras clave– bebederos; calidad del agua; cloro residual; dureza; campus universitarios.

I. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que el acceso a agua segura es un derecho humano fundamental y un indicador del bienestar sanitario [1]. Asimismo, las Naciones Unidas enfatiza la importancia del acceso al agua potable, saneamiento e higiene como derecho humano en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6: Agua limpia y saneamiento [2]. En nuestro contexto en Perú, la Dirección General de Salud Ambiental del Perú (DIGESA) especifica límites de pH, alcalinidad, dureza, cloro residual, nitrato, amonio y microorganismos en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, el cual rige la calidad del agua potable [3]. Aunque las plantas de tratamiento de agua potable garantizan el cumplimiento de estos parámetros en la salida, la calidad del agua puede deteriorarse a lo largo de la red y en el punto de consumo.

En los campus universitarios, los bebederos (bebederos de agua fría o estaciones de llenado de botellas) son esenciales para suministrar agua apta y disponible para el consumo humano, promover hábitos saludables y reducir el uso de botellas de plástico. Distintos fabricantes de bebederos comerciales incorporan tecnologías como filtros de carbón activado, sistemas de desinfección, sensores para evitar el contacto y superficies con protección antimicrobiana. El objetivo principal de los sistemas de tratamiento incorporados en estos dispositivos es la remoción de dureza, iones contaminantes y patógenos mediante los procesos de filtración, adsorción y desinfección [4]. El equipo Elkay ezH₂O incorpora sistemas de activación sin contacto, flujo laminar para evitar salpicaduras y un sistema de filtración con una capacidad de 3 000 galones, orientado a la reducción de bacterias, cloro, sabor y olor. Asimismo, presenta superficies plásticas con protección antimicrobiana basada en iones de plata, destinadas a inhibir el crecimiento microbiano en los componentes del equipo. El dispositivo cuenta con un diseño libre de plomo y cumple con las certificaciones NSF/ANSI 61 y 372, aplicables a materiales en contacto con agua potable [5]. Otros modelos, como los bebederos tipo Vendo equipados con filtros de la serie 3M™, utilizan cartuchos de carbón activado que retienen sedimentos y reducen el sabor y olor a cloro [6].

Asimismo, la literatura señala que un diseño higiénico, el uso de filtros eficaces y la dispensación sin contacto pueden reducir la contaminación del agua en el punto de uso [4][7]. La mayoría de los estudios sobre potabilidad en universidades se limita a comparar las muestras de agua con los límites normativos, sin considerar cómo la tecnología del bebedero influye en la calidad del agua. Por ejemplo, el programa PUMAGUA de la Universidad Nacional Autónoma de México supervisa la red interna y los bebederos de Ciudad Universitaria; sus informes indican que las concentraciones físicoquímicas y microbiológicas se mantienen dentro de las normas y no se detectan bacterias patógenas. Sin embargo, ese seguimiento no analiza el funcionamiento interno de los equipos ni compara modelos distintos [8]. En Lima, un estudio sobre dispensadores de agua en farmacias mostró que casi la mitad de las unidades evaluadas no cumplían con los criterios microbiológicos y de cloro residual, destacando la importancia del mantenimiento y desinfección en el punto de uso. Asimismo, la tesis de Bonilla Acurio diseña e implementa un bebedero con filtración y desinfección para una escuela en

Ecuador; aunque este proyecto describe la ingeniería del equipo, no coteja su desempeño con otras tecnologías ni evalúa el impacto en los parámetros de calidad. A la luz de estos antecedentes, nuestra investigación propone considerar la calidad del agua como un indicador del desempeño tecnológico del bebedero y examina cómo la presencia de filtros, el tipo de dispensador y el mantenimiento influyen en los resultados fisicoquímicos y microbiológicos en cuatro universidades de Lima [9][10].

Los objetivos de la presente investigación fueron: (i) identificar las tecnologías de los bebederos ubicados en cuatro universidades, (ii) analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua tomadas de los bebederos, (iii) evaluar cómo estos resultados se comparan con los límites de regulación peruana para el agua potable, y (iv) discutir cómo las diferencias en las tecnologías de los bebederos se reflejan en la calidad del agua potable.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio

En Lima Metropolitana, Perú, la red de distribución de agua potable es proporcionada por SEDAPAL - Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [11]. El estudio se desarrolló en Lima Metropolitana, en un entorno urbano con acceso a la red pública de agua potable. Se evaluaron bebederos universitarios conectados directamente a dicha red, ubicados en zonas de uso frecuente dentro de los campus (Fig. 1).

Los puntos de muestreo se distribuyeron en cuatro universidades representativas de la ciudad, dos públicas y dos privadas (Tabla I): la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

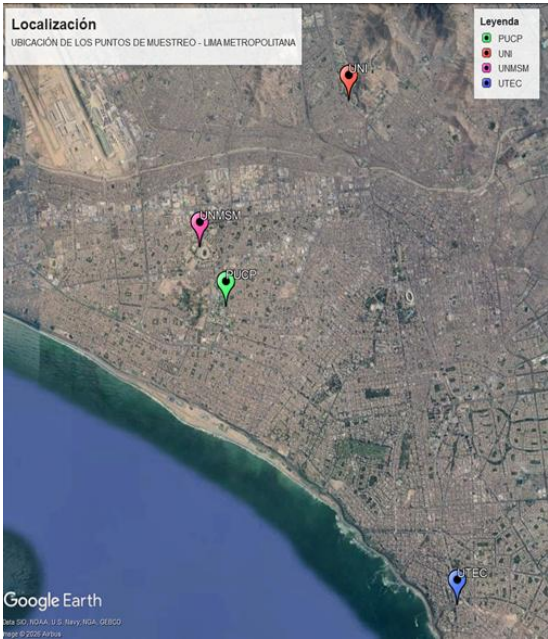


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo

TABLA I.
 UBICACIÓN Y TIPO DE UNIVERSIDAD EVALUADA

Código	Universidad	Tipo	Distrito
U1	PUCP	Privada	San Miguel
U2	UNMSM	Pública	Lima
U3	UTEC	Privada	Barranco
U4	UNI	Pública	Rímac

B. Características de los bebederos evaluados

La Tabla II resume las principales características tecnológicas de los equipos evaluados.

