

Identificación microbiológica de patógenos en aguas de centros educativos de Norte de Santander

Research Article

 Open access



Microbiological identification of pathogens in water from educational centers in Norte de Santander

Identificação microbiológica de patógenos em água de centros educacionais do Norte de Santander

Como citar este artículo:

Soto Javier Andrés, Martínez-Marciales Karen Piedad. Identificación microbiológica de patógenos en aguas de centros educativos de Norte de Santander. Revista Cuidarte. 2025;16(1):e4052. <https://doi.org/10.15649/cuidarte.4052>

Highlights

- El agua es un alimento, por ello es necesario su consumo a diario, ya que permite mantenerse hidratados para el desarrollo de funciones vitales.
- La contaminación del agua está dada por características microbiológicas, físicas y químicas.
- Para un adecuado cuidado del agua, es necesario verificar las condiciones de almacenamiento.
- Es siempre necesario conocer la calidad e inocuidad del agua, esto se realiza mediante análisis microbiológicos y fisicoquímicos de manera periódica que permitan detectar cualquier incumplimiento de criterios de su aptitud para el consumo humano.

Revista Cuidarte

Rev Cuid. 2025; 16(1): e4052

<https://doi.org/10.15649/cuidarte.4052>



E-ISSN: 2346-3414

 Javier Andrés Soto¹

 Karen Piedad Martínez-Marciales²

1. Universidad de Santander, Facultad de Ciencias Médicas y de la Salud, Instituto de Investigación Masira, Cúcuta, Colombia. E-mail: jav.soto@mail.udes.edu.co
2. Universidad de Santander, Facultad de Ciencias Médicas y de la Salud, Instituto de Investigación Masira, Cúcuta, Colombia. E-mail: ka.martinez@mail.udes.edu.co

Resumen

Introducción: El agua es un recurso esencial para la supervivencia y por ello su calidad e inocuidad debe ser una prioridad, especialmente para grupos poblacionales susceptibles. **Objetivo:** Determinar la presencia de aerobios mesófilos, coliformes y *Pseudomonas* en agua de consumo en colegios de 3 municipios de Norte de Santander.

Materiales y Métodos: Se realizó indagación con el personal de mantenimiento sobre el almacenamiento del agua. Se recolectaron muestras de diferentes fuentes, las cuales se procesaron por el método de filtración por membrana para identificar bacterias Aerobias Mesófilas, *E. coli*, coliformes, *Pseudomonas* spp y *Salmonella* spp. mediante las normas técnicas establecidas para cada microorganismo.

Resultados: Se identificó el crecimiento de bacterias Mesófilas en un 77,50%, coliformes totales y fecales en un 84,00% y 72,00% respectivamente y *Escherichia coli* en un 21%. También se identificó *Pseudomonas* spp. en un 73,00% y *Salmonella* spp. con 10,50%.

Discusión: Estos hallazgos reflejan el incumplimiento de normativa vigente debido a la presencia de bacterias indicadoras como los mesófilos, y el indicador por excelencia en calidad de aguas: los coliformes; hecho que se ratifica con *Pseudomonas* spp. y *Salmonella* spp. **Conclusiones:** La presencia de estos microorganismos está asociada a fallas en el proceso de potabilización, permitiendo exponer la necesidad de acciones correctivas que permitan garantizar la calidad microbiológica del agua y la salud.

Palabras Clave: Coliformes; Inocuidad de los Alimentos; Monitoreo del Agua.

Recibido: 27 de mayo de 2024

Aceptado: 9 de diciembre de 2024

Publicado: 30 de abril de 2025

 *Correspondencia

Karen Piedad Martínez-Marciales

E-mail: ka.martinez@mail.udes.edu.co



Microbiological identification of pathogens in water from educational centers in Norte de Santander

Abstract

Introduction: Water is an essential resource for survival, and therefore, its quality and safety must be a priority, especially for susceptible population groups. **Objectives:** To determine the presence of mesophilic aerobes, coliforms, and *Pseudomonas* in drinking water in schools from three municipalities of Norte de Santander. **Materials and Methods:** Maintenance personnel were inquired about water storage. Samples from different sources were collected and processed using the membrane filtration method to identify aerobic mesophilic bacteria, *E. coli*, coliforms, *Pseudomonas* spp., and *Salmonella* spp. following the technical standards established for each microorganism. **Results:** Mesophilic bacteria growth was identified in 77.50% of the samples, total coliforms in 84.00%, fecal coliforms in 72.00%, and *Escherichia coli* in 21%. *Pseudomonas* spp. was also identified in 73.00% of the samples and *Salmonella* spp. in 10.50%. **Discussion:** These findings reflect non-compliance with current regulations due to the presence of indicator organisms such as mesophiles and the indicator par excellence in water quality: coliforms, a fact that is ratified by the presence of *Pseudomonas* spp. and *Salmonella* spp. **Conclusions:** The presence of these microorganisms is associated with failures in the water purification process, which allows us to expose the need for corrective actions to guarantee the microbiological quality of water and ensure health.

Keywords: Coliforms; Food Safety; Water Monitoring.

Identificação microbiológica de patogénos em água de centros educacionais do Norte de Santander

Resumo

Introdução: A água é um recurso essencial para a sobrevivência e, portanto, sua qualidade e segurança devem ser prioridade, especialmente para grupos populacionais suscetíveis. **Objetivo:** Determinar a presença de aeróbios mesófilos, coliformes e *Pseudomonas* na água potável em escolas de 3 municípios do Norte de Santander. **Materiais e Métodos:** A equipe de manutenção foi questionada sobre o armazenamento de água. Amostras foram coletadas de diferentes fontes, as quais foram processadas pelo método de filtração por membrana para identificar bactérias aeróbicas mesófilas, *E. coli*, coliformes, *Pseudomonas* spp. e *Salmonella* spp. através das normas técnicas estabelecidas para cada microrganismo. **Resultados:** O crescimento de bactérias mesófilas foi identificado em 77,5%, coliformes totais e fecais em 84% e 72% respectivamente, e *Escherichia coli* em 21%. *Pseudomonas* spp. também foi identificada. em 73% e *Salmonella* spp. com 10,5%. **Discussão:** Estes achados refletem o não cumprimento das normas vigentes devido à presença de bactérias indicadoras como os mesófilos, e o indicador por excelência da qualidade da água: os coliformes; fato que é confirmado por *Pseudomonas* spp. e *Salmonella* spp. **Conclusões:** A presença desses microrganismos está associada a falhas no processo de purificação, permitindo expor a necessidade de ações corretivas para garantir a qualidade microbiológica da água e a saúde.

Palavras-Chave: Coliformes; Inocuidade dos Alimentos; Monitoramento da Aguas.

