



Evaluación de la eficiencia del acueducto comunitario de la vereda Sáname en Fosca
Cundinamarca

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA SALUD.
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA.

TRABAJO DE GRADO.
BOGOTÁ, MAYO 2025



*Evaluación de la eficiencia del acueducto comunitario de la vereda Sáname en Fosca
Cundinamarca.*

LAURA SOFIA ORJUELA GARAY

CAROL VANESSA FORERO VARGAS

ASESORES:

LADY MARICELL CASALLAS RODRIGUEZ.

VANESSA CABALLERO MEJIA.

**UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA**

TRABAJO DE GRADO

BOGOTÁ, MAYO 2025



Evaluación de la eficiencia del acueducto comunitario de la vereda Sáname en Fosca
Cundinamarca

APROBADO:

JURADOS:

ASESORES:

LADY MARICELL CASALLAS RODRIGUEZ.

VANESSA CABALLERO MEJIA.

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA
TRABAJO DE GRADO

BOGOTÁ, MAYO 2025

DEDICATORIA

SOFIA ORJUELA:

“Dedico este trabajo, ante todo, a mi madre, quien con su amor infinito, sacrificio incansable y ejemplo de fortaleza ha sido el motor de mi vida. Gracias mamá por enseñarme a luchar con valentía, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por acompañarme con tu apoyo incondicional en cada paso de este camino. A mi papá por darme siempre motivación, nunca dudar de mí y hacerme sentir que siempre estará orgulloso de mí sin importar la situación, por cada sonrisa en los momentos más difíciles y por su disposición para ayudarme siempre. A mis abuelos, quienes con su ternura, sabiduría y oraciones han sido mi refugio y mi guía. Gracias por transmitirme valores, por su cariño inagotable y por recordarme siempre que la familia es el mayor tesoro que uno puede tener. A mis tíos Heidy y Orlando, por ser mis consejeros en este recorrido. Ustedes han sido más que familia: han sido ejemplos de vida y apoyo constante. Gracias por estar presentes en mis alegrías y en mis momentos de dificultad, por darme siempre palabras de ánimo y por creer en mis capacidades aun cuando yo misma dudaba. Este logro también les pertenece, porque cada gesto de confianza y cariño de su parte me dio la fuerza para continuar. A mis niños Martin, Juanjo y Esteban quienes con su inocencia hicieron de este proceso más llevadero sacando una sonrisa cada día. A mi novio, por su amor, comprensión y paciencia, por ser apoyo en mis días de cansancio y por celebrar conmigo cada pequeño logro impulsándome, por ser mi polo a tierra, amarme de la forma más incondicional porque a lo largo de este proceso siempre estuvo ahí sosteniendo mi mano cuando lo necesite. A mis asesoras Lady y Vanessa porque fueron un apoyo constante en este camino. Gracias por creer en nosotras, por acompañarnos con paciencia y por inspirarnos con su entrega y sabiduría a ser no sólo excelentes profesionales, sino también a ser grandes personas. Este trabajo no solo refleja un esfuerzo académico, también refleja el afecto y la gratitud inmensa que siento hacia ustedes.”

“Este trabajo es reflejo de un camino que no recorrí sola, porque en cada paso estuvieron presentes las voces que me alentaron, las manos que me sostuvieron y los corazones que me recordaron que la verdadera grandeza de un logro está en compartirlo con quienes lo hicieron posible. A lo largo de este proceso comprendí que los sueños se hacen más grandes y hermosos cuando se construyen en compañía, porque los sueños alcanzan su plenitud cuando se caminan de la mano de quienes nos inspiran.”

“Con todo mi corazón, a ustedes les entrego este logro.”

VANESSA FORERO:

“Dedico este proyecto principalmente a mis padres, pilares fundamentales de mi vida, cuyo amor incondicional, paciencia y apoyo constante me impulsaron a culminar este sueño. A mi padre, por estar siempre a mi lado y respaldar cada meta y proyecto que emprendí siendo mi más grande apoyo y ayuda en todo este proceso jamás soltando mi mano en el proceso. A mi madre que siempre me recordaba que podía con todo lo que me propusiera y siendo mi soporte en días difíciles. Este logro también pertenece a mi hija Amy Saori, quien desde sus cuatro meses me ha acompañado en este camino académico, comprendiendo a su manera mis largas jornadas, noches en vela, estudios interminables de casos clínicos y exposiciones que no entendía; siempre su sonrisa y amor fueron el motor que me sostuvo incluso en los días más difíciles. Extiendo mi gratitud a mis hermanos, cuñados y abuela por sus palabras de ánimo y compañía incondicional, que fueron luz en los momentos de cansancio. Finalmente, a mis asesoras Lady y Vanessa, quienes con su guía, paciencia y exigencia constante nos orientaron en este proceso, transmitiéndonos no solo conocimiento, sino también confianza y motivación para llegar a la meta.

Hoy cierro este capítulo con la certeza de que no voy sola en el camino y que cada logro lleva un pedacito de ustedes, gracias infinitas.”

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de este proyecto. A nuestras familias, especialmente a nuestros padres, tíos y abuelos, por su incondicional amor; por enseñarnos a nunca rendirnos. En especial a Amy Saori, hija de una de las autoras cuya ternura y amor fueron la mayor inspiración en este camino. A nuestras parejas quienes con su comprensión, aliento supieron estar a nuestro lado en momentos de cansancio y desvelos brindándonos motivación para continuar.

Queremos expresar nuestra profunda gratitud a nuestras directoras de tesis, Lady Maricell Casallas y Vanessa Caballero, quienes con mucha paciencia, dedicación y compromiso nos guiaron en cada etapa de esta investigación con su conocimiento y experiencia que fueron esenciales para dar forma a este trabajo, su apoyo constante académico y humano resultó esencial para superar los mayores desafíos

Finalmente agradecemos a IMPEGNO una marca de microlab quienes con su alta acreditación hicieron posible el análisis de las muestras basados en la normatividad actual, nos abrieron las puertas y nos apoyaron para poder llevar a cabo este lindo proyecto siempre dispuestos a impulsar los proyectos de sus practicantes y no menos importante a la comunidad de la vereda Sáname quienes con su disposición y confianza hicieron posible esta investigación y en especial a la alcaldía municipal de Fosca por siempre estar dispuestos a ayudarnos en este proceso y por confiar en nosotras este proyecto tan importante para la comunidad.

A cada una de las personas que de alguna manera estuvieron presentes en este proceso extendemos nuestra más sincera gratitud . Este logro no es únicamente nuestro, sino de quienes nos acompañaron, creyeron en nosotras y caminaron a nuestro lado en esta etapa tan importante de nuestra vida.

TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
Índice de figuras	7
Índice de tablas	7
Resumen.....	8
INTRODUCCIÓN	9
1 ANTECEDENTES	14
2. MARCO REFERENCIAL	16
2.1 Fosca Cundinamarca	16
2.1.1 Demografía	17
2.2 El agua	17
2.2.1 Distribución del agua.	19
2.2.2 Usos del agua.	19
2.2.3 El agua según la FAO	19
2.2.4 Tipos de agua dulce	19
2.2.5 Potabilización de agua	20
2.3 Características del agua para el consumo humano	21
2.4 Calidad del agua	24
2.5 Los acueductos	24
2.6 Normatividad vigente	26
2.7 Acueductos veredales	26
3 METODOLOGÍA	28
3.1 Universo población y muestra	30
3.2. Hipótesis, variables, indicadores.	31
3.3. Técnicas y procedimientos.	32
4. RESULTADOS	35
4.1 Percepción de la calidad del agua del acueducto comunitario por parte de los usuarios y habitantes de la vereda Sáname del municipio de Fosca Cundinamarca.	35
4.2 Resultados análisis físico-químicos y microbiológicos	37
5. DISCUSIÓN	41
6. CONCLUSIONES	45
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
8. ANEXOS	52
8.1 ANEXO A	52
8.2 ANEXO B	54
8.3 ANEXO C	56
8.4 ANEXO D	59
8.5 ANEXO E	62
8.6 ANEXO F	62
8.7 ANEXO G	63
8.8 ANEXO H	63
8.9 ANEXO I	64

ÍNDICE DE FIGURAS

IMAGEN 1 Mapa Fosca	16
IMAGEN 2 Infraestructura del acueducto veredal de la vereda sáname.....	18
IMAGEN 3 Diagrama del funcionamiento del acueducto.....	26
IMAGEN 4 Diseño de la metodología del trabajo.....	29
IMAGEN 5 Recolección de muestras del acueducto veredal de la vereda Sáname.....	37
IMAGEN 6 Gráficas de las encuestas aplicadas a los usuarios del acueducto.....	38
IMAGEN 7 Gráficas de los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos	42
IMAGEN 8 Análisis microbiológicos de las muestras	44
IMAGEN 9 Análisis microbiológicos de las muestras en agar selectivo.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Relación entre antecedentes teóricos y parámetros evaluados en el estudio.....	15
TABLA 2 Características físicas del agua potable	23
TABLA 3 Características microbiológicas del agua potable.....	24
TABLA 4 Tipos de variables en el estudio de análisis de calidad de agua.....	33
TABLA 5 Resultados análisis físico químicos y microbiológicos.....	41
TABLA 6 Comparación Mx2 y Mx3.....	42
TABLA 7 Recomendaciones a la comunidad	54

RESUMEN

El acceso a agua potable segura es un determinante social de la salud reconocido por la OMS (1) y un derecho humano fundamental según la ONU (2). Sin embargo, en zonas rurales este derecho se ve limitado (3), ya que los acueductos comunitarios carecen de apoyo técnico, financiero y normativo para garantizar la potabilidad del agua (4). En Colombia persisten brechas entre áreas urbanas y rurales (3), donde los acueductos veredales operan con infraestructura deficiente, procesos de potabilización incompletos y escasa vigilancia sanitaria, aumentando la exposición a contaminantes (6) y enfermedades hídricas.

La vereda Sáname, en Fosca, Cundinamarca (14), presenta estas limitaciones. Su fuente, el río Sáname, está sujeta a presiones agropecuarias, vertimientos, deforestación y erosión (16), que incrementan el riesgo de contaminación desde la captación. El análisis se basó en los lineamientos del Decreto 1575 y las Resoluciones 2115 de 2007 y 622 de 2020 (8), incorporando parámetros fisicoquímicos como pH, alcalinidad, cloruros, dureza cálcica y magnésica, así como indicadores microbiológicos: *Escherichia coli*, coliformes totales y *Pseudomonas aeruginosa* (12). También se consideraron la cantidad de agua obtenida, el rendimiento del sistema, las condiciones operativas y la ausencia de reportes regulares de calidad.

Los resultados indican que el acueducto comunitario de Sáname es eficiente en garantizar la calidad microbiológica del agua. Sin embargo, la ausencia de cloro residual en los análisis fisicoquímicos sugiere que, aunque el proceso removió microorganismos durante la cloración, el sistema no posee capacidad de protección ante nuevas contaminaciones.

Palabras claves: Calidad de agua, Fosca Cundinamarca, agua potable, acueductos comunitarios, potabilización de agua, vigilancia y control de calidad de agua.

INTRODUCCIÓN

El agua constituye la base de la vida y un recurso indispensable para garantizar la salud, el bienestar y el desarrollo de las sociedades. Su importancia ha sido ampliamente reconocida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (1), que establece que el agua destinada al consumo humano debe ser segura (2), (3) y no ocasionar ningún daño significativo para la salud cuando se consume a lo largo de toda la vida (4). Este principio ha sido reforzado por la Asamblea General de las Naciones Unidas (5), al reconocer el acceso al agua potable como un derecho humano fundamental (2), estrechamente ligado a otros derechos esenciales como la salud, la alimentación y una vida digna. Sin embargo, a pesar de este reconocimiento, la realidad en muchos territorios rurales de Colombia demuestra que este derecho aún no se garantiza de manera plena y que existen profundas brechas entre el acceso al agua en zonas urbanas y rurales (6).

En Colombia, aunque se han logrado avances importantes en materia de normatividad y desarrollo de tecnologías para el tratamiento de agua, la situación de los acueductos rurales continúa siendo crítica. Según el Instituto Nacional de Salud (INS) (7,8), en el año 2022 cerca del 43% de los acueductos veredales del país no cumplían con la normatividad establecida para garantizar la potabilidad del agua, principalmente debido a la falta de análisis regulares de calidad y a la ausencia de procesos adecuados de tratamiento. Esto evidencia una problemática estructural del agua (1), que impacta directamente la salud pública y la calidad de vida de miles de familias campesinas.