TABLA II.
 CARACTERÍSTICAS DE LOS BEBEDEROS

Universidad	Modelo y Fabricante	Presencia de filtro
UTEC	Bebedero tipo Vendo con refrigeración eléctrica y depósito interno de acero inoxidable [11].	Incorpora un cartucho de filtración de la serie 3M™ High Flow; el cartucho reduce sedimentos, partículas, plomo y el sabor/olor a cloro. Su capacidad nominal es de varios miles de litros y se recomienda cambiarlo cada 6–12 meses.
PUCP	Elkay ezH ₂ O estación de llenado de botellas, bi-nivel ADA [12].	No tiene filtro interno en el equipo (se conecta directamente a la red del campus). Algunos modelos ezH ₂ O incluyen filtros certificados para reducir plomo y partículas, pero el bebedero estudiado no lo integra.
UNI	Elkay ezH ₂ O similar al de PUCP [12].	Igual que PUCP, sin filtro interno; se alimenta de la red municipal a través de tuberías del campus.
UNMSM	Elkay ezH ₂ O	Configuración idéntica a la de PUCP/UNI; no se observó filtro interno.

C. Diseño de muestreo y recolección de muestras

El estudio se desarrolló bajo un diseño de muestreo descriptivo y comparativo. Se estableció un punto de muestreo por universidad, correspondiente a un bebedero previamente definido como representativo de cada campus, obteniéndose un total de cuatro puntos de muestreo.

La recolección de muestras se llevó a cabo en dos jornadas de muestreo durante el mes de noviembre de 2025. En cada punto se recolectó un volumen total de 2 L de agua, utilizando frascos limpios y recién abiertos para evitar cualquier tipo de contaminación externa. Las muestras fueron tomadas directamente del bebedero, permitiendo el flujo del agua como enjuague durante un breve periodo previo a la recolección.

Cada muestra fue rotulada con un código identificador correspondiente a la universidad (U1-U4), así como con la fecha y el lugar de muestreo. Posteriormente, las muestras fueron transportadas al laboratorio de Ingeniería Ambiental de

la Universidad de Ingeniería y Tecnología - Lima, Perú para su análisis fisicoquímico y microbiológico.

D. Parámetros y métodos

Los análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron mediante métodos estandarizados e internacionalmente aplicados basados en “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” [12], así como técnicas instrumentales de laboratorio disponibles (Tablas III y IV). Asimismo, se evaluaron y compararon los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos conforme a lo estipulado por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) en el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano” (D.S. N.º 031-2010-SA) [3].

TABLA III.
PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS ANALIZADOS

Parámetro	Unidad	Método / Instrumento
pH	—	Medición potenciométrica
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	Standard Methods 2320 B
Dureza total	mg/L CaCO ₃	Standard Methods 2340 C
Dureza calcio	mg/L CaCO ₃	Standard Methods 2340 C
Cloro residual	mg/L	Standard Methods 4500-Cl G
Fluoruro	—	Drinking Water Test Kit, Testing Strips 16 in 1, Pamasana
Conductividad	µS/cm	Medición potenciométrica
Na ⁺ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , sulfuros	mg/L	Multi-ion pH meter, NT SENSORS, IMACIMUS 10

TABLA IV.
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS ANALIZADOS

Parámetro	Unidad	Método / Instrumento
Coliformes totales	NMP/100 mL	Standard Methods 9223 B (Colilert)
Escherichia coli	NMP/100 mL	Standard Methods 9223 B (Colilert)

III. RESULTADOS

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos se resumen en la Tabla V. Las figuras 2-4 muestran comparaciones gráficas de dureza, concentración de iones y cloro residual.

En la figura 2 se compara la dureza total del agua (mg/L de CaCO₃) medida en los cuatro campus, frente a las categorías de clasificación de dureza según la U.S. Geological Survey [13]. Las mediciones de dureza mediante titulaciones con EDTA revelan que la muestra de bebedero de la PUCP presenta (> 180 mg/L), estando muy por encima del límite de 180 mg/L que define un agua “muy dura”. En contraste, las muestras de agua

de bebederos de la UNI (90 mg/L) y UTEC (120 mg/L) se clasifican como moderadamente dura y dura, respectivamente, mientras que la muestra de agua de bebedero de la UNMSM (164 mg/L) se aproxima al umbral de “muy dura”. Valores elevados de dureza en el agua pueden causar incrustaciones en tuberías y afectar el sabor del agua, lo que evidencia diferencias importantes en la fuente o en la infraestructura de cada campus [14].

TABLA V.
RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS

Universidad	UTEC	PUCP	UNI	UNMSM	Límite Normativo (DIGESA)
pH	7,24	6,90	7,00	7,43	6,5 a 8,5
Alcalinidad total (meq/L)	4,40	4,59	4,25	4,43	*
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	120	>180	90	164	500
Cloruro (mg/L)	136	154	70	197	250
Sodio (mg/L)	45	36	52	45	200
Amoníaco [†] NH ₃ (mg/L)	1,46	1,03	0,16	0,51	1,5
Nitrato (mg/L)	3,93	5,65	25,0	39,0	50
Cloro residual (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,02	0,5
Coliformes totales/E. coli (NMP/100 mL)	0/0	0/0	0/0	0/0	0

* El reglamento de la DIGESA no establece un Límite Máximo Permisible (LMP) para alcalinidad total.