Introducción

El agua es un elemento esencial para la supervivencia y representa una necesidad que influye de forma directa en la salud. La baja calidad del agua de consumo humano se ha asociado con enfermedades, cuyo origen radica en la falta de acceso a fuentes de este recurso y a condiciones de saneamiento óptimas. Generalmente, las escuelas ubicadas en zonas rurales sirven a comunidades que tienen una alta prevalencia de enfermedades relacionadas con las condiciones inadecuadas del agua, el saneamiento y la higiene¹. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), más de 800 000 personas mueren cada año de diarrea causada por la insalubridad del agua de consumo, el saneamiento y la higiene de las manos, de los cuales alrededor del 36% son niños menores de cinco años².

El agua potable es un servicio básico en cualquier parte del mundo³. Garantizar la distribución y el acceso creciente a agua potabilizada es una premisa que ha sido monitorizado a lo largo de los últimos años⁴, se hace necesario organizar la validación de la calidad del agua, mediante análisis in situ de características como el pH y el nivel de cloro, y análisis microbiológicos que permiten identificar de manera oportuna cualquier riesgo de contaminación⁵.

En México, en un estudio realizado sobre la calidad microbiológica del agua potable en escuelas públicas, Iñiguez halló que el 59% de las muestras de agua analizadas sobrepasaban los límites, en algunos casos, hallando el nivel de cloro requerido, pero en otros casos no. De igual forma se hallaron patógenos como *Escherichia coli* en el 13,6 % de las muestras; además, se aislaron cepas de *Citrobacter freundii*, *Klebsiella* spp y *Pseudomonas* spp⁶. Por otro lado, en Venezuela, un trabajo realizado en el mismo contexto que Iñiguez permitió identificar contaminación en casi la totalidad de las muestras analizadas, concluyendo los autores que los microorganismos indicadores hallados representan un riesgo para la salud⁷. Siguiendo con las evidencias a nivel de Latinoamérica, en Argentina se llevó a cabo una investigación sobre la calidad microbiológica del agua, en donde los hallazgos mostraron que el 73% de las muestras hídricas de las escuelas analizadas, no era apta para el consumo⁸.

De estas investigaciones en Centro y Sur América, se encuentran coincidencias respecto a la falta de adecuados manejos y almacenamiento del agua, y la creciente necesidad para la gestión integral del manejo del agua en Instituciones educativas, es por ello que se realizan investigaciones en cuanto a la calidad e inocuidad del agua, con enfoque en Latinoamérica, como lo realizado por Mucinhato en el 2022⁹.

En Colombia el suministro de agua potable en zonas rurales es un reto¹⁰. Los patógenos entéricos en el agua representan una amenaza para la salud pública. La regulación mundial estipula que la presencia de estos agentes se deduce del análisis de organismos indicadores fecales y solo se sugiere el estudio de ciertos géneros entéricos en zonas de riesgo^{11,12}. El control del agua es crítico, ya sea que esta provenga de sistemas de potabilización o que carezca de tratamiento previo, pues sus características dependen de factores externos, los cuales inciden ejerciendo una presión selectiva específica sobre la población microbiana habitual¹³, contribuyendo así en la proliferación de microorganismos patógenos para grupos vulnerables¹⁴. En nuestro país, el Ministerio de Salud y Protección Social, el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y el Instituto Nacional de Salud publican anualmente el Informe Nacional de Calidad del Agua, cuya información sirve como punto de referencia a las autoridades y sectores involucrados en la toma de decisiones, y en la implementación de acciones de control¹⁵.

La ciudad de San José de Cúcuta exhibió en el 2020 un Índice de Riesgo de la Calidad del Agua de 4.0, lo que la sitúa en la categoría de: sin nivel de riesgo¹⁶. Sin embargo, el mayor riesgo relacionado con aguas de consumo humano en términos microbiológicos, y al cual hay que dirigir los esfuerzos de monitoreo está representado por un tipo de microorganismos llamados coliformes. Este grupo incluye los géneros *Escherichia*, *Edwardsiella*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, y *Citrobacter*. Estos microorganismos pueden



encontrarse en grandes cantidades en cuerpos de agua, vegetación y suelos. Específicamente, las especies de *Enterobacter* y *Klebsiella* colonizan superficies interiores de las tuberías de agua y tanques de almacenamiento, donde forman biopelículas en presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y tiempos prolongados de almacenamiento¹⁷. La formación de biopelículas en sistemas de distribución de agua potable es un tema ampliamente estudiado¹⁸. El establecimiento a lo largo del tiempo de comunidades bacterianas que crecen en la superficie interior de las tuberías, bajo condiciones de elevada o baja velocidad en la conducción de agua de bajo o alto cizallamiento es inminente. Los patógenos oportunistas pueden sobrevivir más tiempo y tienen mayor resistencia al cloro cuando se presentan en las biopelículas³. Los microorganismos coliformes y *Escherichia coli* son los mejores indicadores de contaminación fecal. *Escherichia coli* se utiliza tradicionalmente para verificar la calidad microbiológica del agua, y sigue siendo un parámetro importante en el seguimiento y vigilancia¹⁹.

Pseudomonas spp., por su alta resistencia al cloro es considerada como un indicador de la eficiencia de la desinfección del agua²⁰. La presencia de *Salmonella* spp. es crítica por su asociación a contaminación fecal en agua, su alta tasa de viabilidad y poder patógeno a lo largo del tiempo²⁰. En relación con lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente estudio fue determinar la presencia de *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. y *Pseudomonas* spp. y mesófilos en agua de consumo de 20 centros educativos de tres municipios de Norte de Santander con el ánimo de conocer la calidad del recurso en estos importantes escenarios.

Materiales y Métodos

Recolección de especímenes y período de muestreo

Esta investigación se basó en un diseño de estudio descriptivo y en campo. Se realizó un muestreo no probabilístico en el cual se recolectaron un total de 80 muestras distribuidas en cuatro muestreos durante 6 meses. Las instituciones educativas fueron seleccionadas en base primero, a la ubicación geográfica, pues se tuvieron en cuenta los centros geo posicionados estratégicamente ubicados en los municipios de Cúcuta, Pamplona y Los Patios, esto con el fin de abarcar de forma representativa la zona urbana y rural de la ciudad de Cúcuta. Otro criterio de selección fue también el hecho de que la muestra representara las diferentes fuentes de abastecimiento que pudiesen encontrarse en estas instituciones, pues no todas cuentan con el mismo nivel de infraestructura y de capacidad de almacenamiento, variables críticas en el desenlace del proyecto. Las instituciones participantes en el estudio fueron organizadas secuencialmente para construir la base de datos con los resultados generados de cada una de ellas.