La vereda Sáname, ubicada en el municipio de Fosca, Cundinamarca, representa un caso emblemático de esta situación. Su sistema de abastecimiento de agua corresponde a un acueducto comunitario que se surte directamente del río Sáname, una fuente hídrica de gran importancia para la población local pero que se encuentra expuesta a múltiples factores de

contaminación. Las actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan en la zona generan residuos que, en ausencia de un manejo adecuado, terminan incorporándose al río. A ello se suman los vertimientos domésticos que no cuentan con sistemas de tratamiento, la deforestación progresiva de la cobertura vegetal en las cuencas y los procesos de erosión del suelo que incrementan la turbidez y favorecen la proliferación de microorganismos patógenos(4). Estas condiciones hacen que el agua captada presente un alto riesgo de contaminación microbiológica, lo cual representa una amenaza para la salud de los habitantes que dependen diariamente de este recurso.

Los beneficiarios directos de este estudio son los habitantes de la vereda Sáname, quienes consumen diariamente el agua del acueducto y se exponen a los riesgos asociados a su calidad. Para ellos, los resultados de esta investigación representan una oportunidad para identificar con claridad los posibles peligros sanitarios y promover cambios que contribuyan a mejorar la seguridad del agua que llega a sus hogares. El personal encargado de la operación del acueducto también se beneficia, ya que contará con información precisa sobre los aspectos que requieren corrección, mantenimiento o fortalecimiento. De igual manera, el personal de salud del hospital local podrá usar los hallazgos como insumo para diseñar campañas educativas, programas de prevención y estrategias orientadas a reducir la incidencia de enfermedades de origen hídrico en la población.

Las autoridades municipales y departamentales constituyen beneficiarios indirectos, ya que los resultados del estudio pueden servir como base para la formulación de políticas públicas, planes de inversión en infraestructura y programas de educación ambiental comunitaria. Incluso sectores productivos como la ganadería y la agricultura, que dependen estrechamente del recurso hídrico, pueden resultar favorecidos al contar con un agua de mejor calidad para sus actividades, lo cual contribuye a su sostenibilidad. En este sentido, la evaluación del

acueducto trasciende lo meramente técnico y se convierte en una herramienta para fortalecer la gobernanza local del agua, articular esfuerzos interinstitucionales y fomentar la corresponsabilidad en el cuidado del recurso.

La relevancia de este proyecto no solo radica en diagnosticar la calidad del agua y el estado de la infraestructura (49), sino también en visibilizar las problemáticas que enfrentan los acueductos comunitarios en Colombia. Estas organizaciones, construidas sobre el esfuerzo y la cooperación de las comunidades, han sido históricamente responsables de garantizar el acceso al agua en zonas rurales donde el Estado no ha tenido presencia suficiente. Sin embargo, su permanencia y sostenibilidad dependen de la articulación entre la comunidad, las autoridades y la academia, de modo que se puedan diseñar soluciones que combinen aspectos técnicos, sociales y ambientales.

En este sentido, la investigación sobre la eficiencia del acueducto comunitario de la vereda Sáname se proyecta como un ejercicio académico y social de gran importancia. Por un lado, busca aportar información rigurosa sobre el estado actual del sistema, mediante el análisis de parámetros físicoquímicos como pH, alcalinidad, cloruros, dureza cálcica y magnésica, así como de indicadores microbiológicos tales como *Escherichia coli*, coliformes totales (12) y *Pseudomonas aeruginosa*. Por otro lado, pretende fomentar procesos de sensibilización y educación en la comunidad, de manera que los usuarios comprendan la relevancia de la potabilización, adopten prácticas de cuidado en el hogar y se involucren activamente en la gestión de su acueducto.

En conclusión, la evaluación de la eficiencia del acueducto comunitario de la vereda Sáname en Fosca, Cundinamarca, se configura como un esfuerzo integral que articula la ciencia con la realidad social y ambiental de una comunidad rural. No se trata únicamente de medir la calidad del agua, sino de promover un cambio de conciencia sobre el valor de este recurso y

de proponer alternativas que contribuyan a garantizar el derecho humano al agua potable. Este trabajo, al mismo tiempo, busca ser un insumo para la formulación de políticas locales, el fortalecimiento de la infraestructura comunitaria y la consolidación de una cultura de cuidado del agua que asegure la salud de la población y el desarrollo sostenible del territorio (13).

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la eficiencia del sistema de abastecimiento comunitario de la vereda Sáname del municipio de Fosca Cundinamarca, mediante la valoración de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, antes, durante y después del tratamiento.

Objetivos específicos

- Analizar la percepción de los usuarios del acueducto veredal de Sáname, en el municipio de Fosca, frente a la calidad y seguridad del agua que consumen, con el propósito de identificar posibles necesidades de mejora en el servicio.
- Evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas en las muestras de agua, basados en la normativa vigente.
- Analizar los datos obtenidos en la investigación de los parámetros evaluados según la normatividad vigente.

1 ANTECEDENTES

El agua es el recurso más importante a nivel mundial ya que todos los seres vivos necesitan de ella para vivir, el 70% de la superficie de la tierra está cubierta de agua, de la cual aproximadamente el 97.5% es agua salada siendo los mares y océanos que constituyen la fuente de agua más importante, cabe resaltar que estas no son aptas para el consumo humano, pese a que hay procesos para hacerla potable que es la desalación, este es un proceso muy costoso y sólo existen unas pocas plantas de tratamiento distribuidas alrededor del mundo. Solo el 2.5% es agua dulce y menos del 1% está disponible para consumo humano por esto es importante su conservación. (2, 3, 4, 5)

Con casi un tercio de los recursos hídricos mundiales, América Latina y el Caribe debería ser un modelo de gestión hídrica. Sin embargo, la realidad es otra: millones de personas viven sin acceso a agua potable y los ecosistemas acuáticos se encuentran amenazados. La Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL) impulsa un cambio de paradigma hacia una gestión sostenible e inclusiva del agua, que permita garantizar el derecho humano al agua, reducir los conflictos por el recurso y construir un futuro más resiliente. (2, 1, 4)

La evaluación de la eficiencia del acueducto comunitario de Sáname se plantea entonces como una necesidad prioritaria tanto para la comunidad como para las autoridades locales en salud pública y gestión ambiental. Determinar si el agua distribuida cumple con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en el Decreto 1575 de 2007, la Resolución 2115 de 2007 y la Resolución 622 de 2020 resulta indispensable para identificar riesgos, proponer medidas de mitigación y orientar procesos de mejoramiento (9,10). Este tipo de investigaciones no solo aportan evidencia científica para el diagnóstico de la situación, sino que también permiten sensibilizar a la población acerca de la importancia de

cuidar el recurso hídrico, de adoptar prácticas seguras en el ámbito doméstico y de comprender la relación entre el agua potable y la salud (11).

En Colombia es muy común que los acueductos en veredas lejanas a los cascos urbanos sean acueductos veredales o también llamados acueductos comunitarios, (14, 10, 12) los cuales no se encuentran regidos bajo las mismas normatividades y vigilancias que los acueductos urbanos, dichos acueductos veredales se rigen bajo la resolución 622 de 2023 frente a la revisión bibliográfica que se ha hecho se han visto diferentes estudios como lo son “Diagnóstico de la calidad del agua en el acueducto del corregimiento de Guapuscal Alto del municipio de Funes Nariño ”(10) “Acueductos veredales, actores de gestión y transformación para la salud pública y ambiental de Cachipay-Cundinamarca”(11) “Análisis de calidad de agua de acueductos rurales y su relación con la salud pública en el Valle del Cauca” “Los Acueductos Veredales de las Comunidades Organizadas en el área rural del municipio de El Peñol, Antioquia”(12), en dichas investigaciones en los cuales se puede observar diferentes tipos de metodologías, viendo distintos tipos de acueductos veredales y comunitarios que hay en Colombia para tener puntos de referencia de dichos estudios en el país; estos lugares tienen un sistema de abastecimiento de agua hecho por la misma comunidad (12,13), los encargados del manejo de agua son personas que no tienen los estudios o conocimientos requeridos para la manipulación y potabilización del agua, las tuberías no son de óptima calidad, en los análisis físico-químicos y microbilógicos presentados en los estudios anteriormente mencionados logran identificar las principales formas de contaminación y factores que pueden interferir con la calidad del agua (7,20) como también algunas investigaciones han evaluado la vulnerabilidad de los acueductos veredales ante diferentes amenazas, como el cambio climático, la contaminación y los eventos extremos.(24,25) Estos estudios suelen analizar la relación entre la participación comunitaria, la capacidad de gestión y la calidad del servicio de agua.

En las búsquedas realizadas se evidencia que no hay información frente dicho análisis en la vereda escogida para el proyecto de investigación en curso. (11,12,13,20)

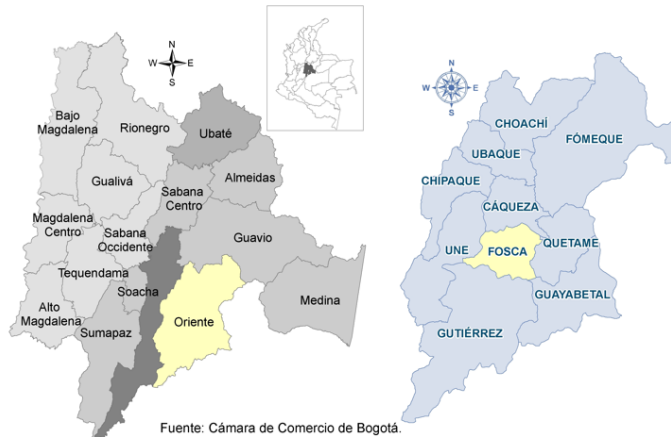
TABLA 1 Relación entre antecedentes teóricos y parámetros evaluados en el estudio

Antecedente	Aspecto principal del antecedente	Parámetros o variables que fundamenta en el estudio	Relevancia para la investigación
“Diagnóstico de la calidad del agua en el acueducto del corregimiento de Guapuscal Alto del municipio de Funes, Nariño”	Evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en un acueducto rural.	pH, turbiedad, color, coliformes totales y fecales.	Sirve como referencia metodológica y comparativa para evaluar la calidad del agua en Sáname.
“Acueductos veredales, actores de gestión y transformación para la salud pública y ambiental de Cachipay – Cundinamarca”	Importancia de la participación comunitaria en la gestión del recurso hídrico.	Gestión comunitaria, manejo del sistema y prácticas de mantenimiento.	Fundamenta la evaluación de la gestión comunitaria del acueducto.
“Análisis de calidad de agua de acueductos rurales y su relación con la salud pública en el Valle del Cauca”	Correlación entre calidad del agua y enfermedades de origen hídrico.	Presencia de coliformes, <i>E. coli</i> , y parámetros microbiológicos.	Permite vincular la calidad del agua con el impacto en la salud pública local.
“Los Acueductos Veredales de las Comunidades Organizadas en el área rural del municipio de El Peñol, Antioquia”	Limitaciones técnicas y estructurales de los acueductos rurales.	Condiciones de infraestructura, material de tuberías, cloración.	Aporta información sobre vulnerabilidades técnicas comunes.
CEPAL (Gestión sostenible del agua en América Latina y el Caribe)	Necesidad de una gestión sostenible e inclusiva del agua.	Gestión del recurso, sostenibilidad ambiental.	Apoya el enfoque de sostenibilidad y derecho humano al agua.
Decreto 1575 de 2007, Resolución 2115 de 2007 y Resolución 622 de 2020	Normatividad nacional sobre calidad del agua para consumo humano.	Todos los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos exigidos por la norma.	Define los criterios técnicos que se emplearán en la evaluación del acueducto.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Fosca Cundinamarca

IMAGEN 1



Mapa de Fosca Cundinamarca

Fosca cundinamarca es un municipio colombiano del departamento de cundinamarca ubicado en la provincia de oriente el cual se encuentra localizado a 62 km de Bogotá, 71 km de Villavicencio, en la Provincia de Oriente, teniendo una extensión geográfica de 11.260 hectáreas, de las cuales 10.711 hectáreas son rurales y 516 hectáreas son urbanas (14,15).

Está ubicado en la cuenca del Río Negro y en la Subcuenca del río Sáname que nace en el municipio de Une, recorre el municipio de fosca y desemboca en el Río Negro

El municipio de Fosca se encuentra localizado en el suroriente del departamento de cundinamarca a los 4° 20'28" latitud norte y 73° 56'30" longitud Oeste de Greenwich a una altitud de 2.050 metros sobre el nivel del mar, su temperatura promedio es de 15°C y su humedad es de 56% (15).

Su principal afluente es el río Sáname que nace a una altura de 3400 MSNM (metros sobre el nivel del mar) el río sáname tiene una extensión aproximada de 22208.8 hectáreas,

adicionalmente Fosca cuenta con la laguna y nacimiento del alto del roble que son un complejo de humedal natural localizados a 2634 m de altitud con un perímetro aproximado de 350 m.