[†] Debido a que la normativa peruana vigente (DIGESA) no establece un límite máximo permisible para el amonio total medido experimentalmente, fue necesario realizar la conversión equivalente a amoníaco libre (NH₃), el cual sí está considerado por la normativa. Para dicha conversión se empleó la relación de equilibrio ácido-base entre NH₄⁺ y NH₃, dependiente del pH del agua, utilizando la ecuación propuesta por Anthonisen para estimar la fracción de amoníaco libre a partir de la concentración total de amonio [14].

$$K_b/K_w = e^{\frac{6344}{273+T}}$$

Donde:

$$FA \text{ as } NH_3(mg/L) = \frac{17}{14} \times \frac{\text{Concentración total de amonio } N(mg/L) \times 10^{pH}}{K_b/K_w + 10^{pH}}$$

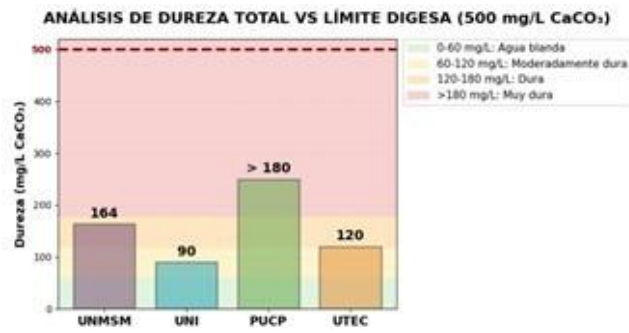


Figura 2. Dureza total del agua (mg/L de CaCO₃) analizados en los puntos de muestra

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se muestran las concentraciones de cloruro, sodio, amoníaco y nitrato; respectivamente, cuyas mediciones pudieron realizarse en simultáneo para cada muestra usando el parámetro multi-ion de NT SENSORS. Todas las concentraciones permanecen bajo los umbrales organolépticos según el D.S. N.° 031-2010-SA (Anexo II - Calidad organoléptica): el cloruro (70-197 mg/L) no alcanza el valor de 250 mg/L a partir del cual se percibe sabor salino; el sodio (36-52 mg/L) está muy por debajo del umbral de gusto de 200 mg/L [3][15]; y el amoníaco libre (0.16-1.46 mg/L) se sitúan por debajo del umbral odorífico de 1.5 mg/L [3]. En cuanto al D.S. N.° 031-2010-SA (Anexo III - Químicos inorgánicos), los valores de nitrato (3.9-39 mg/L) no sobrepasan el valor guía de 50 mg/L [3].

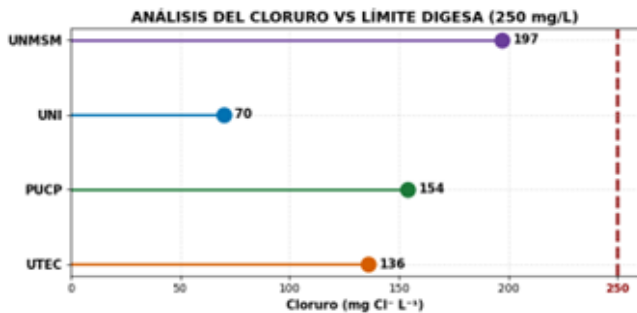


Figura 3. Niveles de Cloruro (mg/L) analizados en los puntos de muestra

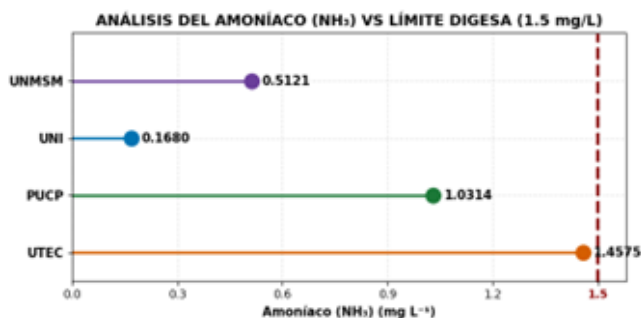


Figura 4. Niveles de Amoníaco NH₃(mg/L) analizados en los puntos de muestra

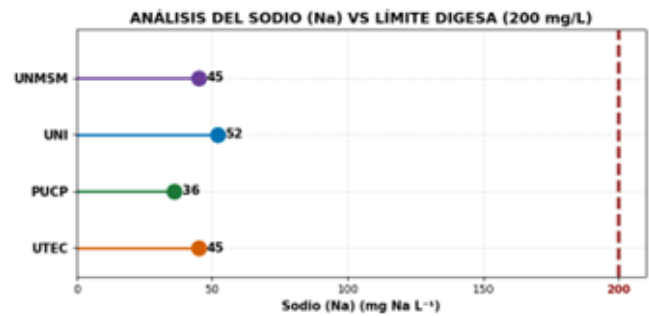


Figura 5. Niveles de Sodio (mg/L) analizados en los puntos de muestra

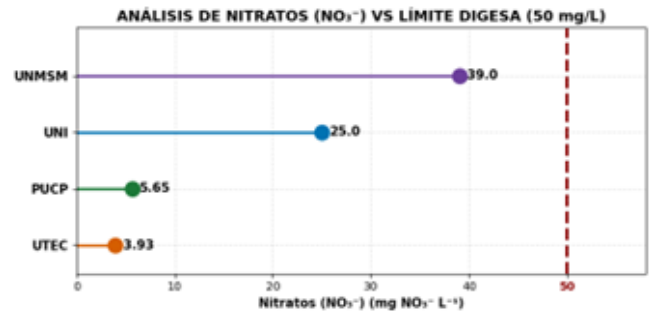


Figura 6. Niveles de Nitratos (mg/L) analizados en los puntos de muestra

En la figura 7 se compara los niveles de cloro residual medidos en cada bebedero con el intervalo recomendado no menor de 0.5 mg/L según el D.S. N.° 031-2010-SA, el cual es necesario para asegurar la desinfección en el punto de consumo [3]. Las mediciones mostraron niveles extremadamente bajos: 0 mg/L en UTEC, PUCP y UNI, y 0.02 mg/L en UNMSM.

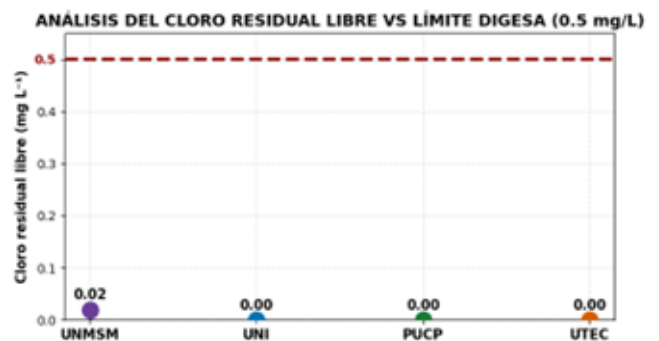


Figura 7. Niveles de cloro residual medidos en los bebederos y comparado al rango recomendado de al menos 0,5 mg/L según DIGESA

En la figura 8 se relaciona la conductividad eléctrica, un indicador de la concentración total de iones disueltos, con la alcalinidad. Se observa que la muestra de bebedero de la UNMSM tiene alta alcalinidad (~4.43 meq L⁻¹) y una conductividad elevada, lo que indica mayor presencia de iones bicarbonatos y carbonatos. Las muestras de bebederos de la UNI y UTEC presentan valores intermedios, mientras que de la PUCP presenta la menor alcalinidad.