La recolección de la muestra se realizó manualmente, directamente de la válvula de salida de dispensadores de agua y grifos previa desinfección, empleando bolsas Whirl-Pak® y se transportaron en cadena de frío entre 4 y 6 °C hasta el laboratorio. Se diligenciaron actas de recolección de muestra.

Otro abordaje metodológico empleado en el estudio para recopilar información sobre el estado de las fuentes de abastecimiento de agua de consumo se basó en aplicar una encuesta al personal encargado para conocer así el estado de los tanques de almacenamiento. Por otra parte, también se midieron variables *in situ* como la temperatura y el pH, lo cual se realizó mediante comprobadores de pH (HANNA instruments). El proceso consistió primero en agregar 10 ml de la muestra a un recipiente, acto seguido se encendía el instrumento y se introducía en la muestra para su posterior lectura. Cabe resaltar que cada vez que se utilizaba el equipo se realizaba la calibración del mismo.

Para la determinación de cloro residual se empleó el verificador de disco DPD (HANNA instruments) donde se llenaban dos cubetas, es decir el control y la muestra con 10 ml. Posteriormente se agregaba

el sobre de reactivo de cloro libre (DPD) HI93701-0, se colocaba la tapa a los dos frascos y se agitaba durante unos segundos para su lectura.

Análisis microbiológico

Determinación de *Escherichia coli* y aerobios mesófilos. Para esta determinación se aplicó el método filtración por membrana según la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4772²¹, con membranas de nitrocelulosa de 0,45 micras de diámetro de poro. Se filtraron 100 ml de cada muestra, ubicando la membrana en Agar Plate Count (Merck, Frankfurter, Alemania) para crecimiento de aerobios mesófilos y Agar Chromocult (Merck) para Coliformes y *Escherichia coli*, incubando por 24 horas a 37°C.

Determinación de *Pseudomonas spp.* Según la NTC 4940²² se inocularon tubos con caldo L-asparagina (Merck, Frankfurter, Alemania) se incubaron a 37°C/ 48 horas. Los tubos que presentaron turbidez y fluorescencia se registraron como positivos. Para la confirmación se inocularon 0,1 ml de cada tubo positivo en Agar Cetrimide (Oxoid, Hampshire, Reino Unido) y se incubaron a 37 °C/24 horas. Posterior se realizaron pruebas de oxidasa.

Determinación de *Salmonella spp.* Se empleó el método NTC 4574²³. Se adicionaron 25 ml de la muestra a 225 ml de agua peptonada (Acumedia, Madrid, España) se realizó una incubación a 37 °C/ 24 horas. Luego 0,1 ml del cultivo anterior se llevó al caldo rappaport (Merck, Frankfurter, Alemania) con incubación a 42°C por 24 horas. El aislamiento diferencial se realizó sembrando por agotamiento en agar Hecktoen enteric, y Agar SS (Merck, Frankfurter, Alemania) incubado a 37°C/24 horas, finalizando con confirmación bioquímica.

Análisis estadístico

Se realizó el cálculo de medidas descriptivas para las variables fisicoquímicas y microbiológicas, representándose en un resumen mediante tablas de contingencia haciendo la comparación entre municipios. Los datos obtenidos de este estudio fueron almacenados en el repositorio de información de Mendeley, el cual es un producto de Elsevier que recopila información general²⁴.

Consideraciones éticas

El proyecto de investigación fue avalado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Santander, según acta de inicio No 065-16, en la Convocatoria Interna focalizada de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico 2016-2017, identificado con el código PICF0216540231765EJ. La obtención de las muestras fue autorizada por los representantes legales de los Centros educativos.

Resultados

De acuerdo con las pruebas de las condiciones físicas y químicas del agua, se encontró que, respecto a los niveles de cloro residual, en el 70,00% de los centros educativos no se halló cloro residual, siendo esto sinónimo de incumplimiento de la norma establecida en este aspecto. Para el parámetro del pH, se halló que el 87,50% de las muestras de agua de los centros educativos cumplieron con los rangos establecidos en 4 de los 4 muestreos realizados, y que el 12,50% no cumplió en 4 de los 4 muestreos realizados. La temperatura superficial del agua fue 18,8°C, en Pamplona en promedio y Cúcuta y Los Patios de 26°C en promedio, dependiendo del lugar, altitud, y condiciones atmosféricas (Tabla 1).

Características hidrosanitarias de los centros analizados

La información recolectada del personal de las instituciones educativas visitadas y la observación en campo permitieron conocer las condiciones de almacenamiento y tratamiento del agua al interior de

ellas. De los datos obtenidos se pudo inferir que la mayoría de las instituciones educativas tienen más de 20 años de antigüedad (95,00%). Solo en el 40,00% de ellas se recolectó información relacionada con la realización de mejoras en las tuberías de conducción del agua, observándose similar situación entre los tres municipios. En el 60,00% de las instituciones la ubicación de los tanques es aérea, principalmente en el municipio de Pamplona, donde todas las instituciones poseen este tipo de infraestructura. Por otra parte, en el municipio de Los Patios predominan los tanques subterráneos (80,00%), mientras que, en las instituciones ubicadas en el municipio de Cúcuta, la proporción de tanques aéreos o subterráneos es similar. El material predominante en los tanques de almacenamiento es combinado, es decir, de plástico y cemento a la vez. Este tipo de tanques se observó con mayor frecuencia en instituciones de los municipios de Los Patios y Pamplona (80,00% y 60,00% respectivamente). Un dato importante es que la mayoría de los tanques de almacenamiento de agua en las instituciones cuentan con tapa. Se observó también falencias respecto a la frecuencia de mantenimiento, ya que la mayor parte de las instituciones lo realizan una vez al año (55,00%), siendo este un factor de riesgo con mayor frecuencia en instituciones educativas de Cúcuta. Respecto a los elementos de limpieza y desinfección usados en los tanques, el cloro en combinación con jabón son los más utilizados en las instituciones (35,00%). La mayor parte de funcionarios encuestados reconoce e identifica los espacios donde se realiza la potabilización del agua. Apenas en el 20,00% de las instituciones informaron la realización de análisis microbiológico y solo en el 5,00% de análisis físico químico del agua ([Tabla 2](#)).

En la [Tabla 2](#), se recopiló la información por porcentajes, de los 20 centros educativos, teniendo en cuenta que en Cúcuta fueron 10 lugares, en Pamplona 5 y en Los Patios 5. Por ello al mencionar en dicha tabla, Pamplona, con un 40,00%, se refiere a 2 de los centros educativos, mientras que en Cúcuta el 40,00% se refiere a 4 de los lugares muestreados.