2.1.1 Demografía

Para el 2023 según datos de proyecciones de población DANE el municipio de Fosca cuenta con 6.643 personas de los cuales el 51% (3.385)son hombres, 49% (3.258)mujeres, la densidad poblacional para este año corresponde a 52.7 habitantes por Km2 y según el censo del 2018 existen 2477 viviendas en total divididas en el área urbana que cuenta con 479 viviendas en 1998 en el área rural (16), (17).

Según el reporte del ASIS (18) suministrado por parte de la alcaldía municipal en cabeza del Alcalde Milton Albino Barbosa Rey con autorización para su uso; determina que la falta de potabilidad del agua en las zonas rurales está relacionada con la falta de acceso a sistemas de tratamiento y distribución de agua segura (19)

La situación de la infraestructura del acueducto veredal, que presenta deterioro en sus tuberías, tanques y componentes básicos, producto de la falta de mantenimiento continuo y de la carencia de recursos económicos para su renovación. Esta deficiencia podría aumentar la probabilidad de infiltraciones, fugas y acumulación de contaminantes en las distintas etapas de conducción, almacenamiento y distribución, propiciando condiciones ideales para la proliferación de bacterias y otros patógenos. La ausencia de un proceso de potabilización constante y efectivo, sumada a la falta de vigilancia técnica y sanitaria, incrementa los riesgos para los consumidores (1, 2, 33).

IMAGEN 2 Infraestructura del acueducto veredal de la vereda Sáname.



Fuente: Archivo fotográfico del autor (abril 2025).

En las imágenes A y B muestran la infraestructura actual del acueducto comunitario de la vereda Sáname, ubicado en una zona rural de topografía montañosa. La planta de tratamiento de agua está conformada por varias estructuras que permiten limpiar y almacenar el agua. Entre ellas se encuentran los tanques elevados, que sirven para guardar y distribuir el agua; los sedimentadores, que ayudan a separar la suciedad más pesada; los filtros, que eliminan impurezas más pequeñas; y las tuberías, que conectan todo el sistema. También se cuenta con espacios de acceso para que los técnicos realicen las labores de cuidado y mantenimiento. En la parte externa se identifican elementos expuestos como conexiones hidráulicas y tanques auxiliares, lo cual evidencia condiciones operativas manuales.

2.2 El agua

El agua es una sustancia fundamental para la vida en la Tierra y es el único compuesto que se puede encontrar en estado líquido, sólido y gaseoso en la atmósfera. Aproximadamente el 97% del agua en la Tierra se encuentra en los océanos, mientras que el 3% restante es agua dulce. De esta agua disponible dependen la agricultura (20), la industria y el consumo humano (2).

El agua dulce es muy importante para el consumo humano y la potabilización debido a su composición química y su baja concentración de sales. Un exceso de sales en el agua puede ser perjudicial para la salud, ya que el cuerpo humano está adaptado para procesar agua con

baja salinidad y eliminar desechos, evitando la deshidratación. Adicionalmente, muchos procesos industriales, como la producción de alimentos, medicamentos y la generación de energía, también requieren agua dulce (20), ya que el agua salada puede corroer equipos y maquinaria.

Por esta razón, la FAO ha emitido numerosas advertencias sobre la creciente escasez de agua en muchas regiones del mundo. El aumento en la demanda de agua para consumo humano, actividades agrícolas e industriales incrementa la probabilidad de escasez en el futuro. Factores como el cambio climático, la contaminación y la sobreexplotación de acuíferos (2), también influyen en este problema.

La distribución del agua dulce en el planeta es desigual, algunos países cuentan con un gran recurso hídrico, mientras que otros enfrentan estrés hídrico severo, ocasionado por factores como el clima, la geografía, la densidad poblacional o el mal uso del agua (6).

2.2.1 Distribución del agua.

América del sur representa cerca del 20% del agua dulce renovable mundial, gracias a cuencas como la del Amazonas (24), regiones como el Medio Oriente y África del Norte apenas concentran el 1% del agua dulce a pesar de tener más del 5% de la población mundial (25).

2.2.2 Usos del agua.

El agua es utilizada para el consumo humano, la agricultura y la industria. Sin embargo, su distribución no es equitativa en el planeta (2), generando escasez en algunas regiones (28) y abundancia en otras. Para hacer un uso más eficiente del recurso hídrico, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) promueve un uso del agua en la agricultura más eficiente, equitativo y respetuoso con el medio ambiente (29).

2.2.3 El agua según la FAO

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) es una agencia especializada de las Naciones Unidas que lidera esfuerzos internacionales para erradicar el hambre y mejorar la nutrición y seguridad alimentaria en el mundo (5). Fue fundada en 1945 y tiene su sede en Roma, Italia. La FAO promueve el uso eficiente y sostenible del agua en la agricultura y el acceso equitativo a los recursos hídricos (21,30)

2.2.4 Tipos de agua dulce

El agua superficial que se encuentra en ríos, lagos, lagunas y embalses (5), es la fuente comúnmente usada para el abastecimiento público, especialmente en zonas rurales, debido a su fácil acceso; también es la fuente más expuesta a contaminación(20-22). El agua subterránea se almacena en acuíferos bajo la superficie terrestre y suele ser de mejor calidad microbiológica, aunque puede tener mayor concentración de minerales como arsénico o nitratos. El agua de glaciares y nieves perpetuas, representan el 68% del agua dulce del planeta, es de difícil acceso, especialmente en regiones alejadas; su uso ha aumentado debido al deshielo provocado por el cambio climático (13).

2.2.5 Potabilización de agua

La potabilización del agua es el proceso mediante el cual se eliminan contaminantes, microorganismos y sustancias químicas del agua cruda para hacerla segura para el consumo humano. Al tratarse de agua dulce, este proceso es más sencillo y económico.

En Colombia, el Decreto 1575 de 2007 establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano (36, 31), definiendo los siguientes conceptos:

- Agua cruda: Es el agua natural que no ha sido sometida a procesos de potabilización, lo que puede representar riesgos para la salud y la seguridad del usuario.
- Agua potable o agua para consumo humano: Es aquella que cumple con las características físicas, químicas y microbiológicas establecidas en la normativa vigente, permitiendo su uso para consumo directo, preparación de alimentos e higiene personal.

El agua de consumo humano es aquella que está destinada a beber, preparar alimentos, higiene personal y usos domésticos. para que sea considerada apta, debe cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas definidas en la normativa sanitaria vigente, sin representar riesgos para la salud a corto o largo plazo

En Colombia, la definición y regulación del agua para consumo humano está establecida en el decreto 1575 de 2007 y en la resolución 2115 de 2007, que definen las condiciones mínimas de calidad y las obligaciones de los prestadores de servicio (32,11).

El proceso de potabilización transforma el agua natural en agua apta para consumo, mediante tratamientos que eliminan contaminantes (33), sedimentos, bacterias, virus y sustancias químicas.

La OMS establece que el agua de consumo no debe tener microorganismos patógenos, no debe tener sustancias tóxicas o radiactivas en concentraciones perjudiciales, debe ser aceptable para los consumidores en cuestión de sabor, olor y apariencia.

El suministro de agua potables un derecho humano fundamental y una prioridad en salud pública, especialmente en comunidades rurales donde las dificultades en el acceso o tratamiento pueden causar diferentes enfermedades a los consumidores; por lo anterior los

sistemas de abastecimiento deben garantizar un control riguroso desde la captación hasta su distribución final, manteniendo los estándares de calidad con el fin de asegurar la inocuidad en el recurso hídrico.(25, 26)

2.3 Características del agua para el consumo humano

Estas son determinadas por el ministerio de protección social y ambiente, vivienda y desarrollo territorial (35), que se encargan de definir elementos como compuestos químicos, mezclas de compuestos y otras sustancias que puedan causar afectaciones en la salud de quienes consumen el agua y buscan racionalizar los costos y técnicas para realizar los análisis microbiológicos del agua.

El análisis microbiológico del agua son los procedimientos de laboratorio que se realizan a una muestra de agua para consumo humano con la finalidad de evaluar la presencia, ausencia y tipos de microorganismos (34), los análisis básicos son en los que se determina turbiedad, color aparente, pH, cloro residual de desinfectante usado, coliformes totales y *Escherichia coli*, en los análisis complementarios se realizan determinaciones físicas químicas y microbiológicos no contempladas en el análisis básico.

Las características que se deben evaluar para el análisis del agua apta para consumo humano son:

- color aparente: Hace referencia al color que presenta el agua en el momento de la recolección sin haber pasado la muestra por un filtro.
- Dosis letal media: Es la estimación estadística de la dosis mínima necesaria para matar el 50% de una población de animales de laboratorio bajo condiciones controladas.

- *Escherichia coli*: Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en agua para consumo humano
- Sustrato definido enzimático: Es la prueba que contiene sustratos hidrolizables para la detección de las enzimas B galactosidasa, A galactosidasa y B glucoronidasa de los coliformes y *E. coli*.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Color aparente	15 Unidades de Platino cobalto (UPC)
Olor y sabor	Aceptable
Turbiedad	2 Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)

TABLA 2 Características físicas del agua potable (23).

La tabla muestra los valores máximos aceptables para las características físicas del agua de consumo humano, establecidos por la normativa sanitaria colombiana, específicamente la resolución 2115 de 2007. Estos incluyen el color aparente (≤ 15 UPC), el olor y sabor (aceptables de forma organoléptica) y la turbiedad (≤ 2 UNT). Dichos parámetros permiten evaluar la aceptabilidad sensorial del agua y detectar la presencia de partículas en suspensión que puedan afectar su calidad y potabilidad.

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS MEDIANTE FILTRACIÓN POR MEMBRANA	
Microorganismo	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Coliformes totales	0 UFC/100 cm ³
<i>Escherichia coli</i>	0 UFC/100 cm ³
Mesófilos	0 UFC/100 cm ³

TABLA 3 Características microbiológicas del agua potable (23).

La tabla presenta los valores máximos aceptables según la resolución 2115 de 2007 para las características microbiológicas del agua potable, determinados mediante el método de filtración por membrana. Se establece la ausencia total de coliformes totales, *Escherichia coli* y bacterias mesófilas (0 UFC/100 cm³). La detección de estos microorganismos constituye un indicador de contaminación fecal o ambiental y representa un riesgo directo para la salud pública, por lo que el agua destinada al consumo humano debe estar completamente libre de ellos.

Coliformes: son bacterias Gram negativas que fermentan la lactosa, son productores de ácido y CO₂, son aerobias o anaerobias facultativas, oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de alfa galactosidasa que es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano.

Uno de los criterios más relevantes en la evaluación de la calidad del agua son las buenas prácticas sanitarias, que incluyen principios básicos de higiene para el suministro y distribución de agua potable con el objetivo de identificar y mitigar posibles riesgos relacionados con la infraestructura (31) .

Métodos de análisis microbiológicos

Los métodos microbiológicos se utilizan para detectar microorganismos patógenos o indicadores de contaminación en el agua. Los principales son:

1. Filtración por membrana

Permite cuantificar coliformes totales, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, entre otros, mediante filtros de 0.45 μm .

2. Métodos del número más probable (NMP)

Basado en la probabilidad estadística del crecimiento microbiano en tubos con caldos selectivos.

3. Cultivo en medios selectivos y diferenciales

Incluye agar EMB, agar MacConkey, agar cetrimida, agar m-Endo, entre otros, para aislar y diferenciar microorganismos específicos.

4. Recuento de bacterias heterótrofas (HPC/mHPC)

Evalúa la carga bacteriana general presente en el agua.

5. Test rápidos enzimáticos / sustrato definido

Pruebas como Colilert® que detectan β -galactosidasa y β -glucuronidasa para confirmar coliformes y *E. coli*.

2.5 Los acueductos

Un acueducto es un sistema de infraestructura diseñado para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir agua potable desde una fuente natural (como ríos, quebradas o pozos) hasta los usuarios finales, principalmente para el consumo humano.

El acueducto está compuesto por varios componentes clave:

- Captación: Toma de agua desde la fuente superficial o subterránea.
- Conducción: Transporte del agua cruda mediante tuberías o canales.
- Tratamiento: Procesos físicos, químicos y biológicos que convierten el agua en potable.
- Almacenamiento: Tanques o reservorios donde se guarda el agua tratada.
- Distribución: Red de tuberías que lleva el agua a viviendas, instituciones o espacios públicos.(17)

IMAGEN 3: Diagrama del funcionamiento del acueducto.