Figura 8. Relación entre la conductividad eléctrica y la alcalinidad total del agua en bebederos universitarios

Asimismo, todos los pH se mantienen en el rango permitido según el D.S. N.º 031-2010-SA (6.5-8.5) [3], como se evidencia en la Figura 9.

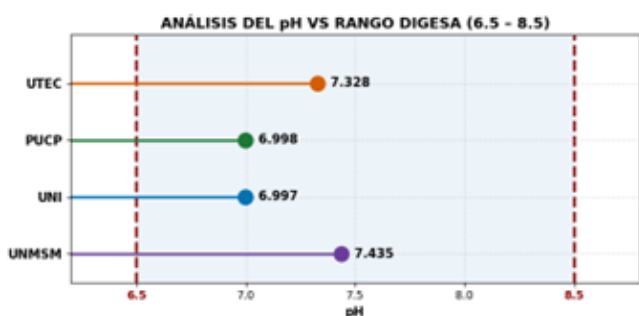


Figura 9. Valores de pH inicial en bebederos universitarios comparados con el rango permitido por DIGESA (6.5-8.5)

Usando las bandejas y reactivos Colilert - IDEXX para la identificación y cuantificación de coliformes totales y *E. coli* según el Método estándar 9223 B, los resultados muestran la ausencia de coloración amarilla bajo luz natural o fluorescencia bajo radiación ultravioleta, respectivamente (Fig. 10). Estos resultados indican concentraciones de 0 NMP/100 mL de coliformes totales y *E. coli* en todas las muestras. Este hallazgo cumple con la normativa del D.S. N.º 031-2010-SA (Anexo I - Límites de parámetros microbiológicos y parasitológicos) que exige ausencia total de coliformes como indicadores de posible contaminación fecal en el agua potable. Sin embargo, al combinar estos datos con el gráfico de cloro residual se observa que, aunque las muestras iniciales sean microbiológicamente seguras en cuanto a coliformes, la falta de cloro residual en los bebederos podría favorecer la contaminación microbiana si se produjera alguna intrusión posterior en la red, o ante la exposición otros patógenos regulados, como bacterias heterotróficas, huevos y larvas de helmintos, quistes de protozoarios, u organismos de vida libre [3].

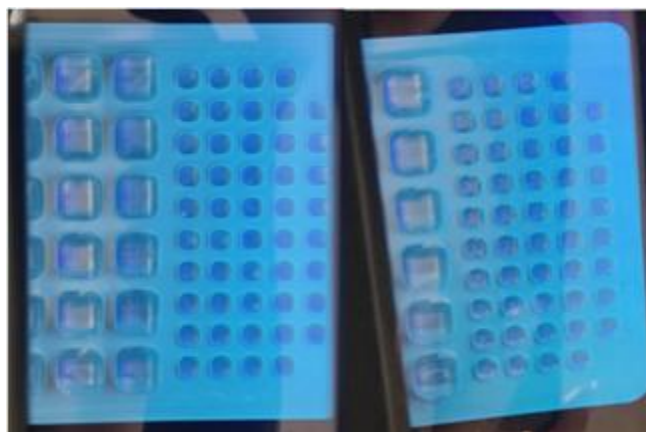


Figura 10. Fotografías del registro de pocillos de la bandeja Colilert

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Relación entre la tecnología de los bebederos y los resultados de calidad

En los bebederos evaluados, la presencia de calcio y magnesio determina la dureza del agua. Según la U.S. Geological Survey [13], una muestra de agua con 120-180 mg/L se considera dura y valores superiores a 180 mg/L son muy duros. El bebedero de PUCP presentó una dureza de (> 180 mg CaCO₃/L), siendo incluso más que el límite de “muy dura”, lo cual sugiere que el agua bruta del campus contiene altos niveles de sales o que existe acumulación de incrustaciones en las tuberías. El campus en mención utiliza un bebedero Elkay ezH₂O sin filtro interno; por tanto, la dureza refleja directamente la calidad del agua suministrada. Los bebederos de UTEC (120 mg/L) y UNMSM (164 mg/L) se ubican en la categoría de agua dura; el primero incorpora un filtro de carbón activado 3M™ que no está diseñado para ablandar el agua, por lo que la dureza depende de la fuente. En contraste, la UNI (90 mg/L) presentó agua moderadamente dura, posiblemente debido a condiciones de distribución de agua en la red interna.

Un valor elevado de dureza en el agua causa incrustaciones y reduce la vida útil de calentadores y electrodomésticos [8][9]. En cuanto al impacto en la salud humana, diversos estudios investigan la relación entre la dureza del agua y la nefrolitiasis, una afección causante de cálculos renales. A pesar de que dicha relación es difícil de determinar, se ha reportado que el agua dura y su concentración de calcio puede promover el riesgo de formación de cálculos renales en participantes mayores a 60 años y mujeres [16]. Como enfoque preventivo para pacientes con nefrolitiasis, se recomienda asegurar la ingesta extra de agua blanda frente al agua dura [17].

En cuanto al pH y la alcalinidad, todas las muestras presentan pH entre 6,9 y 7,4, dentro del rango permitido. La alcalinidad total (4,25-4,59 meq/L) sugiere un equilibrio carbonato-bicarbonato adecuado, lo que confiere capacidad tampón y evita variaciones bruscas de pH. Las ligeras diferencias entre universidades podrían asociarse a los materiales de las tuberías o al tiempo de residencia del agua [9].