Análisis microbiológico

En relación con a búsqueda de microorganismos, en este estudio se identificaron hallazgos con valores atípicos entre mediciones, principalmente en las instituciones educativas ubicadas en Cúcuta. De acuerdo a los datos obtenidos, se logra apreciar que solo 22,50% del total de muestras analizadas se encontraba en el rango de numero de microorganismos permitido de acuerdo a la normatividad vigente (<100 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) / 100 ml)²⁵. Por otra parte, solo el 25,00% de las entidades mostraron al menos cumplir una vez con el valor establecido y solo 1 de las 20 instituciones (centro educativo ubicado en Pamplona) exhibió el cumplimiento de la norma en los 4 muestreos, mientras que el 45% de los centros no cumplieron con la norma en las cuatro ocasiones ([Tabla 3](#)).

Aerobios mesófilos

De acuerdo con la información contenida en la tabla 3, se logra apreciar que las muestras de agua que excedieron en mayor proporción con conteos de 1920, 1000, y 992 UFC/100 ml provenían de los centros educativos 12, 13 y 19 de la ciudad de Cúcuta, siendo esto sinónimo de una mayor contaminación por el analito de Aerobios mesófilos.

Coliformes totales y fecales

Con relación a la presencia de estos microorganismos la situación dista mucho de lo observado con *E. coli*. En solo dos instituciones se observó en los 4 muestreos cumplimiento de la norma, es decir, ausencia de coliformes totales, lo que corresponde al 10,00% de los centros analizados. Visto de otra manera, solamente el 27,50% de las muestras analizadas estuvieron dentro del rango establecido en la normativa.

Como cabría de esperar, los hallazgos en cuanto a la presencia de coliformes fecales en el agua de consumo de las instituciones estudiadas, fueron similares a los resultados para coliformes totales en relación con el número de entidades en las que no se encontró presencia de estos microorganismos en ninguno de los 4 muestreos realizados, encontrando así que solo un 15,00% de los colegios cumplieron estas características. Sin embargo, analizando los hallazgos desde una perspectiva global, el 60,00% del total de muestras cumplió con la normatividad. Es llamativo los altos valores de UFC hallados para estas bacterias en todos los muestreos realizados en la entidad #20 ([Tabla 3](#)).

Tabla 1. Características físico-químicas del agua de consumo, tomadas *in situ*

Código	Analisis fisicoquimico <i>in situ</i>											
	Muestreo 1			Muestreo 2			Muestreo 3			Muestreo 4		
	T °C	PH	Cloro	T °C	PH	Cloro	T °C	PH	Cloro	T °C	PH	Cloro
1	17,3	7,3	0	16,7	7,3	0	21	8,6	0	21,3	9,5	0
2	16,5	7,4	1,5	17,8	7,2	0,9	17,2	8,8	0,2	18,2	8,6	1,5
3	18,6	7,1	0	19,1	7,3	0	16,9	9,3	0	18,9	8,8	0
4	16,5	6,5	0	17	6,8	0	16,2	9,7	0	17,6	9,4	0
5	16,8	7	1	17,5	7,5	1,2	17,4	8,4	0	19,2	8,4	0
6	26,9	7,2	0	29,5	8,5	0	27,2	8,6	0	25,9	8,6	0
7	10,1	8,8	0	28,3	9	0	10,7	9	0	26,6	8,7	0
8	27,2	8,8	0	28,1	8,9	0	25,7	8,4	0	25,8	9,2	0
9	27,5	8,1	2	29,1	8,2	2	25,4	7,8	2	28	8,4	2
10	27,9	8,6	0	29	8,5	0	27,5	8,5	0	26,5	8,8	0
11	26,6	7,8	0,9	27,1	9,1	0,7	25,3	8,7	1,5	27,2	7	2
12	26,3	8,2	1,5	27,1	8,6	0,5	25,7	8,6	1	26,9	7,3	1,2
13	27,2	7,1	1	26,9	8,6	1,5	26,5	8,5	1,2	27,3	8	1,2
14	26,8	8,9	0,1	27,7	9,1	0,2	26,4	8,5	0	27,8	8	0
15	25,2	5,7	0	11,9	8,5	0	27,1	8,6	0	21,9	8,2	0
16	23,6	8,5	0	24,6	9,2	0	17,1	8,8	0	21	8,9	0
17	29,9	8,8	0	28,4	9,2	0	27,1	8,7	0,5	27,1	8,6	0
18	26,5	7,7	0,3	27,1	8,6	1,2	26,1	8,5	1,7	26	8,3	0
19	21,5	8,6	0	22,9	8,4	0	25,7	8,4	0	23	8,3	0
20	27	9	0	23,4	8	0	26	9	0	25	8	0

Parámetros admisibles (resolución 2115 de 2007): Cloro Residual 0,3 a 2,0 mg/L PH entre 6,5 a 9,0

Tabla 2. Condiciones de almacenamiento y tratamiento del agua de las instituciones educativas estudiadas

Variable	Municipio			
	Pamplona	Los Patios	Cúcuta	Total
Mejoras en tuberías de agua				
Si (%)	40	40	40	40
No (%)	60	60	60	60
Ubicación de los tanques				
Aéreo (%)	100	20	60	60
Subterráneo (%)	0	80	40	40
Material de los tanques de almacenamiento				
Plástico (%)	40	20	30	30
Cemento (%)	20	20	40	30
Ambos (%)	60	80	30	50
Los tanques cuentan con tapa				
Si (%)	60	100	90	85
No (%)	40	0	100	60
Frecuencia de mantenimiento a tanques				
Cada 4 meses (%)	0	0	20	10
Cada 6 Meses (%)	40	80	10	35
Cada 12 meses (%)	60	20	70	55

Variable	Municipio			
	Pamplona	Los Patios	Cúcuta	Total
Elementos utilizados para la limpieza/desinfección				
Jabón (%)	0	20	20	15
Cloro (%)	20	40	40	35
Jabón / cloro (%)	40	40	30	35
Otros (%)	40	0	10	15
Quejas por parte de los estudiantes				
Si (%)	20	0	10	10
No (%)	80	100	90	90
Conocimiento sobre donde potabilizan el agua				
Si (%)	60	100	90	85
No (%)	40	0	10	15
Conocimiento sobre realización de análisis de laboratorio				
Si (%)	40	0	20	20
No (%)	60	100	80	80
Realización de toma de temperatura, pH y Cloro residual				
Si (%)	0	0	10	5
No (%)	100	100	90	95

Tabla 3. Análisis de la presencia de aerobios mesófilos, Coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*, en el agua de consumo