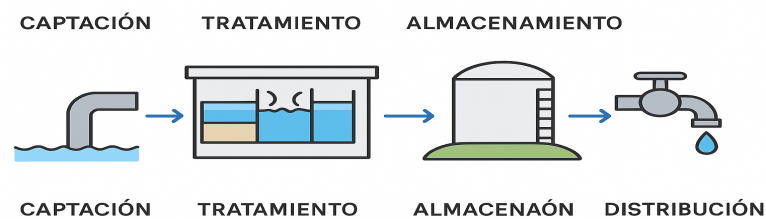


Imagen 2: Diagrama ilustrativo del funcionamiento de un acueducto, en el que se representan las principales etapas del proceso de potabilización del agua: captación en la fuente hídrica, conducción hacia la planta de tratamiento, procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, seguidos del almacenamiento en tanques y la distribución final hacia la comunidad. Cada una de estas fases resulta esencial para garantizar que el agua suministrada cumpla con los parámetros de calidad establecidos para el consumo humano seguro.

Existen distintos tipos de acueductos según su alcance y gestión:

- Acueductos urbanos: Atendidos por empresas municipales o regionales, con cobertura masiva.
- Acueductos rurales o veredales: Operados por juntas comunitarias o asociaciones locales, que abastecen a poblaciones pequeñas, muchas veces sin apoyo técnico o financiero suficiente.
- Acueductos comunitarios: Sistemas organizados por la comunidad que gestionan la prestación del servicio, típicos en zonas rurales como la vereda Sáname.(17)

2.6 Normatividad vigente

En Colombia, la normativa que regula la operación de los acueductos incluye el Decreto 1077 de 2015 "Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio", el cual contempla esquemas diferenciales para zonas rurales, reconociendo sus particularidades en términos de cobertura, calidad y acceso(39). Además, el artículo 365 de la Constitución Política(38), establece que los servicios públicos pueden ser prestados por el Estado, los particulares o las comunidades organizadas, siempre bajo regulación y vigilancia del Estado[38]. Esta resolución también define la frecuencia en la toma de muestras, el uso de técnicas in situ para el seguimiento, y los protocolos sanitarios necesarios para asegurar un control riguroso de la calidad del agua en contextos rurales (33).

2.7 Acueductos veredales

Según el artículo 365 de la Constitución Política establece que los servicios públicos domiciliarios podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o por particulares, pero en todo caso (38), el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios.

Además, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) se encarga de vigilar y controlar el cumplimiento de las leyes y actos administrativos en el sector, sancionando las violaciones que afecten directamente a los usuarios. Por su parte, la Comisión de Regulación tiene como función regular los monopolios en la prestación de servicios públicos (32), cuando la competencia no sea viable y, en otros casos, promover la competencia para asegurar la eficiencia económica, evitar abusos de posición dominante y garantizar la calidad de los servicios (26).

La normativa colombiana en materia de agua potable en zonas rurales incluye varias resoluciones clave que fortalecen el control sanitario y la gestión del recurso. La Resolución 622 de 2020, emitida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, (18), adopta un protocolo de inspección, vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano en zonas rurales del país. Su objetivo principal es establecer un marco regulatorio que garantice el acceso a agua potable segura en áreas donde la prestación del servicio presenta mayores desafíos (9,10). Esta resolución define procedimientos técnicos, exige la autorización sanitaria, y establece la necesidad de formular planes de contingencia y emergencia para asegurar la continuidad del servicio[30]. Por su parte, la Resolución 082 de 2009 se orienta a estandarizar las visitas de inspección sanitaria a los sistemas de abastecimiento de agua, promoviendo la consolidación de información por parte de las autoridades de salud y asegurando el cumplimiento de la normativa vigente. Además, permite implementar estrategias de mejora en los sistemas de suministro rural. Finalmente, la Resolución 1229 de 2013 establece un modelo de inspección, vigilancia y control sanitario para los procesos de fiscalización y aseguramiento de la calidad, orientado a garantizar la seguridad de los bienes y servicios de uso y consumo humano, incluyendo el agua potable.

3 METODOLOGÍA

Para la ejecución de este proyecto se diferencian en tres fases para lograr llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos de la investigación (figura 2)

IMAGEN 4 Diseño de la metodología del trabajo

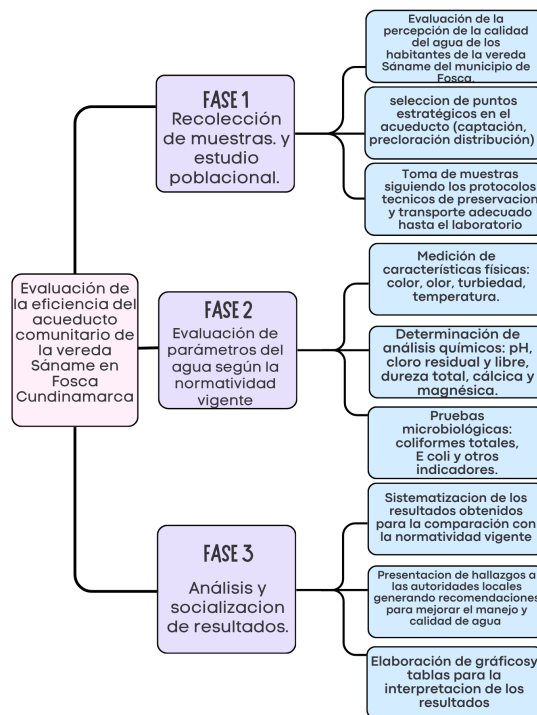


Imagen 3. Diseño metodológico para la “Evaluación de la eficiencia del acueducto comunitario de la vereda Sáname en Fosca, Cundinamarca”. El esquema se divide en tres fases: Fase 1, recolección de muestras y estudio poblacional; Fase 2, evaluación de parámetros del agua según la normatividad vigente, que corresponde a la medición de características físicas, químicas y microbiológicas; y Fase 3, análisis y socialización de resultados. Cada fase incluye actividades específicas que permiten estructurar el proceso investigativo de manera organizada y secuencial.

FASE 1: Recolección de muestras y estudio poblacional.

Inicialmente se evaluó la percepción de los usuarios del acueducto comunitario de Sáname vereda del municipio de Fosca Cundinamarca, se aplicaron encuestas en las que se obtuvo información sobre la apreciación de características como el olor, sabor y color del agua, percepción conforme a las actividades agrícolas entre otras preguntas; posteriormente realizamos un análisis de las respuestas (Anexo C).

Se realizó un análisis de cuáles serían los puntos claves para el análisis de las muestras; se eligieron 3 puntos(44) denominados Mx 1 que corresponde a la muestra recolectada en el punto de captación del acueducto; Mx 2 que corresponde al agua que ha pasado por el proceso de filtración que aún no ha pasado por el proceso de cloración y finalmente Mx 3 que es la primera casa a la que llega el agua luego del tratamiento, es decir que esta muestra corresponde al agua potable.

Se realizó también una evaluación sobre los puntos del acueducto con mayor riesgo de contaminación para determinar dónde se debe realizar el muestreo, por lo que se logró determinar que las muestras serán tomadas (44) por duplicado para verificar que los resultados sean reproducibles, confiables y representativos, es decir, para garantizar la confiabilidad de los resultados y se realizaria el muestreo en el agua del río en el punto de la captación (Mx 1); esto para analizar los contaminantes que tiene el agua antes de ser procesada y potabilizada en el acueducto, el segundo grupo de muestras se tomó del acueducto usando el agua clorada para determinar y las condiciones de almacenamiento del agua dentro del acueducto y verificar presencia de nuevos contaminantes diferentes a los evaluados en la muestra tomada de la captación del agua (Mx 2) (12) y finalmente se tomaron muestras de la primera casa en tener acceso al agua ya tratada para evaluar el proceso de potabilización llevado a cabo en el acueducto y realizar posteriormente una comparación entre las muestras tomadas en los dos puntos anteriores (Mx 3) (12).

Estas muestras fueron llevadas al laboratorio para su análisis conservando los protocolos de conservación y transporte de las mismas para evitar alteraciones en los resultados del estudio.

FASE 2: Evaluación de parámetros del agua potable según la normatividad vigente

Se realizó la medición de los parámetros físicos como olor, color, pH y turbiedad, químicos como cloro residual, cloro libre, dureza total y microbiológicos en los laboratorios de IMPEGNO quienes con su alta acreditación llevaron a cabo el análisis de las muestras para posteriormente comparar los resultados con los parámetros establecidos en la normatividad vigente (9,31,37).

FASE 3: Análisis y socialización de resultados obtenidos

Se realizó la sistematización de los resultados obtenidos para compararlos con los parámetros de la normatividad vigente por medio de tablas y gráficos que facilitarán la comprensión de los resultados obtenidos, para posteriormente socializar estos resultados con la administración municipal y así generar estrategias para mejorar la potabilización del agua mejorando la calidad de vida de los usuarios del acueducto (9,31,37).

Para garantizar la confiabilidad, precisión y trazabilidad de los resultados analíticos, se aplicó un programa de control de calidad interno y externo en todas las fases del estudio. Este control incluyó:

- Duplicados y réplicas: en cada punto de muestreo (Mx1, Mx2 y Mx3) se tomaron y analizaron duplicados independientes los cuales fueron analizados consecutivamente para mantener el mismo tiempo de toma y temperatura similar.
- Calibración de instrumentos: los equipos utilizados se calibraron antes de cada jornada de análisis utilizando patrones certificados trazables al National Institute of Standards and Technology (NIST) así como cada medios como los agares, caldos,

aguas de enjuague entre otros se les pasa control de calidad al inicio de jornada de proceso así como controles positivos y negativos según los análisis para poder ver en comportamiento de los mismos y que el crecimiento sea el adecuado.

- Control microbiológico positivo y negativo: para el control positivo y negativo de cada uno de los agares se utilizaron cepas ATCC de *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *S. enteritidis*, *K. pneumoniae*, *A. brasiliensis*, *B. cereus*, según corresponda

En cuanto al procesamiento de datos, los resultados obtenidos fueron sistematizados y sometidos a un análisis estadístico descriptivo e inferencial.

Se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana) y dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación) para cada parámetro físico-químico y microbiológico.

Adicionalmente, se aplicaron comparaciones porcentuales entre los puntos de muestreo (Mx1, Mx2, Mx3) con el fin de estimar la eficiencia del tratamiento y el porcentaje de remoción microbiológica.

Los valores fueron contrastados con los límites de la Resolución 2115 de 2007 y la Resolución 622 de 2020, empleando gráficos de barras y tablas comparativas elaboradas en Microsoft Excel® y IBM SPSS Statistics® v.26.

El análisis permitió establecer la significancia de las variaciones observadas y determinar si el acueducto mantiene condiciones de potabilidad conforme a la normativa vigente.

3.1 Universo población y muestra

Universo: Está conformado por todos los habitantes del municipio de Fosca, Cundinamarca, que se abastecen de agua a través de acueductos veredales (4,43).

Población: La población objeto de estudio corresponde a los habitantes de la vereda Sáname, comunidad que depende directamente de esta fuente para sus necesidades básicas como consumo, preparación de alimentos, higiene personal y uso doméstico general (4,43).

Muestra: Se seleccionaron 45 hogares representativos de la vereda Sáname para la aplicación de encuestas estructuradas, así como tres puntos estratégicos del sistema de abastecimiento (captación, planta de tratamiento y punto intradomiciliario) para la toma de 12 muestras de agua cada una por método de duplicado en los 3 puntos. La muestra fue determinada de forma no probabilística por conveniencia, considerando la accesibilidad, la participación voluntaria de los habitantes y la representatividad técnica de los puntos del sistema (4,43).

Las muestras fueron tomadas en los siguientes puntos

Muestra 1 – Captación (Bocatoma)

Muestra 2 – Planta de tratamiento (precloración)

Muestra 3 – Punto intradomiciliario (casa de usuario final)

3.2. Hipótesis, variables, indicadores.

Hipótesis general

El agua suministrada por el acueducto comunitario de la vereda Sáname no cumple con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en la normatividad sanitaria vigente, lo que representa un riesgo para la salud de la población.

Variables e indicadores

TABLA 4 Tipos de variables en el estudio de análisis de calidad de agua.

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Independiente	Calidad del agua	Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua suministrada	Ph, dureza total, alcalinidad, cloruros, cloro residual, coliformes <i>E.coli</i>
Dependiente	Riesgo para la salud	Posibilidad de afectación a la salud por consumo de agua no potable	Presencia de bacterias patógenas, cumplimiento de normas de potabilidad
Interviniente	Valoración de la comunidad	Opinion de los habitantes sobre la calidad del agua y su manejo en el hogar	Resultados de encuestas sobre sabor, olor, color, confianza y prácticas de uso
Interviniente	Eficiencia del sistema de tratamiento	Capacidad del acueducto para remover contaminantes	Diferencia de parámetros antes y despues del tratamiento

Tabla 3. Definición operacional de variables del estudio sobre la calidad del agua. Se presentan las variables independientes, dependientes e intervinientes, junto con su definición operacional y los indicadores empleados para su medición.