Las concentraciones de iones disueltos fueron compatibles con los límites organolépticos. Los cloruros se encontraron por debajo del umbral de gusto de 250 mg L^{-1} y el sodio se situó muy por debajo del nivel en el que se percibe sabor salado ($\sim 200 \text{ mg L}^{-1}$), lo cual evidencia la ausencia de ablandadores de intercambio iónico en las tecnologías de bebederos de agua. Las concentraciones de nitrato fueron inferiores a 50 mg L^{-1} en los bebederos de todas las universidades; sin embargo, en el de UNMSM se registró un valor de 39 mg L^{-1} , cercano al límite recomendado por la DIGESA, que podría estar asociado a la infiltración de aguas residuales o fertilizantes en la red [3][15].

El amoníaco libre (NH_3) se origina por la hidrólisis del amonio; a concentraciones superiores a $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ produce olores perceptibles. El valor más alto ($1,46 \text{ mg L}^{-1}$) se observó en UTEC y se aproxima a este umbral, posiblemente debido a la degradación de materia orgánica nitrogenada en el filtro 3M™ o a reacciones de nitrificación en la red interna [18]. El amoníaco reacciona con el cloro para formar cloraminas, lo que reduce el cloro residual [19]. De hecho, todos los bebederos presentaron niveles de cloro residual $\leq 0,02 \text{ mg L}^{-1}$, muy por debajo del intervalo recomendado de $0,2\text{--}0,5 \text{ mg L}^{-1}$ y de la regulación legal peruana de $\geq 0,5 \text{ mg L}^{-1}$. La ausencia de desinfectante residual implica que el agua no está protegida frente a contaminaciones por patógenos posteriores; además, la presencia de amonio puede consumir parte del cloro añadido, explicando las bajas concentraciones observadas [3].

Por último, el análisis microbiológico mediante el método Colilert-18 mostró ausencia total de coliformes y *E. coli* en todas las muestras, lo que confirma que el agua estaba libre de contaminación fecal por ausencia de coliformes en el momento del muestreo. Sin embargo, la falta de cloro residual es preocupante, porque cualquier contaminación posterior, por ejemplo, por contacto de botellas o manos con la boquilla, no sería inactivada ante la presencia de otros microorganismos patógenos. Los bebederos Elkay ezH₂O incorporan superficies con protección antimicrobiana basada en iones de plata, lo cual puede inhibir el crecimiento de microorganismos en las superficies, pero no sustituye la función del cloro residual en el agua [13].

B. Comparación con otros estudios e implicaciones de ingeniería

Además de las investigaciones previamente mencionadas en Perú, México y Ecuador [8][9][10], un escenario de una institución de educación superior en Brasil reportó ausencia de cloro residual y presencia de genes de resistencia a antibióticos en bebederos universitarios [20]. En todos estos casos, se atribuyó la falta de desinfección con el deterioro de las redes internas y a la inexistencia de procedimientos de mantenimiento. Asimismo, en el estudio en Brasil, se reportó que 59.2 % de los bebederos carecían de cloro residual, porcentaje que se redujo a 20.4 % tras medidas correctivas, con diferencias significativas en el contenido de cloro ($p < 0.05$). La baja concentración de cloro residual se atribuyó al consumo de cloro por materia orgánica y a su neutralización por el carbón

activado de los filtros, lo que favoreció la formación de biofilm sin mantenimiento periódico [20]. Estos hallazgos coinciden con el presente estudio, donde el agua de los bebederos presentó un contenido de cloro residual $\leq 0.02 \text{ mg L}^{-1}$.

La presente investigación, por tanto, corrobora que el cloro residual es el parámetro crítico y resalta que los bebederos con tecnología de filtración sin desinfección no pueden garantizar la protección microbiológica en el punto de consumo. La tecnología Elkay ezH₂O ofrece ventajas en sostenibilidad (activación sin contacto, contador de botellas plásticas reemplazadas, drenaje real). Sin embargo, al carecer de filtros, la calidad del agua depende totalmente de la fuente y del mantenimiento de la red. La incorporación de un filtro de carbón activado, como en el modelo Vendo encontrado en los bebederos en UTEC, mejora el sabor y elimina partículas, pero no ablanda el agua ni contribuye totalmente a la desinfección.

Desde la perspectiva de la ingeniería, la calidad del agua en el punto de consumo es un indicador del desempeño del sistema completo—incluyendo la planta, la red interna y el bebedero. El diseño higiénico del bebedero (boquilla protegida, flujo laminar, superficies antimicrobianas) y la facilidad de mantenimiento son factores que influyen en la conservación de la calidad. Un sensor de cloro residual integrado permitiría advertir a los encargados de mantenimiento cuando el desinfectante cae por debajo del rango seguro. Asimismo, el reemplazo periódico de filtros y la purga de las tuberías disminuiría la acumulación de sedimentos y materia orgánica en gran medida, reduciendo la formación de amoníaco y las demandas de cloro. Se recomienda realizar análisis de calidad de agua con una frecuencia semanal y no solo mensual, así como digitalizar los registros y difundir los resultados entre la comunidad universitaria para un monitoreo continuo de calidad del agua.

C. Interpretación de la demanda de cloro, déficit residual y capacidad de inactivación microbiológica

Desde una perspectiva de ingeniería sanitaria, el cloro residual no debe interpretarse únicamente como un parámetro normativo, sino como un indicador de la capacidad del sistema para mantener una barrera desinfectante activa en el punto de consumo [21]. En los sistemas de agua potable, el cloro residual desinfectante cumple una función de resguardo frente a recontaminaciones de bajo nivel y frente al crecimiento microbiano dentro de la red de distribución [21]. Según Davis, la demanda de cloro se define como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicada y la concentración de cloro libre, combinado o total que permanece al final del periodo de contacto [19]. Esta relación puede expresarse mediante (1):

$$D_{Cl_2} = C_0 - C_t \quad (1)$$

donde D_{Cl_2} es la demanda de cloro (mg L^{-1}), C_0 es la dosis o concentración inicial de cloro aplicada (mg L^{-1}) y C_t es el cloro residual medido al final del tiempo de contacto (mg L^{-1}) [19].