Código institución	Aerobios máximo 100 UFC/100ml				Coliformes Totales 0 UFC/100 ml				Coliformes fecales 0 UFC/100 ml				<i>E. coli</i> 0 UFC/100 ml			
	Muestreos				Muestreos				Muestreos				Muestreos			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	10	0	44	50	0	0	32	25	0	0	1	0	0	0	0	0
2	49	116	152	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	16	100	16	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	12	160	112	105	0	24	20	18	0	12	1	0	0	0	0	0
5	*100	100	72	20	80	72	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
6	86	152	*100	*100	20	20	*100	8	20	12	0	0	0	0	0	0
7	*100	*100	0	*100	1200	84	0	240	0	3	0	40	0	0	0	0
8	*100	*100	*100	*100	488	336	0	48	0	0	0	4	0	0	0	0
9	37	51	*100	*100	0	0	*100	12	0	0	0	0	0	0	0	0
10	*100	*100	*100	*100	31	36	*100	80	0	2	16	0	0	0	0	0
11	*100	*100	*100	*100	30	1120	264	52	30	0	12	0	0	0	0	0
12	*100	992	*100	*100	2	280	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13	*100	1920	*100	*100	12	112	16	0	4	0	0	0	0	0	0	0
14	98	*100	*100	*100	14	180	0	40	5	0	0	4	0	0	0	0
15	200	*100	*100	*100	90	100	2100	40	0	28	0	0	0	0	0	0
16	106	210	240	*100	4	10	8	*100	4	2	8	0	0	0	8	0
17	*100	18	392	*100	2	16	14	12	2	1	14	0	2	0	14	0
18	104	254	300	*100	29	0	12	8	29	10	12	0	29	0	12	0
19	86	301	1000	*100	86	5	40	35	0	5	40	35	0	0	40	0
20	*100	*100	*100	*100	*100	*100	*100	*100	20	140	182	150	0	0	0	0

*=cuando los recuentos fueron incontables y se consideró conteo estimado, por la agrupación de las colonias.



Escherichia coli

En los casos en los que se evidenció el crecimiento, las muestras provenían siempre de instituciones educativas del municipio de Cúcuta, observándose un valor máximo de 40 UFC/100 ml ([Tabla 3](#)).

Salmonella spp y Pseudomonas spp

Salmonella spp es un microorganismo con una fuerte asociación a contaminación de fuentes alimenticias o hídricas. Esta bacteria se halló en solo el 10% de las entidades estudiadas y solo una vez. La institución #20 mostró presencia de *Pseudomonas* spp en todos los muestreos ([Tabla 4](#)).

En la resolución 2115 de 2007²⁵ no se contempla la búsqueda de *Salmonella* spp y de *Pseudomonas* spp, aun así, se realizaron los análisis para estos microorganismos, encontrándose en al menos una institución educativa de cada municipio en alguno de los cuatro muestreos realizados. Interesantemente, al igual que el análisis realizado en cuanto a la presencia de coliformes fecales, la institución #20 mostró presencia de *Pseudomonas* spp en todos los muestreos realizados ([Tabla 4](#)). Los menores promedios de las UFC para esta bacteria se observaron en instituciones educativas del municipio de Pamplona.

Tabla 4. Análisis de la presencia de *Salmonella* spp y *Pseudomonas* spp en el agua de consumo

Código de las instituciones educativas	Salmonella spp. Ausencia ó presencia en 25 ml				<i>Pseudomonas aeruginosa</i> bact/ ml (NMP*)			
	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
	A	A	A	A	0	0	9	9
1	A	A	A	A	0	0	43	43
2	A	A	A	A	0	7	43	43
3	A	A	A	A	0	0	0	0
4	A	A	A	A	0	0	0	0
5	A	A	A	A	0	0	0	0
6	A	A	A	A	0	0	0	0
7	A	A	A	A	0	0	21	21
8	A	A	A	A	0	0	23	0
9	A	A	A	A	0	0	23	0
10	A	A	A	A	0	0	11	0
11	A	A	A	A	0	0	21	0
12	A	A	A	A	0	0	21	0
13	A	A	A	A	0	0	93	0
14	P	A	A	A	0	0	0	21
15	P	A	A	A	7	7	0	0
16	A	A	A	A	0	2400	0	0
17	A	A	A	A	7	0	0	0
18	A	A	A	A	0	0	0	0
19	A	A	A	A	7	2400	0	0
20	A	A	A	A	7	7	7	7

*NMP: Número más probable . A: Ausencia. P: Presencia.

Discusión

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en sus guías para calidad del agua potable²⁶, la Directiva 98/83/ del Consejo de la Unión Europea²⁷, las normas sanitarias que rigen para cada país, y en Colombia el Ministerio de Protección Social con la resolución 2115 de 2007²⁵, establecen que el agua para el consumo humano debe cumplir con requisitos físicos, químicos y microbiológicos. El agua es apta para consumo si se encuentra exenta de microorganismos patógenos²⁸.

En este trabajo se comprobó la presencia de mesófilos en valores superiores a los exigidos, evidenciando su presencia en una frecuencia del 77,5%, en otros estudios los aerobios mesófilos superaron el 56% de los análisis realizados por Pacheco Marza en 2023²⁹. En comparación a esto, Obando et al. 2019, afirman que evaluar la calidad del agua implica, la revisión de su naturaleza, química, física y biológica en relación a la calidad natural, los efectos humanos y usos, también que la búsqueda de los agentes patógenos que se vehiculizan por el agua constituyen un problema mundial³⁰. En varios países del África subsahariana han adoptado las directrices de la (OMS) sobre calidad del agua potable, Guidelines from Drinking Water Quality (GDWQ) para el diseño de su programa de muestreo³¹.

De acuerdo con Yahya Y. Omar et al., 2017, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Asociación Internacional del Agua (IWA) promueven un enfoque de gestión preventiva de riesgos para lograr proporcionar agua potable segura a través de "Planes de Seguridad del Agua" (PSA)³². Estos abarcan etapas del suministro de agua³². En estudio realizado por Setty, et al. en 2017 se evaluaron los resultados de la aplicación de estos planes en los sistemas de agua potable de Francia y España a través de un análisis de la calidad y de los indicadores de cumplimiento entre 2003 y 2015³³. Los indicadores de calidad medidos incluían (*E. coli*, estreptococos fecales, coliformes totales, recuento de placas heterótrofas), desinfectantes (residuos libres y cloro total)³³. La aplicación de los planes mejoró la calidad del recurso y el cumplimiento de los umbrales en la mayoría de los lugares. Los efectos adversos identificados fueron menores, lo que aumentó el peso de la evidencia de que el plan ofrece beneficios de rendimiento operacional³³. Las investigaciones futuras deben centrarse en la determinación de factores que favorecen la aplicación satisfactoria del enfoque del PSA y en la identificación de las mejores prácticas. Diduch et al.³⁴ en 2016 mencionan que un grupo de microorganismos que viven en las aguas subterráneas son bacterias heterótrofas. Las concentraciones de materia orgánica disponible en el medio ambiente (condiciones oligotróficas) es característico de los microorganismos heterótrofos transmitidos por el agua.