Indicadores fisicoquímicos:

pH: dentro del rango 6,5 – 9,0 unidades de pH.

Dureza total: $\leq 300 \text{ mg/L CaCO}_3$.

Dureza cálcica: $\leq 60 \text{ mg/L}$.

Dureza magnésica: $\leq 36 \text{ mg/L}$.

Alcalinidad: acorde a límites normativos.

Cloro residual libre: 0,3 – 2,0 mg/L.

Indicadores microbiológicos:

Coliformes totales: ausencia en 100 mL.

Escherichia coli: ausencia en 100 mL.

Recuento de bacterias heterótrofas (mHPC): $\leq 200 \text{ UFC/mL}$.

Indicadores sociales:

Percepción comunitaria sobre la calidad del agua (olor, color, sabor).

Prácticas de almacenamiento y tratamiento intradomiciliario.

Conocimiento sobre enfermedades de origen hídrico.

3.3. Técnicas y procedimientos.

3.3.1 Diseño de muestreo

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, se aplicó una estrategia de muestreo por puntos críticos, donde se seleccionaron tres sitios representativos del sistema de distribución de agua:

Mx 1 – Captación (Bocatoma)

Mx 2 – Planta de tratamiento (precloración)

Mx 3 – Punto intradomiciliario (casa de usuario final)

En cada punto se recolectaron muestras duplicadas, es decir, se tomaron en bolsas de recolección de agua estériles tipo Whirlpool por duplicado en cada punto de la toma por sitio en condiciones idénticas, con el objetivo de aumentar la precisión del análisis y reducir el margen de error. Adicionalmente, se recolectó una tercera muestra en bolsa estéril para análisis microbiológico específico.

3.3.2 Recolección de muestras

Estudio preliminar y recolección de muestras

Se inició con un estudio de percepción en la vereda Sáname, municipio de Fosca, Cundinamarca, para entender la opinión de los usuarios del acueducto comunitario sobre la calidad del agua. Aplicamos encuestas que nos permitieron recopilar información detallada sobre su apreciación de características clave como el olor, sabor y color, así como su percepción respecto a las actividades agrícolas circundantes. Los datos obtenidos fueron analizados posteriormente para identificar las principales preocupaciones de la comunidad (Anexo C) .

3.3.3 Muestreo y puntos de control

Seleccionamos tres puntos estratégicos para la toma de muestras, designados como puntos de control (Mx). Estos puntos fueron elegidos para representar las etapas críticas del proceso de distribución del agua:

Mx 1: La bocatoma del río, antes de que el agua ingrese al sistema del acueducto.

Mx 2: La fase dentro del acueducto veredal, después de los métodos de filtración y antes de la etapa de cloración del agua.

Mx 3: La primera vivienda que recibe el agua, lo que nos permite evaluar la calidad del líquido después de su tratamiento y recorrido por la red.

El muestreo se realizó el día lunes 4 de agosto de 2025, utilizando bolsas estériles tipo Whirl-pak de 220 mL.

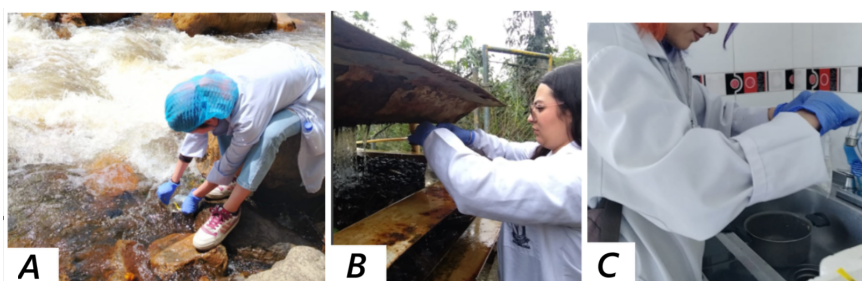
3.3.4 Metodología de muestreo en campo

Se siguió un protocolo de muestreo riguroso en cada punto, la muestra **Mx 1** fue recolectada directamente del río, sumergiéndonos en la parte más cercana a la bocatoma y siguiendo la dirección contraria de la corriente. Adicionalmente, se realizaron mediciones in situ del cloro libre residual. La recolección de la **Mx 2** se efectuó en la sala de tratamiento del acueducto, específicamente de una llave ubicada tras los filtros y antes de la fase de cloración. Al igual que en el punto anterior, se midió el cloro libre in situ. **Mx 3** Con el permiso de los propietarios, la muestra fue tomada en la cocina de la vivienda. Se dejó correr el agua por unos minutos antes de la recolección para asegurar que la muestra fuera representativa de la calidad del agua en la red de distribución. También se midió el cloro libre en el sitio.

Este enfoque nos permitió obtener datos representativos de la calidad del agua en cada etapa, desde su origen natural hasta su consumo final

Se utilizaron técnicas de muestreo estándar siguiendo las recomendaciones del Instituto Nacional de Salud y la Guía para Vigilancia y Control de Calidad del Agua Potable. El transporte de las muestras se realizó en cajas térmicas con hielo a temperatura de refrigeración (4 °C), garantizando su integridad microbiológica hasta su procesamiento en el laboratorio. (1, 2, 3)

IMAGEN 5: Recolección de muestras del acueducto veredal de la vereda Sáname



Fuente: Archivo fotográfico del autor (Agosto 2025).

Imágen 4. Muestreo y análisis de la calidad del agua en el acueducto veredal. A: recolección de muestra en el punto de captación. Imagen B: toma de muestra en el proceso de post-filtración y precloración. Imagen C: muestreo en la primera vivienda con acceso a agua potable.

Métodos de análisis fisicoquímico

Para la evaluación de las características físico-químicas del agua del acueducto comunitario, se aplicaron métodos estandarizados orientados a medir parámetros esenciales para determinar su potabilidad. Se realizaron determinaciones de pH, color aparente, turbiedad, conductividad, dureza total, dureza cálcica y magnésica,

así como la cuantificación de cloro residual libre, siguiendo los lineamientos establecidos en la Resolución 2115 de 2007. Estas mediciones se llevaron a cabo mediante equipos calibrados y técnicas in situ y de laboratorio, lo que permitió identificar variaciones en la calidad del agua desde la captación hasta el punto de consumo, y evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento implementados en el acueducto.

Para la evaluación microbiológica del agua del acueducto comunitario, se emplearon métodos estandarizados basados en la normatividad vigente, orientados a detectar microorganismos indicadores de contaminación fecal y carga bacteriana general. Las muestras fueron procesadas mediante el método de filtración por membrana, utilizado para la identificación y cuantificación de coliformes totales y *Escherichia coli*, siguiendo criterios establecidos por la Resolución 2115 de 2007. Adicionalmente, se realizaron recuentos de bacterias heterótrofas (mHPC) para determinar la presencia de microorganismos ambientales que pueden proliferar en la red de distribución. Los cultivos se desarrollaron en medios selectivos y cromogénicos, permitiendo una diferenciación precisa de las colonias y garantizando resultados confiables sobre la calidad microbiológica del agua en cada etapa del sistema de abastecimiento

3.3.4 Aspectos éticos.

El presente trabajo incorpora dos anexos que respaldan los aspectos éticos y administrativos de la investigación:

Anexo A (8.1). Carta de autorización de la investigación.

Documento emitido por la autoridad o entidad responsable del acueducto comunitario de la vereda Sáname, mediante el cual se autoriza formalmente la realización del estudio, la toma de muestras y la recopilación de información técnica y social relacionada con el sistema de

abastecimiento de agua.

Anexo B (8.2) . Carta de confidencialidad de los resultados obtenidos.

Documento mediante el cual los investigadores se comprometen a mantener la confidencialidad de la información recolectada y de los resultados del análisis de laboratorio, garantizando el uso exclusivo de los datos con fines académicos y científicos.

Ambos anexos se encuentran al final del documento y sustentan el cumplimiento de los principios éticos de la investigación, así como la transparencia en la obtención y manejo de la información.

4. RESULTADOS

4.1 Percepción de la calidad del agua del acueducto comunitario por parte de los usuarios y habitantes de la vereda Sáname del municipio de Fosca Cundinamarca.

Los resultados obtenidos a partir de la percepción de la comunidad frente al servicio prestado por el acueducto comunitario bajo la elaboración de una encuesta de satisfacción aplicada a 45 usuarios; (anexo C) la apreciación frente al servicio del acueducto por parte de los pobladores de la vereda Sáname evidencian un panorama general de aceptación, aunque con matices que reflejan las limitaciones propias del sistema. En lo referente al olor del agua imagen en anexo, la mayoría de los encuestados afirmó no percibir olores desagradables, lo que genera confianza en el consumo, aunque un grupo minoritario indicó la presencia ocasional de olores extraños, posiblemente asociados a fluctuaciones en el proceso de cloración o a condiciones de almacenamiento en la red. En cuanto al color del agua, la percepción general es de incolora en condiciones normales, pero durante temporadas de lluvia se reporta turbidez, situación que coincide con los riesgos de arrastre de sedimentos desde la fuente hídrica. (36)

Imagen 6 Gráficas de los resultados de las encuestas aplicadas a los usuarios del acueducto

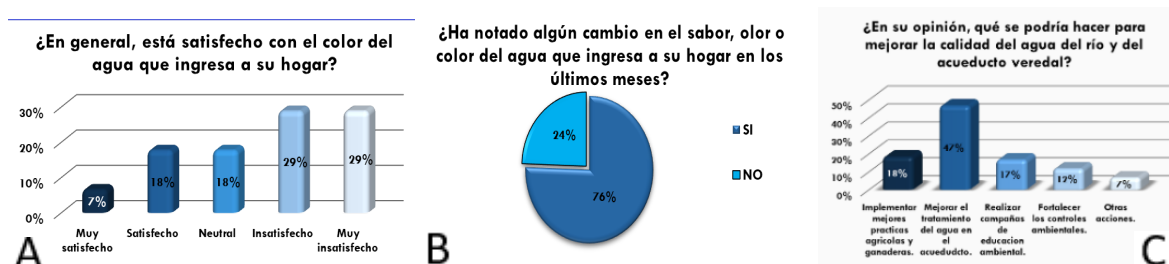


Imagen 6. Resultados de la encuesta comunitaria sobre la percepción de la calidad del agua en la vereda. (A) Nivel de satisfacción con el color del agua que ingresa a los hogares. (B) Percepción de cambios recientes en el sabor, olor o color del agua. (C) Opinión de la comunidad con respecto a posibles mejoras del acueducto

En relación con el sabor, el 53% de los usuarios lo calificó como aceptable; sin embargo, el 26% manifestó la presencia de sabores metálicos o agrios en ciertos momentos, lo que guarda relación con los resultados fisicoquímicos obtenidos en laboratorio, en los cuales se evidenció un pH ácido en el punto intradomiciliario correspondiente a la primera vivienda, indicando posibles procesos de corrosión en las tuberías. Respecto a la continuidad del servicio, la comunidad en su mayoría percibe un suministro constante, aunque algunos reportaron interrupciones ocasionales durante mantenimientos o épocas de sequía, lo que refleja una prestación relativamente estable pero vulnerable a condiciones externas. En términos de conformidad con el servicio recibido, gran parte de la población manifestó satisfacción con el acueducto comunitario, reconociendo el esfuerzo colectivo de la vereda para garantizar el acceso al agua; sin embargo, persiste una fracción que expresó inconformidad vinculada principalmente a la calidad organoléptica del agua. Finalmente, frente a la confianza en la potabilidad del agua, aunque la mayoría de los habitantes considera que el agua es apta para el consumo humano (2), el 76% de la población manifestó dudas y desconfianza, sustentadas en experiencias previas de turbidez, cambios en el sabor y resultados de análisis anteriores

que evidencian riesgos microbiológicos y fisicoquímicos.