En el presente estudio no se midió la dosis inicial aplicada en la planta de tratamiento o en la red interna de cada campus, por lo que no es posible calcular la demanda real de cloro. No obstante, los valores observados de cloro residual, cercanos a cero, permiten estimar un déficit mínimo respecto al valor objetivo de $0,50 \text{ mg L}^{-1}$, establecido por la normativa peruana para consumo humano [3]. Con base en ello, el déficit de cloro residual representa el indicador de desempeño sanitario en el punto de consumo. Esta aproximación resulta útil porque permite interpretar, con los datos disponibles, en qué medida el cloro residual observado se aleja del nivel mínimo esperado para conservar una barrera desinfectante hasta el usuario final. Esta relación puede expresarse mediante (2):

$$\Delta C_{res} = C_{obj} - C_{obs} \quad (2)$$

donde ΔC_{res} es el déficit de cloro residual, C_{obj} es el valor objetivo o mínimo regulatorio de cloro residual y C_{obs} es la concentración observada en el bebedero. Considerando $C_{obj} = 0,50 \text{ mg L}^{-1}$ y C_{obs} entre 0,00 y $0,02 \text{ mg L}^{-1}$, el déficit mínimo estimado se ubica entre 0,48 y $0,50 \text{ mg L}^{-1}$. En términos prácticos, este resultado indica que el agua llegó al punto de consumo con una concentración de cloro residual prácticamente nula y, por tanto, con una brecha cercana a $0,50 \text{ mg L}^{-1}$ respecto al nivel esperado para conservar una barrera desinfectante activa hasta el usuario final (ver Tabla VI). Esta interpretación es consistente con la función operativa del cloro residual en sistemas de distribución, donde concentraciones bajas o no detectables se asocian con una menor capacidad del sistema para limitar el crecimiento microbiano y responder frente a alteraciones de calidad dentro de la red [22].

TABLA VI.
DÉFICIT DE CLORO RESIDUAL RESPECTO AL VALOR OBJETIVO EN
BEBEDEROS UNIVERSITARIOS

Universidad	C_{obs} (mg L^{-1})	C_{obj} (mg L^{-1})	ΔC_{res} (mg L^{-1})
UTEC	0,00	0,50	0,50
PUCP	0,00	0,50	0,50
UNI	0,00	0,50	0,50
UNMSM	0,02	0,50	0,48

Este resultado no contradice la ausencia de coliformes totales y *E. coli*, sino que indica que la condición microbiológica favorable corresponde a un resultado puntual del muestreo. Sin un cloro residual adecuado, el sistema tendría menor capacidad de respuesta frente a una intrusión posterior, procesos de estancamiento hidráulico, contacto con superficies internas o la formación y posterior movilización de biopelículas, factores que pueden favorecer la persistencia o reintroducción de microorganismos en el agua distribuida [23][24]. En consecuencia, el cloro residual debe considerarse una variable crítica de desempeño del sistema bebedero-red

interna, especialmente en equipos conectados directamente a la red del campus o en sistemas con filtros de carbón activado, donde la rápida neutralización del oxidante residual puede favorecer una mayor actividad biológica si no existe una barrera adicional de desinfección [25].

El consumo del cloro puede interpretarse mediante un modelo de decaimiento de primer orden o pseudo-primer orden, empleado para describir la disminución de cloro, cloro combinado o dióxido de cloro en agua [19]. Este modelo se expresa mediante (3):

$$\frac{dC}{dt} = -k_d C \quad (3)$$

Considerando su forma integrada en (4):

$$C_t = C_0 e^{-k_d t} \quad (4)$$

donde C_t es la concentración de cloro después de un tiempo t , C_0 es la concentración inicial, k_d es la constante aparente de decaimiento y t es el tiempo de contacto o residencia. En este estudio no se calculó k_d debido a que no se realizó una curva temporal de cloro residual; sin embargo, la concentración final cercana a cero sugiere una pérdida o demanda significativa de cloro antes del punto de consumo. Esta pérdida puede estar asociada a reacciones del cloro con amonio, materia orgánica natural, sedimentos, biopelículas y superficies internas de tuberías [26][27]. Por ello, el resultado observado no solo representa un incumplimiento del cloro residual mínimo, sino también una señal de que la dosificación o mantenimiento de la red interna podría no estar compensando la demanda de cloro del sistema.

Si el objetivo operativo es asegurar un cloro residual mínimo de $0,50 \text{ mg L}^{-1}$ en el punto de consumo, la dosis requerida en una evaluación futura debería considerar tanto la demanda de cloro como el cloro residual objetivo, de acuerdo con (5):

$$C_{dosis, req} = D_{Cl_2} + C_{obj} \quad (5)$$

Por tanto, con los datos disponibles no es posible determinar cuánto cloro total debería dosificarse desde la planta o la red interna, porque la demanda de cloro del sistema, D_{Cl_2} , no fue medida experimentalmente. Lo que sí puede afirmarse es que, en el punto de consumo, existe una brecha aproximada de 0,48 y $0,50 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro residual para alcanzar el valor objetivo de $0,50 \text{ mg L}^{-1}$. Esta distinción es fundamental porque permite diferenciar entre el déficit de cloro residual efectivamente observado en el bebedero y la demanda real de cloro del sistema.

En términos microbiológicos, la relación entre la concentración del desinfectante y la inactivación de microorganismos puede describirse mediante el modelo de Chick-Watson, originalmente propuesto a partir de los trabajos de Chick y Watson en el año de 1908, y ampliamente utilizado en estudios de agua potable [28].