En Colombia se hacen exigencias respecto a la calidad del agua a fin de mantener un control y realizar los esfuerzos por el cumplimiento de condiciones que hacen apta al agua para consumo. Suescún en el 2021, menciona que las bacterias aerobias mesófilas presentan un bajo recuento disminuyendo la probabilidad de generar efectos adversos tanto al consumidor como a la calidad del agua, gracias a la concentración de cloro es posible mantener este control en los microorganismos³⁵.

En este trabajo se hallaron coliformes y *Escherichia coli*, por encima de los parámetros definidos por la norma (0 UFC/100 ml), en al menos uno de los muestreos realizados en todas las instituciones, con menor promedio en Pamplona. Investigaciones desarrolladas por Cueva en 2021, donde pretendieron realizar remoción de coliformes totales en agua almacenada, hallaron que se puede determinar que el agua que consumen los moradores de la Urb. El Rosal de San Diego presenta coliformes totales y no es apto para el consumo humano. Según los Límites Máximos Permisibles (LMP) del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA³⁶, al igual que para *E. coli*³⁷. De acuerdo al estudio realizado por Estupiñan et al., 2020, donde

revisaron características bacteriológicas y físicas para agua de consumo en el Municipio de Une en Cundinamarca, se hallaron para *Escherichia coli* recuentos entre 32 y 65 UFC/100 ml en 10 muestras (76,9%), reflejando así el incumplimiento de la normativa colombiana, y sustentan que la presencia de bacterias coliformes fecales o de *E. coli* en un sistema de agua indica una contaminación reciente provenientes de heces humanas o animales de alcantarillas, sistemas sépticos y corrales o patios de animales, entre otros³⁸. Lucas L et al., 2018, en Ecuador, revelan que desde el punto de vista microbiológico, la presencia de coliformes totales y fecales demuestran problemas en todas las localidades estudiadas, alcanzando valores que excedían los niveles permisibles en aguas destinadas al consumo humano³⁹. Se observó, través de un estudio desarrollado en Ecuador, que existe contaminación con las bacterias *Escherichia coli* del serotipo O157:H7 en un 80% (40/50).

Existen factores ambientales causantes de la contaminación del agua y que son procedentes de la actividad humana, siendo los vertidos o desechos de los procesos industriales, plantas de tratamiento de aguas imperfectas, fugas de oleoductos o derivados del petróleo, eliminación o vertidos de basura en especial plásticos⁴⁰. Estas evidencias ratifican la necesidad de la revisión sistemática y regular de todo el sistema de red de suministro de aguas, la fuente, los tratamientos de potabilización la distribución y almacenamiento adecuado, así como el control y seguimiento.

Dentro del grupo de enterobacterias capaces de formar biopelículas en las redes de suministro de agua, se encuentran los géneros *Shigella* y *Salmonella*, causantes de disentería bacilar; *Salmonella enterica* ser. *Typhimurium* y *Salmonella enterica* ser. *Typhi* productoras de gastroenteritis y fiebre tifoidea, respectivamente¹⁷. La presente investigación tuvo como uno de sus objetivos realizar la búsqueda de *Salmonella* spp, debido al importante papel que ejercen poniendo en riesgo la salud pública. Estudios realizados en 2020 indican que en las biopelículas, las bacterias viven agrupadas en acúmulos celulares tridimensionales, constituidos por células bacterianas aeróbicas y anaeróbicas, y que si bien son muchos los factores que influyen en la formación de biopelículas, el material con el que está construida una tubería es uno de los más importantes, afectando no sólo la cantidad de microorganismos sino también la estructura de la comunidad microbiana de las mismas, además es fundamental el entendimiento y comprensión de cada uno de estos factores y su efecto en conjunto, para la búsqueda de soluciones a problemas relacionados con la presencia de las biopelículas en estos sistemas de distribución^{41,42}. Kovačić et al., 2017, lograron el aislamiento de *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar *Enteritidis* en muestras de heces de pacientes que consumieron agua no tratada y aguas subterráneas⁴³. Por su parte Douterlo et al., 2018, infiere que las biopelículas permiten grandes ventajas a los microorganismos, como compartir los nutrientes y productos metabólicos y facilitar la resistencia al estrés ambiental⁴⁴. Las biopelículas pueden afectar directamente a la infraestructura de los sistemas de distribución a través de la biocorrosión de las tuberías metálicas y también porque modifican las características generales del agua, el aire y el suelo.

En este estudio se observó una elevada presencia de *Pseudomonas*. Esta bacteria presenta una temperatura óptima de 30°C a 37°C, lo que le permite sobrevivir en numerosos ambientes, siendo muy fácil de encontrarla en medios acuáticos y terrestres. Estos hallazgos resaltan la necesidad de ejecutar un buen mantenimiento del sistema de distribución de agua¹². La resistencia al cloro del género *Pseudomonas* superior a la de otros microorganismos y que además poseen la capacidad de inhibir coliformes, indicadores de contaminación más comúnmente usados; por tanto, existe gran probabilidad de consumir agua con índice de coliformes cero, que podrían estar inhibidos por bacterias del género *Pseudomonas* favoreciendo de este modo la colonización entérica. Una fuente local de contaminación puede convertirse en un problema de salud regional. El 68,75% de las aguas analizadas presentaron niveles de pH dentro de los rangos que establece la resolución

2115 de 2007²⁵ y la temperatura varió de acuerdo al municipio. Los niveles de cloro se encontraron bajos en un 50% de las instituciones evaluadas, estableciéndose que en 10 de las 20 instituciones no se mantiene el nivel de cloro residual requerido, situación que propicia un ambiente ideal para el crecimiento bacteriano y la formación de biopelículas y que se correlaciona directamente con la presencia elevada de aerobios mesófilos, coliformes totales, fecales y *Pseudomonas aeruginosa*.

Aunque la normativa colombiana no exige la búsqueda de *Pseudomonas* spp. y *Salmonella* spp. en el agua de consumo, la inclusión de la búsqueda de estos dos microorganismos en este trabajo aporta una visión más completa de la calidad microbiológica del agua en los centros educativos, esto con el ánimo de sentar precedente y así incitar a que este abordaje sea replicado en otros escenarios más extensos. Este enfoque integral es crucial para identificar múltiples riesgos y diseñar estrategias de mitigación efectivas.

Conclusión

El estudio sobre la identificación de bacterias patógenas en el agua de consumo en centros educativos de Norte de Santander pone de manifiesto la relevancia de la salud pública en la protección de las poblaciones más vulnerables. La implementación de medidas correctivas basadas en estos hallazgos no solo apoyará en procesos para mejorar la calidad del agua, sino que también reforzará la salud y el bienestar de los estudiantes, contribuyendo así a un entorno educativo más seguro y saludable.