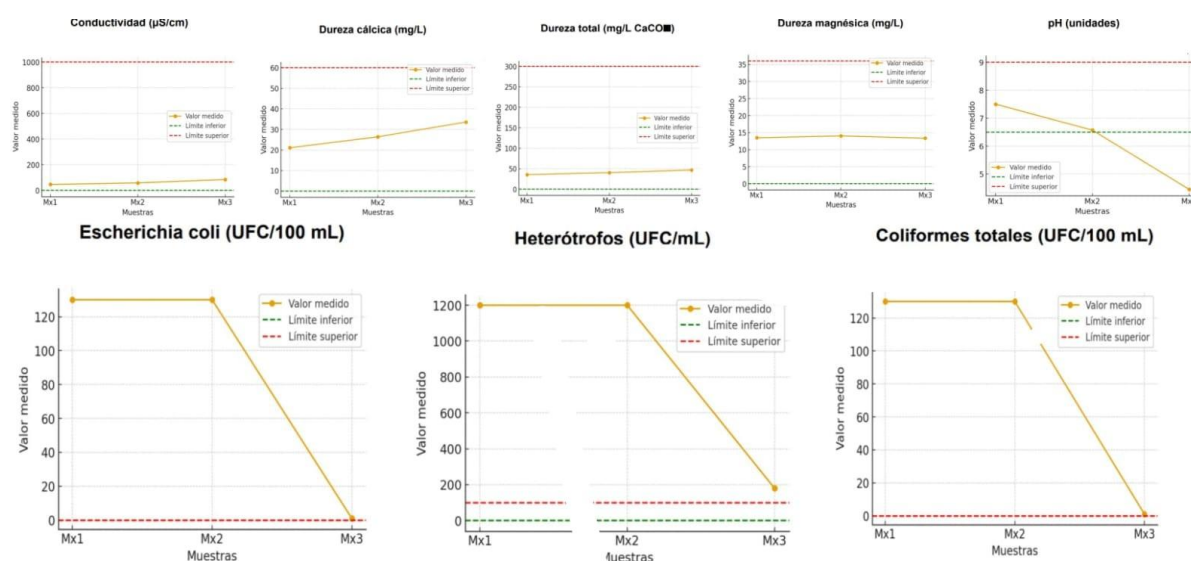
4.2 Resultados análisis físico-químicos y microbiológicos

Al evaluar la eficiencia del sistema de abastecimiento comunitario de la vereda Sáname del municipio de Fosca Cundinamarca, mediante los parámetros previamente establecido se dan los siguientes resultados ANEXO (F, G, H, I)

Análisis	Mx 1	Mx 2	Mx 3	Valores de referencia: Res 2115 <u>de 2007</u>
pH	7.5	6.57	4.45	6.5 a 9.0
Conductividad (dS/m)	46	58	84	<1000 μ S/cm (1 dS/m)
Dureza total (mg/L)	35.56	40.44	46.9	≤ 300 mg/L CaCO ₃
Dureza cálcica (mg/L)	21.08	26.4	33.6	NO CONTEMPLADAS EN RESOLUCIÓN CON LÍMITE NORMATIVO
Dureza magnésica (mg/L)	13.48	14.04	13.35	NO CONTEMPLADAS EN RESOLUCIÓN CON LÍMITE NORMATIVO
Cloro residual libre	0.0	0.0	0.0	0.3 – 2.0 mg/L
<i>Coliformes totales</i> (UFC)	>130	>130	<1	Ausencia en 100 mL
<i>Escherichia coli</i> (UFC)	>130	>130	<1	Ausencia en 100 cm ³
<i>Heterótrofos*</i> (UFC)	>1200	>1200	180	≤ 100 UFC/mL según INS(10) y OMS (1)

Tabla 5 Resultados análisis físico químicos y microbiológicos*Nota se realiza el conteo de bacterias heterótrofas ya que en el lugar donde se remitieron las muestras para ser analizadas este es un dato necesario para el agua para el consumo humano según los estándares de alta calidad en el que está acreditados

Imagen 7 Gráficas de los resultados de los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos



El acueducto comunitario de Sáname cumple con parámetros de dureza y conductividad, no garantiza condiciones de potabilidad debido a la ausencia de cloro residual (45), y al valor de pH ácido en el punto final de consumo. Estos factores limitan la eficiencia del sistema y representan un riesgo potencial para la salud de los usuarios

Tabla 6 comparación Mx2* y Mx3

Análisis	Mx 2	Mx 3	valores permitidos
pH	6.57	4.45	6.5 a 9.0
Conductividad (dS/m)	58	84	1000
Dureza total (mg/L)	40.44	46.9	300
Dureza cálcica (mg/L)	26.4	33.6	60
Dureza magnésica (mg/L)	14.04	13.35	36
Cloro residual libre	0.0	0.0	0.3 a 2.0
Coliformes totales (UFC/100cm ³)	>130	<1	0

<i>Escherichia coli</i> (UFC/100cm ³)	>130	<1	0
---	------	----	---

*Nota se hace la comparación de las dos mx bajo la normatividad de la resolución 2115 del 2007 aún sabiendo que la mx2 es un agua cruda que no va a cumplir los requisitos de dicha norma; con el fin de ver la eficacia de los tratamientos a los cuales es sometida el agua antes de la distribución.

Uno de los logros más importantes es la eliminación de microorganismos patógenos. La muestra de agua cruda (Mx2) muestra una alta contaminación, con valores de coliformes totales y *Escherichia coli* superiores a 130 UFC/100cm³, lo que la hace completamente insegura para el consumo. Sin embargo, después del tratamiento (Mx3), los valores para ambos parámetros son <1, lo que indica su ausencia y el cumplimiento con la norma. Esto es una prueba irrefutable de que los procesos de desinfección del acueducto son altamente efectivos, aunque no hay una concentración residual que impida la recontaminación del agua en su red de distribución.

El sistema de tratamiento también logra corregir los parámetros físico-químicos:

pH: El agua cruda (Mx2) tiene un pH de 6.57, muy cercano al límite inferior de la norma. El agua tratada (Mx3) presenta un valor de 4.45, indicando que es más ácida. Esto puede deberse a la adición de cloro como desinfectante, el cual al hidrolizarse produce ácido hipocloroso y puede acidificar el agua, por lo que sería importante revisar la necesidad de ajustar el pH del agua posterior a su cloración para evitar la corrosión de tuberías y la alteración de los parámetros organolépticos. Una revisión del proceso de corrección de pH podría asegurar que se mantenga dentro del rango permitido (6.5 a 9.0) para evitar la corrosión de tuberías.

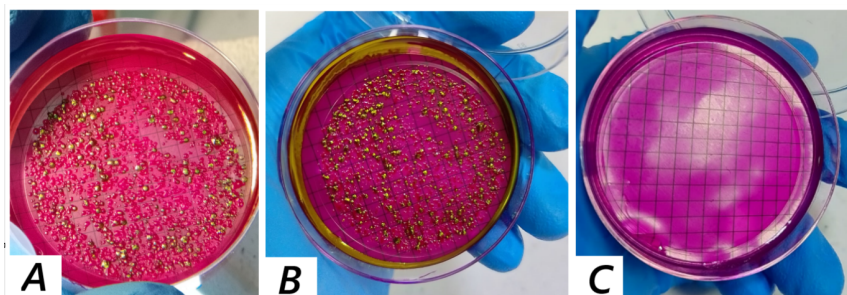
Dureza: Aunque la dureza total del agua cruda (40.44 mg/L) y del agua tratada (46.9 mg/L) son similares y cumplen con los límites, el aumento de la dureza cálcica y la reducción de la magnésica son reflejo de los procesos químicos utilizados en la planta de tratamiento. Estos valores están bien por debajo de los límites máximos permitidos (300 mg/L para la dureza total y 60 mg/L para la cálcica), lo que significa que el agua no causará problemas de incrustaciones.

Conductividad: La conductividad aumenta de 58 a 84 dS/m, lo cual es normal después de los procesos de coagulación y floculación, donde se añaden químicos que aumentan los iones disueltos. Aún así, ambos valores están muy por debajo del límite de 1000 dS/m, lo que demuestra un manejo adecuado.

Cloro residual libre: El agua cruda no tiene cloro, lo cual es de esperar. Sin embargo, el agua tratada tampoco lo tiene (0.0 mg/L), lo cual no cumple con el valor mínimo requerido de 0.3 mg/L. Esto es un punto crítico, ya que la ausencia de cloro residual significa que el agua está en riesgo de re-contaminarse durante su distribución. A pesar de este fallo, la tabla sí muestra la intención y capacidad de la planta para usar cloro, y sería necesario investigar si el cloro se disipa demasiado rápido o si no se agrega en la cantidad adecuada para garantizar una concentración residual.

4.3 Resultados microbiológicos

IMAGEN 8 Análisis microbiológicos de las muestras recolectadas



En la Imagen 8 Análisis microbiológico de las muestras tomadas en tres puntos del acueducto comunitario de la vereda Sáname: en la captación (A) se observa una alta carga bacteriana, en el proceso de prefiltración (B) la cantidad de colonias disminuye parcialmente, y en el agua ya potable en vivienda (C) no se evidencia crecimiento de coliformes ni *E. coli*, aunque persisten bacterias heterótrofas, lo que indica que el sistema reduce la contaminación pero no garantiza una desinfección total.

IMAGEN 9 Análisis microbiológicos de las muestras en agar selectivo

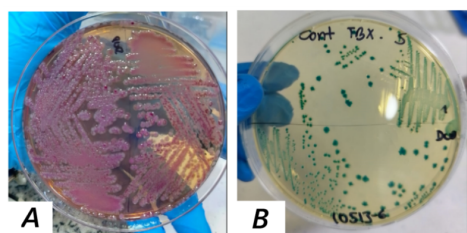


IMAGEN 9 Análisis microbiológicos de las muestras en agar selectivo (A) Cultivo en medio selectivo para identificación de *Escherichia coli*, mostrando colonias de coloración característica. (B) Cultivo en medio cromogénico con desarrollo de colonias indicativas de bacterias coliformes, utilizado para el conteo y diferenciación de microorganismos indicadores de contaminación fecal en muestras de agua.

Estos hallazgos muestran que el sistema de potabilización garantiza agua segura para consumo humano; Aunque en el punto de consumo se observa la eliminación de coliformes y *E. coli*, la presencia de mesófilos (120 UFC/mL) indica que la desinfección es eficaz pero no asegura la inocuidad del agua. El hecho de que en captación y conducción los valores sean extremadamente altos (>500) y lleguen reducidos pero aún fuera de norma a la vivienda, demuestra que la infraestructura reduce parcialmente la carga bacteriana.

El porcentaje de remoción microbiológico para coliformes y *E. coli* entre la muestra 2 y 3 estuvo en un rango de >130 UFC a <1 UFC, lo que representa una remoción del 100% de los microorganismos; Para Heterótrofos las muestras 1 y 2 la remoción fue de aproximadamente del 85%. pruebas confirmatorias realizadas en el estudio (Anexo E)

En conclusión, el acueducto comunitario de Sáname es eficiente en garantizar la calidad microbiológica del agua, y la ausencia de cloro residual en los análisis fisicoquímicos puede explicarse debido a la remoción de microorganismos en el proceso de cloración pero no tiene la capacidad de actuar en caso de nuevas persistencia de contaminación bacteriana (45)

4.4 Análisis del impacto y orientación para la sostenibilidad del acueducto comunitario

Los resultados obtenidos evidencian una relación directa entre la calidad físico-química y

microbiológica del agua y la percepción de confianza de la comunidad usuaria. Aunque el sistema de potabilización del acueducto comunitario de Sáname demuestra una eficiencia notable en la remoción de microorganismos patógenos (100% de coliformes y *E. coli*), la ausencia de cloro residual y la presencia de pH ácido representan debilidades críticas que pueden comprometer la inocuidad del agua durante la distribución.

Este diagnóstico no solo permite identificar los puntos críticos del sistema, sino que orienta acciones estratégicas de mejora que podrían generar impactos positivos a corto, mediano y largo plazo en la sostenibilidad técnica, ambiental y social del acueducto. Entre las

principales orientaciones derivadas del estudio se destacan:

- Fortalecimiento del proceso de desinfección:

La ausencia de cloro residual sugiere la necesidad de ajustar la dosificación y el control del cloro para mantener niveles entre 0.3 y 2.0 mg/L, garantizando protección ante recontaminaciones. La implementación de un sistema de monitoreo continuo o la capacitación de los operarios en control de cloración mejoraría la eficiencia sanitaria del servicio.

- Corrección del pH del agua tratada:

Se recomienda incorporar un proceso de neutralización posterior a la cloración para mantener el pH dentro del rango normativo (6.5–9.0), reduciendo la corrosión en las redes y preservando la calidad organoléptica. Esto además contribuiría a la durabilidad de la infraestructura.

- Programas de educación y participación comunitaria:

La desconfianza manifestada por el 76% de los usuarios evidencia la necesidad de fortalecer los canales de comunicación entre la administración del acueducto y la comunidad. La creación de espacios de capacitación sobre tratamiento,

almacenamiento y uso responsable del agua favorecería una cultura de corresponsabilidad y mejoraría la percepción social del servicio.

- Gestión institucional y apoyo técnico local:

Los resultados respaldan la importancia de establecer alianzas con la alcaldía de Fosca, la Secretaría de Salud y la CAR, para acompañar técnica y financieramente los procesos de mejoramiento. La adopción de políticas locales orientadas a la sostenibilidad de acueductos rurales (como el fortalecimiento de juntas administradoras o el acceso a subsidios para infraestructura) puede consolidar la resiliencia del sistema.