Esta relación puede expresarse mediante (6):

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -k_{cw}C^n t \quad (6)$$

donde N_0 y N representan la concentración inicial y la concentración final de microorganismos viables, respectivamente; C es la concentración del desinfectante; t corresponde al tiempo de contacto; n es un coeficiente empírico asociado a la cinética de desinfección; y k_{cw} es la constante de inactivación microbiológica. En el presente estudio, el modelo se emplea únicamente como marco conceptual para interpretar la relación entre cloro residual e inactivación microbiológica, mas no como un modelo cinético calibrado experimentalmente. Bajo este enfoque, la inactivación no depende únicamente de detectar o no microorganismos indicadores, sino de la exposición efectiva al desinfectante. Cuando la concentración de cloro residual tiende a cero, como ocurrió en los bebederos evaluados, el término $C^n t$ disminuye significativamente y, por tanto, la capacidad de inactivación residual frente a una contaminación posterior sería limitada. Un estudio reciente en sistemas de distribución de agua potable señalan que la disminución del cloro residual favorece el recrecimiento microbiano y reduce la protección microbiológica en la red de distribución, especialmente en condiciones de alta demanda de cloro y presencia de biopelículas [29]. Esto explica por qué una muestra puede cumplir microbiológicamente en el momento del análisis, pero no necesariamente mantener protección sostenida si el cloro residual desaparece antes del punto de consumo.

Adicionalmente, los valores de pH medidos en los bebederos se ubicaron entre 6,90 y 7,44, rango cercano al intervalo recomendado para optimizar la acción desinfectante del cloro libre. Davis señala que la capacidad oxidante del cloro libre depende del equilibrio entre ácido hipocloroso ($HOCl$) e ion hipoclorito (OCl^-), especies cuya distribución varía con el pH [19]. Por ello, el problema principal identificado en este estudio no corresponde a un pH fuera del rango operativo, sino a la ausencia de una concentración residual suficiente de cloro libre en el punto de consumo.

V. CONCLUSIONES

La comparación entre las tecnologías evaluadas de cuatro universidades (UTEC, PUCP, UNI y UNMSM) de Lima, Perú, mostró que la configuración y el mantenimiento de los bebederos influyen en la calidad fisicoquímica del agua. El bebedero de UTEC, equipado con filtro 3M™, puede mejorar características organolépticas como sabor, olor o retención de partículas; sin embargo, este tipo de filtración no está diseñado para reducir parámetros como dureza, amonio o para garantizar un cloro residual desinfectante. Por otro lado, los bebederos Elkay ezH₂O evaluados en PUCP, UNI y UNMSM no presentaron filtración interna observada, por lo que la calidad del agua suministrada depende principalmente de la red interna del campus, del tiempo de residencia y del mantenimiento de tuberías y componentes.

El análisis de la calidad del agua suministrada por los bebederos de las cuatro universidades evidenció que todas las muestras cumplieron con el criterio microbiológico evaluado, al presentar 0 NMP/100 mL de coliformes totales y *Escherichia coli*. Este resultado indica que el agua fue microbiológicamente apta al momento del muestreo respecto a los indicadores de contaminación fecal considerados por la normativa peruana. Sin embargo, la ausencia de estos microorganismos indicadores no garantiza por sí sola una protección microbiológica sostenida si el sistema no mantiene un cloro residual desinfectante activo en el punto de consumo.

El cloro residual fue identificado como el parámetro crítico del estudio. Los valores observados estuvieron entre 0,00 y 0,02 mg L⁻¹, muy por debajo del valor objetivo de 0,50 mg L⁻¹ establecido para agua de consumo humano, según la normativa peruana. Esta diferencia representa un déficit operativo de aproximadamente 0,48–0,50 mg L⁻¹ de cloro residual en los bebederos evaluados. Por tanto, aunque las muestras fueron microbiológicamente conformes en el momento del muestreo, el agua llegó al punto de consumo prácticamente sin una barrera desinfectante activa, lo que podría limitar la capacidad del sistema para responder frente a eventos de recontaminación, estancamiento, contacto con superficies internas o crecimiento microbiológico posterior.

La demanda real de cloro no pudo calcularse directamente debido a que no se midió la dosis inicial aplicada ni el tiempo de contacto en la red interna de cada campus. No obstante, el déficit de cloro residual observado sugiere una pérdida significativa del desinfectante antes del punto de consumo. De acuerdo con un enfoque de decaimiento de primer orden, esta pérdida podría estar asociada a reacciones del cloro con materia orgánica, amonio, sedimentos, biopelículas, filtros de carbón activado o superficies internas de las tuberías y componentes del bebedero. En ese sentido, el cloro residual no debe interpretarse únicamente como un parámetro normativo, sino como un indicador de desempeño en el sistema bebedero-red interna.

En conjunto, los resultados demuestran que los bebederos deben ser considerados como parte integral del sistema de abastecimiento de agua potable y no únicamente como puntos finales de dispensación. En consecuencia, el desempeño microbiológico de un bebedero no debería evaluarse únicamente mediante la ausencia de coliformes u otros microorganismos indicadores, sino también a partir de su capacidad de mantener desinfección residual en el punto de consumo. Bajo esta perspectiva, los bebederos universitarios deben entenderse como sistemas tecnológicos de distribución y acondicionamiento de agua, cuyo desempeño depende tanto de la calidad microbiológica instantánea como de la persistencia de la barrera desinfectante.

Para preservar la potabilidad en el punto de consumo, se recomienda implementar programas de monitoreo periódico que incluyan cloro residual, pH, conductividad, dureza, indicadores microbiológicos y condiciones de mantenimiento. Asimismo, se sugiere incorporar pruebas de demanda de cloro,

curvas de decaimiento del cloro residual, estimación del tiempo de residencia hidráulica y cálculo del producto C_t , con el fin de pasar de una evaluación descriptiva de calidad del agua a un diagnóstico explicativo del desempeño de desinfección en bebederos universitarios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC por el apoyo académico y logístico brindado durante el desarrollo del presente estudio. Asimismo, agradecen al Dr. Daniel Horna y a la Dra. Ursula Rodríguez por la valiosa retroalimentación científica proporcionada, y a Ruth Condori por el apoyo con los instrumentos de laboratorio y asistencia durante las actividades experimentales.