Se logró caracterizar en cada centro educativo, las condiciones de almacenamiento del agua mediante encuestas y perfil de cumplimiento, basado en exigencias de la normativa colombiana.

Se reconocieron las características físico -químicas in situ, mediante medición de cloro residual, pH y temperatura del agua, hallando diversos datos, e incumplimientos en la calidad del agua, que llevarían a posibles enfermedades por el consumo de agua no apta.

Se identificaron patógenos bacterianos, mediante las técnicas apropiadas, lo cual evidenció las fallas en los procesos de recepción y almacenamiento del agua, así como la necesidad de mayor seguimiento a los filtros que instalan en dichos centros, para que los estudiantes realicen el consumo directo de estos dispositivos, y que, con lo hallado respecto a crecimiento de coliformes, *Escherichia coli*, *Pseudomonas* spp y *Salmonella* spp, posiblemente existan casos de enfermedades no solo en estudiantes, sino en el personal que labora en estos centros educativos.

Los hallazgos de este estudio fungen como insumo para la implementación de políticas públicas y programas de salud dirigidos a mejorar la infraestructura de tratamiento de agua en los centros educativos. Esto incluye la capacitación del personal de mantenimiento y la adopción de tecnologías más avanzadas de potabilización.

La identificación de contaminantes microbianos subraya la importancia de cumplir con las normativas de calidad del agua. Las deficiencias en el proceso de potabilización indican la necesidad de mejorar las prácticas de tratamiento y almacenamiento del agua.

Conflicto de Interés: Los autores refieren no tener conflicto de interés en ningún aspecto para la publicación del artículo.

Financiación: La Universidad de Santander financió el proyecto de convocatoria interna, en el año 2018.



Agradecimiento: A la Universidad de Santander, al Grupo de Investigación Crisálida, Semillero Orugas, y a cada uno de los centros educativos de Cúcuta, Los Patios y Pamplona.

Referencias

1. **Adams J, Bartram J, Chartier Y, Sims J, and W.H. Organization.** Normas sobre agua, saneamiento e higiene para escuelas en contextos de escasos recursos. 2010. Consulta: Mayo 20, 2024. Disponible en: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44349/9789243547794_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
2. **Koncagül E, Tran M, Connor R.** The United Nations world water development report 2021: valuing water; facts and figures.[Internet] 2021. [Cited: May 20 2024]. Available from: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751>
3. **Alba R. JD, Ortega S. JL, Álvarez H. G, Cervantes F. M, Ruiz B. E, Urtiz E. N, et al.** Riesgos microbiológicos en agua de bebida: una revisión clínica. *Química Viva*, 2013;12(3):215-233. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86329278004.pdf>
4. **Orobito AOA, Osorio VOV, Rodríguez NRN, Ramírez NRN, León LLL, Hernández NHN, et al.** Problemas y desafíos que afronta Colombia respecto a la salud ambiental, un enfoque basado en el plan decenal de Salud. *Biociencias*, 2017;1(1) Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/Biociencias/article/view/2220/2380>
5. **Martinez K, Caballero R, Díaz E, Pérez K, Suarez E.** Evaluación de la calidad del agua en restaurantes de la ciudad de San José de Cúcuta, de diferentes estratos, para contribuir con la seguridad alimentaria. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 2015;13(1):66-71 <http://dx.doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2015.1651>
6. **Iñiguez-Muñoz LE, Anaya-Esparza LM, Castañeda-Villanueva AA, Martínez-Esquivias F, Carvajal-Hernández M, Mendez-Robles MD.** Calidad microbiológica del agua potable utilizada en escuelas públicas de la ciudad de Tepatitlán, Jalisco. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 2022;8(15):33-39 Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icap/article/view/7958/8718>
7. **Ravelo CU.** Estimación de la calidad microbiológica (indicadores bacteriológicos) del agua de consumo en puntos de suministro en escuelas ubicadas en municipios del estado Bolívar, Venezuela. *Guayana Moderna*, 2019.8(8):7-17 <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/guayanamoderna/article/download/5368/4551/18173>
8. **Nicora B, Barranquero RS, Etcheverría SG, Tabera A, Quiroga M, Landa R, et al.** Evaluación integral de la gestión del agua subterránea en escuelas rurales en Tandil, Argentina. *Revista de Ciencias Ambientales*, 2021;55(1):294-316 <http://dx.doi.org/10.15359/rca.55-1.14>
9. **Mucinhato RMD, Zanin LM, Carnut L, Quintero-Flórez A, Stedefeldt E.** Inocuidad y calidad del agua y alimentación escolar: enfoques en América Latina y el Caribe. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 202;46:e28 <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.28>
10. **Rodríguez Rueda V, Monroy Vargas ER, Bedoya Ríos DF, Bohórquez Joya MA.** Implementación de un sistema de tratamiento individual para mejorar la calidad del agua de la vereda Sabaneta Alta, San Francisco, Colombia. *INVENTUM*. 2022;17(32):78-85 <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.17.32.2022.78-85>
11. **Guzmán BL, Nava G, Díaz Bevilacqua P.** La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbitimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica*. 2015;35(2):177-190. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2511>
12. **Rodríguez SC, Asmundis CL, Ayala MT, Arzú OR.** Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme (Corrientes, Argentina). *Revista veterinaria*. 2018;29(1):9-12 <http://dx.doi.org/10.30972/vet.2912779>
13. **Liu G, Zhang Y, Knibbe WJ, Feng C, Liu W, Medema G, et al.** Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution: A review. *Water research*. 2017;116:135-148 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.031>
14. **Acevedo Osorio GO, Duran Ospina P, Betancourt CL.** Calidad microbiológica del agua en dos instituciones de salud del eje cafetero, Colombia 2015. *Archivos de Medicina (Manizales)*. 2016;16(2):246-256 <https://www.redalyc.org/pdf/2738/273849945004.pdf>