- Monitoreo ambiental y mantenimiento preventivo:

Dado que la turbidez aumenta en temporadas de lluvia, se sugiere implementar un sistema de prefiltración o sedimentación adicional en la fuente, así como un plan de mantenimiento preventivo de la red de distribución. Estas medidas contribuirían a minimizar el impacto de variaciones estacionales sobre la calidad del agua.

5. DISCUSIÓN

El acceso a agua potable es un pilar esencial de la salud pública, y su ausencia representa un riesgo directo para el bienestar de las comunidades. Los resultados de esta investigación sobre el acueducto comunitario de la vereda Sáname en Fosca (Cundinamarca) permiten evidenciar la relación entre los hallazgos técnicos —físicoquímicos y microbiológicos— y la percepción de los usuarios. Esta doble perspectiva demuestra cómo la calidad objetiva del agua y la experiencia cotidiana de la comunidad están estrechamente vinculadas, condicionando la confianza en el servicio, las prácticas de consumo y la aparición de riesgos sanitarios.

Desde el enfoque técnico, los análisis realizados muestran que el agua captada y distribuida por el acueducto presenta riesgos asociados a la exposición de la fuente a contaminantes agrícolas, ganaderos y domésticos, además de deficiencias en la infraestructura y en los procesos de potabilización. Estas condiciones se reflejan en parámetros como la turbidez y la presencia potencial de microorganismos indicadores de contaminación fecal, lo cual representa un incumplimiento de los criterios establecidos en la normatividad colombiana (11). (Decreto 1575 de 2007, Resolución 2115 de 2007 y Resolución 622 de 2020). La evidencia indica que el sistema no garantiza de manera constante la inocuidad del agua.

Los resultados de la muestra de agua tratada (Mx3) son un reflejo directo de la capacidad del sistema para mitigar riesgos, a la vez que señalan áreas de mejora sustancial.

El hallazgo más significativo es la completa ausencia de coliformes totales y *Escherichia coli* en la muestra de agua tratada (Mx3), en contraste con los valores superiores a 130 UFC/100 cm³ encontrados en el agua cruda (Mx2).

Este resultado demuestra la eficiencia del sistema de tratamiento de agua del acueducto eliminando los patógenos más comunes. La superación de este desafío, que es la causa más frecuente de enfermedades de origen hídrico, valida la función principal de la planta de tratamiento. Estos hallazgos están en línea con estudios sobre sistemas de potabilización descentralizados, que logran su objetivo principal de eliminar la carga biológica inicial, pero a menudo presentan retos en otras etapas del proceso que constituye una vulnerabilidad para la salud pública local (31).

La ausencia de cloro residual libre (0.0 mg/L) en el agua tratada (Mx3) es el hallazgo más crítico. Aunque la calidad microbiológica inicial está muy contaminada en la Mx 3 se evidencia que la cloración es efectiva, aunque la falta de cloro residual significa que el agua no está protegida contra una posible re-contaminación a lo largo de la red de distribución.

Este resultado incumple de manera grave la Resolución 2115 de 2007, que exige una concentración entre 0.3 y 2.0 mg/L para garantizar la persistencia de la desinfección hasta el punto de consumo.(45)

Estos hallazgos no coinciden con datos reportados a nivel nacional: el Instituto Nacional de Salud informó en 2022 que cerca del 43% de los acueductos rurales del país no cumplían con los requisitos de potabilidad, principalmente por fallas en la cloración, ausencia de mantenimiento y limitaciones económicas de las comunidades administradoras. En este sentido, lo observado en Sáname es un caso aislado, no es parte del problema que afecta a gran parte de los acueductos comunitarios de Colombia ya que va mejorando para así dar una calidad de agua que cumpla con los requisitos para su comunidad.(25, 33)

La coincidencia entre los análisis técnicos y la percepción comunitaria resulta clave: mientras los parámetros de laboratorio confirman la presencia de riesgos objetivos, la población los percibe de manera tangible en su vida cotidiana. Esta correlación refuerza la necesidad de abordar el problema desde dos frentes: técnico, mediante mejoras en el sistema de potabilización e infraestructura, y social, a través de procesos de educación sanitaria y fortalecimiento de la participación comunitaria en la gestión del acueducto. Los resultados de este trabajo también tienen implicaciones en términos de políticas públicas y salud local. Mejorar la eficiencia del acueducto no solo reducirá la exposición de la comunidad a enfermedades transmitidas por el agua, sino que también contribuirá a la seguridad hídrica y al cumplimiento del derecho humano al agua potable. De igual manera, la evidencia puede servir como base para que el personal de salud oriente campañas preventivas focalizadas en los grupos más vulnerables, especialmente niños y adultos mayores (47, 25).

En comparación con otros estudios, se observa que esta problemática no es exclusiva de la vereda Sáname. Por ejemplo, Springer y Vargas (2000) en Costa Rica identificaron que más

del 60% de los acueductos rurales analizados presentaban niveles de coliformes fuera de norma, situación atribuida al uso de fuentes superficiales sin procesos de desinfección adecuados, lo que coincide con lo encontrado en Sáname respecto a la ausencia de cloro residual. Además, este estudio remarca la relación directa entre la deficiencia en infraestructura y la recurrencia de enfermedades gastrointestinales en las comunidades rurales. (51)

De manera similar, Hernández et al. (2016) en un análisis de acueductos comunitarios en Colombia señalaron que la falta de capacitación técnica en los operadores, junto con el uso de tecnologías rudimentarias, limitaba la sostenibilidad del servicio y generaba desconfianza en los usuarios. Sus resultados reflejan que más del 40% de los habitantes de las veredas estudiadas preferían hervir o filtrar el agua antes de consumirla, lo cual es consistente con las percepciones reportadas en Sáname.(52)

Por otro lado, López et al. (2012) en Cuba resaltan que los acueductos rurales no solo enfrentan limitaciones en calidad del agua, sino también en gestión administrativa. Los autores enfatizan que la falta de apoyo económico y técnico del Estado genera inequidad en el acceso, recomendando planes de financiamiento público y participación comunitaria como mecanismos para garantizar sostenibilidad. Este hallazgo resulta relevante para el caso de Sáname, donde la administración comunitaria opera con recursos limitados y sin acompañamiento institucional continuo.(53)

Finalmente, Valdebenito et al. (2021) en Chile proponen la incorporación de tecnologías innovadoras de tratamiento (como filtros de membrana y sistemas solares de desinfección) junto con modelos de gobernanza participativa, que fortalecen la confianza comunitaria y mejoran la eficiencia. Esta visión resulta complementaria a lo planteado en este estudio, ya que la integración de soluciones tecnológicas con estrategias educativas permitiría que la

comunidad de Sáname avance hacia un modelo de gestión hídrica más sostenible y resiliente (54)

Finalmente, este diagnóstico no se limita a señalar los problemas, sino que plantea la necesidad de soluciones integrales. Entre ellas se destacan: fortalecer el proceso de cloración y filtración (26), implementar programas de mantenimiento preventivo de la infraestructura, capacitar a la comunidad en prácticas de potabilización doméstica, y promover la conservación del río Sáname y sus microcuencas. Solo la articulación de estos esfuerzos —técnicos, comunitarios e institucionales— garantizará un suministro de agua potable seguro, sostenible y equitativo, mejorando la salud y la calidad de vida de los habitantes de la vereda Sáname.

La sostenibilidad del acueducto comunitario de la vereda Sáname depende de la integración entre la eficiencia técnica del sistema y la participación activa de la comunidad en su gestión. Aunque los resultados demuestran una alta eficacia en la eliminación de microorganismos patógenos, la ausencia de cloro residual, el pH ácido y la desconfianza percibida por los usuarios reflejan debilidades estructurales que ponen en riesgo la inocuidad del agua y la durabilidad del sistema. Estas condiciones son comunes en acueductos rurales latinoamericanos, donde la falta de mantenimiento, recursos y acompañamiento institucional limita la permanencia de los avances logrados. Experiencias en Chile, Perú y Colombia muestran que la sostenibilidad técnica solo se consolida cuando se combina con capacitación operativa, monitoreo continuo y mecanismos de financiación local.

En este contexto, fortalecer la gobernanza comunitaria, la educación sanitaria y los vínculos con instituciones municipales y ambientales constituye la base de una gestión hídrica sostenible. La participación social, especialmente de mujeres y jóvenes, permite consolidar procesos de control, transparencia y sentido de pertenencia, mientras que la implementación

de medidas técnicas simples —como el control de cloro residual y la corrección del pH— puede garantizar la potabilidad a largo plazo. La articulación entre comunidad, autoridad local y entidades de salud representa el camino hacia un modelo de acueducto resiliente, autosostenible y ajustado a las condiciones rurales de la vereda Sáname

6. CONCLUSIONES

El análisis de la eficiencia del acueducto comunitario de la vereda Sáname en Fosca, Cundinamarca, permitió identificar fortalezas y limitaciones en el suministro de agua, integrando aspectos fisicoquímicos, microbiológicos, de infraestructura y de percepción comunitaria. A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el acueducto constituye una estrategia fundamental de autogestión para garantizar el acceso al agua en una zona rural con limitadas alternativas, pero enfrenta deficiencias que comprometen la calidad y seguridad del recurso hídrico.(13, 14)

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, se evidenció variabilidad en la turbidez, especialmente en temporada de lluvias, lo que refleja deficiencias en el proceso de filtración y riesgo de arrastre de sedimentos desde la fuente hídrica. Asimismo, se observaron valores de pH ácidos en puntos intradomiciliarios, situación que puede estar asociada a procesos de corrosión en la red de distribución. Estas alteraciones no solo comprometen la calidad organoléptica del agua, sino que también incumplen con los valores establecidos en la Resolución 2115 de 2007, normativa que regula la calidad del agua potable en Colombia(33).

Para el pH se puede sugerir al acueducto la instalación de un sistema de dosificación de soda cáustica o carbonato de sodio para neutralizar la acidez y llevar el pH al rango normativo, mientras que para el cloro es imperativo implementar un protocolo fijo para la cloración en la red de distribución, monitoreando el nivel de cloro residual en diferentes puntos para asegurar que se mantenga por encima de 0.3 mg/L (10,23,45)

Respecto al componente microbiológico, los resultados demuestran que el acueducto comunitario tiene una alta eficiencia en la remoción de agentes patógenos. La transformación del agua cruda con alta contaminación biológica (valores de Coliformes totales y *E. coli* > 130 UFC/100 cm³) a un estado libre de estos microorganismos (< 1 UFC/100 cm³) es un logro significativo que valida la efectividad del proceso de desinfección y, por ende, la capacidad del sistema para proteger la salud pública (12,16,23,34).

En el plano social y comunitario, las encuestas aplicadas a los usuarios mostraron que la mayoría percibe el agua como aceptable en términos de olor, color y sabor; no obstante, un número importante de personas reportó episodios de turbidez, sabores metálicos y desconfianza (33), (34) frente a la potabilidad del recurso. Igualmente, aunque el servicio es percibido como continuo, se reportaron dificultades relacionadas con la baja presión en viviendas ubicadas en sectores altos y cortes ocasionales del suministro. Estos resultados reflejan que los problemas técnicos impactan directamente en la confianza de la comunidad y en la aceptabilidad del servicio (50,51)

Desde la perspectiva de gestión comunitaria, el acueducto se reconoce como un esfuerzo colectivo valioso que ha permitido suplir la ausencia de un sistema público en la zona rural. Sin embargo, la limitada capacidad técnica y financiera de la comunidad, así como la falta de acompañamiento institucional, restringen la posibilidad de alcanzar estándares adecuados de calidad. El sistema depende en gran medida del trabajo voluntario y del compromiso de los usuarios, lo que garantiza su funcionamiento básico, pero no asegura la sostenibilidad a largo plazo.(52,53)

Se concluye también que es indispensable realizar inversiones en infraestructura, enfocadas en modernizar los procesos de potabilización y distribución. Entre las necesidades más urgentes se encuentran la mejora de los filtros para optimizar la remoción de turbidez, la

implementación de un sistema de cloración automatizado y la rehabilitación de las tuberías en mal estado. Estas acciones permitirían garantizar la calidad del agua, aumentar la confianza de la comunidad y reducir los riesgos asociados al consumo.

TABLA 7: Propuestas de mejora

Horizonte temporal	Acciones recomendadas	Impacto esperado
Corto plazo (0 – 12 meses)	Ajustar la dosificación de cloro para mantener niveles de 0.3 -- 2.0 mg/L.- Implementar monitoreo básico de pH y cloro residual.- Realizar capacitaciones a operarios en desinfección y control de calidad del agua.	Mejora inmediata en la potabilidad y confianza comunitaria; reducción del riesgo sanitario.
Mediano plazo (1 – 3 años)	- Establecer un fondo comunitario de mantenimiento con aportes locales y apoyo municipal.- Implementar pre filtración o sedimentación para reducir turbidez en épocas lluviosas.- Crear convenios con entidades de salud o universidades para análisis periódicos.	Aumento de la sostenibilidad técnica y financiera; fortalecimiento institucional.
Largo plazo (3 – 5 años)	- Incorporar tecnologías apropiadas (filtros de membrana, sistemas solares de desinfección).- Fomentar la participación de mujeres y jóvenes en la administración y operación del acueducto.- Desarrollar un plan comunitario de conservación de la microcuenca del río Sáname.	Consolidación de un sistema sostenible, equitativo y resiliente frente al cambio climático y al crecimiento poblacional.