REFERENCIAS

- [1] J. B. Justo, “El derecho humano al agua y al saneamiento frente a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)” Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas, Santiago de Chile, Chile, Documento de proyecto, 2013. <https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Issues/Water/ServiceRegulation/NSA/ECLAC2.pdf>
- [2] J. A. R. Martín y W. A. G. Asto, “El derecho humano al agua y saneamiento en los PMA y algunos países con menor acceso al agua de América Latina y el Caribe, en el marco del cumplimiento del ODS 6”, *Rev. Electron. Iberoam.*, vol. 18, n.º 2, pp. 76-100, sep. 2024, doi: 10.20318/reib.2024.8821.
- [3] Ministerio de Salud del Perú, “Reglamento de la calidad del agua para consumo humano” Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, Lima, Perú, 2010. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/273650/reglamento-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano.pdf>
- [4] J. Wu, M. Cao, D. Tong, Z. Finkelstein, y E. M. V. Hoek, “A critical review of point-of-use drinking water treatment in the United States”, *Npj Clean Water*, vol. 4, n.º 1, p. 40, jul. 2021, doi: 10.1038/s41545-021-00128-z.
- [5] Elkay Manufacturing Company, “Estación llenadora de botellas Elkay ezH₂O® con sistema de enfriamiento y filtración antibacterial, modelos LZS8WS*(3)K-BAC.” Oak Brook, IL, EE. UU., Especificaciones técnicas, 2019. <https://www.elkayfiles.com/spec-sheets/intl/spanish-specsheet-lzs8ws-bac.pdf>
- [6] Vendomatica - Perú, “Dispensador de agua”. Disponible en: <https://www.vendomatica.pe/dispensador>
- [7] M. L. Davis, *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. Nueva York, NY: McGraw-Hill, 2010.
- [8] Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM (PUMAGUA), “Diagnóstico de la calidad del agua en bebederos de CU,” PUMAGUA, Ciudad de México, Mex., 2011. Consultado el 31 de enero de 2026.
- [9] M. M. Bonilla Acurio, “Diseño e implementación de un bebedero con sistema de filtración y desinfección para dotar de agua a la Escuela de Formación de Tecnólogos,” tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2017.
- [10] M. C. Chávez Becerra y M. C. Soto Prudencio, “Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua para consumo humano de los dispensadores de oficinas farmacéuticas del AA.HH. Mariscal Cáceres del distrito de San Juan de Lurigancho - Lima, 2019,” tesis de grado, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Univ. Privada Norbert Wiener, Lima, Perú, 2020.
- [11] Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal), “Sedapal.” Consultado el 31-ene-2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/sedapal>
- [12] W. C. Lipps, E. B. Braun-Howland y T. E. Baxter, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association, 2023.
- [13] U.S. Geological Survey, Water Science School, “Hardness of Water,” 11-jun-2018. Consultado el 31-ene-2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.usgs.gov/water-science-school/science/hardness-water>
- [14] P. D. Robillard, W. E. Sharpe y B. R. Swistock, “Water Softening,” Penn State Extension, Pennsylvania State University, University Park, PA, actualización del 8 de septiembre de 2025. <https://extension.psu.edu/water-softening>. [En línea]. Consultado el 31 de enero de 2026.
- [15] A. C. Anthonisen, R. C. Loehr, T. B. S. Prakasam, and E. G. Srinath, “Inhibition of Nitrification by Ammonia and Nitrous Acid,” 1976.
- [16] J. Zhang et al., “The association between domestic water hardness and kidney stone disease: a prospective cohort study from the UK Biobank,” *International Journal of Surgery*, vol. 111, no. 2, pp. 1957–1967, Feb. 2025, doi: 10.1097/JIS9.0000000000002198.
- [17] V. Bellizzi, L. De Nicola, R. Minutolo, D. Russo, B. Cianciaruso, M. Andreucci, G. Conte, y V. E. Andreucci, “Effects of water hardness on urinary risk factors for kidney stones in patients with idiopathic nephrolithiasis,” *Nephron*, vol. 81, supl. 1, pp. 66–70, 1999, doi: 10.1159/000046301.
- [18] B. E. Rittmann y P. L. McCarty, *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*, 2.ª ed. Nueva York, NY: McGraw-Hill Education, 2020.
- [19] M. L. Davis, *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*, 2ª ed. Nueva York, NY: McGraw-Hill, 2020.
- [20] J. C. Oliver, R. A. de O. Paula y S. M. O. M. Veiga, “Chemical and bacteriological analysis of the water from drinking fountains located in a Higher Education Institution,” *Research, Society and Development*, vol. 10, no. 2, e8010212145, 2021, doi: 10.33448/rsd-v10i2.12145.
- [21] World Health Organization. (2011). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). World Health Organization.
- [22] U.S. Environmental Protection Agency. (2021). Maintaining a Disinfectant Residual (EPA 815-F-21-003). U.S. Environmental Protection Agency.
- [23] D. Berry, C. Xi, and L. Raskin, “Microbial ecology of drinking water distribution systems,” *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 17, no. 3, pp. 297–302, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.copbio.2006.05.007.
- [24] K. E. Fish, N. Reeves-McLaren, S. Husband, and J. Boxall, “Uncharted waters: the unintended impacts of residual chlorine on water quality and biofilms,” *npj Biofilms and Microbiomes*, vol. 6, no. 1, Art. no. 34, 2020, doi: 10.1038/s41522-020-00144-w.
- [25] G. A. de Vera, D. Gerrity, M. Stoker, W. Frehner, and E. C. Wert, “Impact of upstream chlorination on filter performance and microbial community structure of GAC and anthracite biofilters,” *Environmental Science: Water Research & Technology*, vol. 4, no. 8, pp. 1133–1144, 2018, doi: 10.1039/C8EW00115D.
- [26] P. Hua, E. V. Vasyukova, and W. Uhl, “A variable reaction rate model for chlorine decay in drinking water due to the reaction with dissolved organic matter,” *Water Research*, vol. 75, pp. 109–122, 2015, doi: 10.1016/j.watres.2015.01.037.
- [27] K. Ma, X. Jia, H. Han, L. Zhao, D. Fan, J. Hu, R. Li, and X. Su, “Role of typical pipes in disinfection chemistry within drinking water distribution system,” *Water Supply*, vol. 21, no. 3, pp. 1263–1276, 2021, doi: 10.2166/ws.2020.376.
- [28] Environmental Protection Agency, *Water Treatment Manual: Disinfection*. Johnstown Castle, Co. Wexford, Ireland: Environmental Protection Agency, 2011.
- [29] S. Nduli, M. Tekere, V. Masindi, and 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, 2025, doi: 10.1016/j.wri.2025.100290.