- 15. Ministerio de la Protección Social.** Decreto 1575. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Mayo 9 2007. Consulta: Febrero 11, 2025. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007#:~:text=El%20objeto%20del%20presente%20decreto,consumo%2C%20exceptuando%20el%20agua%20envasada>
- 16. Instituto Nacional de Salud.** Boletín de Vigilancia del Agua para consumo Humano. 2020. Consulta: Mayo 20, 2024. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/boletin-vigilancia-calidad-del-agua-octubre-2020.pdf>
- 17. Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid RM, Gutiérrez-Builes LA.** Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 2017;35(2):236-247 <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- 18. Rueda Ariza JC, Martínez AJ, Calvo DC.** Efecto del desprendimiento de las biopelículas formadas en una red de acueductos sobre la calidad del agua. *Revista de Ingeniería*, 2013;(39):6-11 http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932013000200002#:~:text=El%20desprendimiento%20de%20las%20biopel%C3%ADculas,Jorand%20%26%20Block%2C%202003
- 19. Gurgel RS, da Silva LS, Silva LA.** Investigação de coliformes totais e Escherichia coli em água de consumo da comunidade Lago do limão, Município de Iranduba-AM. *Brazilian Applied Science Review*. 2020;4(4):2512-2529 <https://doi.org/10.34115/basrv4n4-028>
- 20. Hernández Urzúa MÁ.** Microbiología de los alimentos: fundamentos y aplicaciones en ciencias de la salud. 2016: Editorial Médica Panamericana.
- 21. ICONTEC.** Norma Técnica NTC Colombiana 4772. Calidad del agua. Detección y re-cuento de Escherichia coli y coliformes: Parte 1: Método de filtración por membrana. Consulta: Febrero 11, 2025. Disponible en: <https://tienda.icontec.org/gp-calidad-del-agua-deteccion-y-recuento-de-escherichia-coli-y-de-bacterias-coliformes-parte-1-metodo-de-filtracion-por-membrana-ntc4772-2008.html>
- 22. ICONTEC.** Norma Técnica NTC Colombiana 4940. Calidad del agua. Enumeración de pseudomonas aeruginosa. Técnica del número más probable, NMP. 2001. Consulta: Mayo 20, 2024. Disponible en: <https://docplayer.es/159691682-Norma-tecnica-colombiana-4940.html>
- 23. ICONTEC.** Norma Técnica NTC Colombiana 4574. Método horizontal para la detección de Salmonella spp. 2007. Consulta: Mayo 20, 2024. Disponible en: <https://archive.org/details/manualzillaid-6211278>
- 24. Martínez-Marciales KP, Soto JA.** Identificación microbiológica de patógenos en aguas de centros educativos de Norte de Santander. *Mendeley Data V1* 2024. <https://doi.org/10.17632/j9f93ffsxj.2>
- 25. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección social.** Resolución 2115 de 2007 (junio 22). 2007. Consulta: Mayo 20, 2024. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>
- 26. Organización Mundial de la Salud.** Guías para la calidad del agua potable. 2011. Consulta: Mayo 20, 2024. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- 27. Consejo de la Unión Europea.** Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. *DOCE L*. 1998; 330:05-12. <https://www.boe.es/DOUE/1998/330/L00032-00054.pdf>
- 28. Franco PA, López LA, Orozco ME.** Calidad microbiológica del agua destinada para consumo humano en siete municipios de la región Caribe Colombiana. *Ciencia Actual*; 2011;1(2):84-93 https://www.researchgate.net/publication/305193670_Microbiological_quality_of_water_intended_for_human_consumption_in_seven_municipalities_in_the_Colombian_Caribbean_region
- 29. Pacheco Marza OM, Martínez Sanchez O.** Calidad microbiológica de aguas de mesa en los mercados los pozos y la ramada de la ciudad Santa Cruz junio 2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*. 2023;7(1):5491-5508. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4842
- 30. Obando JA, Murillo DF, Hernandez CA, Torres DM, Cárdenas D.** La Gobernanza del agua y su calidad en tres acueductos de Villavicencio (Colombia). *Revista espacios*. 2019;40(30):10. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n30/a19v40n30p10.pdf>
- 31. Taylor DDJ, Khush R, Peletz R and Kumpel E.** Efficacy of microbial sampling recommendations and practices in sub-Saharan Africa. *Water research*. 2018;134:115-125. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.054>

- 32. Omar YY, Parker A, Smith JA, Pollard SJ.** Risk management for drinking water safety in low and middle income countries-cultural influences on water safety plan (WSP) implementation in urban water utilities. *Science of the Total Environment*. 2017; 576:895-906. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.131>
- 33. Setty KE, Kayser GL, Bowling M, Enault J, Loret JF, Serra CP, et al.** Water, quality, compliance, and health outcomes among utilities implementing Water Safety Plans in France and Spain. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2017;220(3):513-530. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.02.004>
- 34. Diduch M, Polkowska Z, Namieśnik J.** The role of heterotrophic plate count bacteria in bottled water quality assessment. *Food Control*, 2016;61:188-195. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.024>
- 35. Suescun Gamboa KC.** Análisis microbiológico y fisicoquímico del azúcar, agua potable y agua envasada [Trabajo de Grado Pregrado] Universidad de Pamplona: Repositorio Hulago Universidad de Pamplona;2021. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/3612>
- 36. Arriaza AE, Waight SE, Contreras CE, Ruano AB, López A, Ortiz D.** Determinación bacteriológica de la calidad del agua para consumo humano obtenida de filtros ubicados dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia*. 2015; 25(2):21-29. <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v25i2.88>
- 37. Cueva Díaz A.** Remoción de coliformes totales en agua almacenada en tanques elevados domésticos mediante nanoburbujas de aire [Tesis de Grado Pregrado Ingeniería Ambiental] Perú: Universidad Privada del Norte; 2021. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28062>
- 38. Estupiñán-Torres SM, Ávila de Navia SL, Barrera Aguirre D, Baquero Torres R, Díaz Ibañez DA, Rodríguez Ramírez HA.** Características bacteriológicas, físicas y pH del agua de consumo humano del municipio de Une-Cundinamarca. *Nova*. 2020;18(33):101-112. <https://doi.org/10.22490/24629448.3702>
- 39. Lucas L, Carreño A.** Calidad de agua de consumo humano en las comunidades Balsa en Medio, Julián y Severino de la microcuenca Carrizal, Ecuador. *Revista II GEO*. 2018;21(42). <https://doi.org/10.15381/iigeo.v21i42.15785>
- 40. Ramos Mancheno ADJ.** Efectos del consumo de agua contaminada en la calidad de vida de las personas. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*. 2024;9(1):614-632. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i1.6396>
- 41. Kilb B, Lange B, Schaule G, Flemming HC, Wingender J.** Contamination of drinking water by coliforms from biofilms grown on rubber-coated valves. *International journal of hygiene and environmental health*. 2003;206(6):563-573. <https://doi.org/10.1078/1438-4639-00258>
- 42. Wingender J, Flemming HC.** Contamination potential of drinking water distribution network biofilms. *Water Science and Technology*, 2004;49(11-12):277-286 <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0861>
- 43. Kovačić A, Huljev Ž, Sušić E.** Ground water as the source of an outbreak of *Salmonella Enteritidis*. *Journal of epidemiology and global health*. 2017;7(3):181-184 <https://doi.org/10.1016/j.jegh.2017.05.001>
- 44. Douterelo I, Fish KE, Boxall JB.** Succession of bacterial and fungal communities within biofilms of a chlorinated drinking water distribution system. *Water Research*. 2018;141:74-85. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.058>