En síntesis, el acueducto comunitario de Sáname constituye una alternativa vital de abastecimiento, pero enfrenta limitaciones significativas en la calidad del agua y en la sostenibilidad del servicio. La integración de resultados técnicos y percepciones sociales demuestra que garantizar agua potable en zonas rurales requiere un enfoque integral que combine mejoras en infraestructura, fortalecimiento de la gestión comunitaria y acompañamiento institucional. Solo mediante estas acciones será posible avanzar hacia un suministro de agua seguro, sostenible y equitativo, contribuyendo al bienestar de la población y al cumplimiento del derecho fundamental al agua potable. El acueducto comunitario de la

vereda Sáname es parcialmente eficiente. Si bien cumple de manera efectiva con la remoción de la carga biológica inicial, las deficiencias críticas en el mantenimiento del pH y la ausencia de cloro residual libre comprometen la calidad del agua y su seguridad durante la etapa de distribución. Estos hallazgos demuestran la necesidad de implementar un plan de mejora en la operación y el monitoreo de la planta para asegurar un suministro de agua que cumpla plenamente con los estándares de calidad para el consumo humano.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agua para consumo humano . (s/f). Quien.int. Recuperado el 14 de marzo de 2025, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
2. Calidad del agua para consumo humano [Internet]. Gov.co. [citado el 25 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/gestion-institucional/calidad-del-agua-para-consumo-humano>
3. Garzon Barreto NC, Jimenez Prada VP, Leon Avila GP. Calidad bacteriológica del agua de consumo humano de la zona urbana y rural de Guatavita, Cundinamarca. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca; 2009.
4. Bogotá DC. Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano [Internet]. Gov.co. [citado el 10 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-inca-2023.pdf>
5. World health organization (WHO). (s/f). Who.int. Recuperado el 2 de noviembre de 2024, de <https://www.who.int/es>
6. Agua [Internet]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [citado el 14 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://www.fao.org/water/es/>
7. La normatividad vigente CB en lo E en, críticos: se ILS. 3.Puntos críticos para la vigilancia y el control [Internet]. Gov.co. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Protocolos%20de%20Vigilancia%20en%20Salud%20Publica/Agua%20Envasada.pdf>
8. Resolución 000622 de 2020. Gov.co. [citado el 24 de marzo de 2025]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20622%20de%202020.pdf
9. Informe INS 2022 Gov.co. [citado el 14 de noviembre de 2024]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20622%20de%202020.pdf
10. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Gov.co. [citado el 31 de julio de 2025]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf
11. Aryal S. Endo Agar- composition, Principle, Preparation, results, Uses [Internet].

- Microbe Notes. Sagar Aryal; 2022 [citado el 31 de julio de 2025]. Disponible en: [7https://microbenotes.com/endo-agar/](https://microbenotes.com/endo-agar/)
12. ONU-Agua. Resumen actualizado de 2021 sobre los progresos en el ODS 6: agua y saneamiento para todos. https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/12/SDG-6-Summary-Progress-Update-2021_Version-July-2021_SP.pdf
 13. Documento: 20013_fosca-pas-salud-2022.pdf Alcaldía Municipal de Fosca. Plan de acción en salud: Municipio de Fosca, Cundinamarca – 2022. Fosca (Cundinamarca): Secretaría de Salud; 2022.
 14. Plan de desarrollo 2024-2027. Municipio de Fosca [Internet]. Gov.co. [citado el 11 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://mapas.cundinamarca.gov.co/documents/6eb8ea2968e14046af80594de8b55688/about>
 15. Química y Ambiental, D. I. (s/f). José María Obón de Castro. Upct.es. Recuperado el 30 octubre de 2024, de https://www.upct.es/~minaees/analisis_microbiologico_aguas.pdf
 16. 15De vivienda T. 1. Módulo de Viviendas [Internet]. Gov.co. [citado el 11 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/cundinamarca/fosca.pdf>
 17. Alcaldía Municipal. ANÁLISIS DE SITUACIÓN EN SALUD (ASIS) ÉNFASIS EN DETERMINANTES SOCIALES EN SALUD. 2022 nov.
 18. Documento: ASIS FOSCA 2023.pdf Alcaldía Municipal de Fosca. Análisis de situación en salud (ASIS) con énfasis en determinantes sociales en salud: Municipio de Fosca, Cundinamarca – 2022. Fosca (Cundinamarca): Secretaría de Desarrollo Social; 2022.
 19. El ciclo hidrológico [Internet]. Noaa.gov. [citado el 11 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/hidro>
 20. El Caribe CEPAL y. Recursos hídricos [Internet]. Cepal.org. [citado el 14 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/subtemas/recursos-hidricos>
 21. Khan Academy [Internet]. Khanacademy.org. [citado el 21 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-water-cycle>
 22. Gob.mx. [citado el 27 de julio de 2025]. Disponible en: https://www.capa.gob.mx/cultura/pdfs/ciclo_agua.pdf
 23. Renewable internal freshwater resources per capita (cubic meters) [Internet]. World Bank Open Data. [citado el 11 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC>
 24. RESOLUCIÓN 622 DEL 2020 Gov.co. [citado el 24 de marzo de 2025]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20
 25. Analisis Microbiologico de aguas por filtracion. [Internet]. Www.um.es. [citado el 31 de julio de 2025]. Disponible en: <https://www.um.es/web/innovacion/plataformas/ocw/listado-de-cursos/higiene-inspeccion-y-control-alimentario/practicas/analisis-microbiologico>.48RESOLUCIÓN 0082 DEL 2009 Gov.co. [citado el 24 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCI%C3%93N%20082%20DE%202009.pdf>
 26. Romero IM. TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN POTABILIZACIÓN DE AGUA.

- https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf;
2018
27. (S/f). Org.co. Recuperado el 14 de septiembre de 2024, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0366-52322014000200010&script=sci_artt_ext
 28. (S/f). Org.co. Recuperado el 14 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702016000100011&script=sci_artt_ext
 29. Gov.co. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/abc-agua.pdf>
 30. Normatividad. De, D. N. 1575. (s/f). MINISTERIO DE LA•PROTECCIÓN SOCIAL. Gov.co. Recuperado el 28 agosto de 2024, de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/decreto-1575-de-2007.pdf>
 31. Gestor Normativo de la CRA - Resolución 12186 de 1991 MS [Internet]. Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minsalud_12186_1991.htm
 32. Agua y Saneamiento. (s/f). Paho.org. Recuperado el 2 de noviembre de 2024, de <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>
 33. Análisis microbiológico - Unidad de Innovación [InterDe RN ')00012~9. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL [Internet]. Gov.co. [citado el 24 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-1229-de-2013.pdf>
 34. Características Fisicoquímicas del agua envasada para consumo humano [Internet]. Hannacolombia.com. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/blog/post/715/caracteristicas-fisicoquimicas-del-agua-ensada-para-consumo-humano>.
 35. Guía de laboratorio para la vigilancia y control de calidad bacteriológico en muestras de agua para consumo humano. Gov.co. Recuperado el 26 de septiembre de 2024, de <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/guia-para-la-vigilancia-y-control-de-calidad-bacteriologico-en-muestras-de-agua-para-consumo-humano.pdf>
 36. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA Georgetown.edu. [citado el 24 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://pdpa.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>
 37. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Decreto 1077 de 2015 [Internet]. Bogotá D.C.: Diario Oficial; 2015 [citado 2025 Jul 31]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co>
 38. Normatividad. De, D. 1575. (s/f). Departamento Administrativo de la Función Pública . Gobernador.co. Recuperado el 14 de marzo de 2025, de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=30007
 39. Informe Sectorial de los Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado. Gov.co. [citado el 11 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Sectorial-de-los-Servicios-Publicos-Domiciliarios-de-Acueducto-y-Alcantarillado-Vigencia-2022.pdf>.
 40. Gestor Normativo de la CRA - Concepto 1131 de 2024 CRA [Internet]. Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA. [citado el 24 de marzo de

- 2025]. Disponible en: https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/concepto_cra_0001131_2024.htm
41. Gonzalez JPB. Acueductos veredales, actores de gestión y transformación para la salud pública y ambiental de Cachipay-Cundinamarca [Internet]. Edu.co. [citado el 13 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://bdigital.uxternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/6753434e-70cc-47e4-a528-e881168890ba/content4>
 42. Edu.co. [citado el 13 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/3203b92b-27aa-493a-95d2-a6439f02e711/content>.
 43. Calidad del agua de consumo, el cloro residual como indicador [Internet]. Higieneambiental.com. [citado el 31 de julio de 2025]. Disponible en: <https://higieneambiental.com/calidad-del-agua-de-consumo-cloro>.
 44. ENDO LES Agar. Medio para la detección y enumeración de coliformes en aguas y alimentos, por el método de la membrana filtrante [Internet]. Scharlab. [citado el 31 de julio de 2025]. Disponible en: https://www.scharlab.com/in/es/microbiologia/medios-de-cultivo-deshidratados-y-preparados-scharlau/endo_les_agar_9651/01-357-500
 45. Solís-Castro Y, Zúñiga-Zúñiga LA, Mora-Alvarado D. La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha [Internet]. 2018 Mar 22;31(1):35. Available from: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>
 46. Fondos de Agua de América Latina. El reto del agua [Internet]. [citado 17 Sep 2024]. Disponible en: <https://www.fondosdeagua.org/es/los-fondos-de-agua/el-reto-del-agua/>
 47. Genith BEF. Diagnóstico de la calidad del agua de Guapuscal Alto, Funes–Nariño [Internet]. [citado 13 Nov 2024]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/31842/1/gbenriquezsf.pdf>
 48. World Health Organization. WHO.int [Internet]. s.f. [citado 2 Nov 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/es>
 49. Springer M, Vargas J. Calidad bacteriológica del agua potable en acueductos rurales de Costa Rica. Rev Biol Trop [Internet]. 2000 [citado 27 Ago 2025];48(1):139–45. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442000000100008
 50. Hernández J, Vargas O, Rojas J. Percepción de calidad del agua y gestión comunitaria en Colombia. Rev Salud Pública [Internet]. 2016 [citado 27 Ago 2025];18(6):904–12. Disponible en: <https://www.scielosp.org/article/rsap/2016.v18n6/904-912/es/>
 51. López R, García J, Pérez M. Evaluación de la calidad del agua en acueductos rurales de Cuba. Rev Cubana Salud Pública [Internet]. 2012 [citado 27 Ago 2025];38(2):221–31. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032012000200004
 52. Valdebenito J, Pizarro J, Rojas P. Rural drinking water systems in Chile: sustainability and innovation challenges. Inf Technol Control [Internet]. 2021 [citado 27 Ago 2025];32(4):31–45. Disponible en:

https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642021000400031&script=sci_arttext&tlng=en

53. Monsalve ALP, et al. Análisis de calidad de agua rural y salud pública en Valle del Cauca. Rev Agropecu Agroind La Angostura. 2022. Disponible en:
<https://doi.org/10.23850/raaa.v9i1.1651>
54. Instituto Nacional de Salud. Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano (INCA) 2022–2023 [Internet]. Disponible en:
<https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-colombia-2022.pdf>
55. Rodríguez NYG. Plan de acción para la gestión del acueducto comunitario. Universidad Distrital Francisco José de Caldas; 2022. Disponible en:
<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/8f4c880f-bffe-43bc-a73f-ace61e9a6922/content>

8. ANEXOS

8.1 ANEXO A Carta de autorización de investigación.

Fosca, Cundinamarca
01 de marzo de 2024

Señores
Alcaldía Municipal de Fosca
Cundinamarca
Señor alcalde Milton Barbosa

Asunto: Solicitud de autorización para investigación y uso de documentación oficial

Respetado Señor Alcalde:

Nosotras, Laura Sofía Orjuela Garay y Carol Vanessa Forero Vargas, estudiantes del programa de Bacteriología de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, nos encontramos desarrollando el trabajo de grado titulado: “Evaluación de la eficiencia del acueducto comunitario de la vereda Sáname en Fosca, Cundinamarca”.

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos de nuestra investigación, respetuosamente solicitamos la autorización de la Alcaldía Municipal de Fosca para:

1. Realizar el proceso de investigación en campo dentro del territorio del municipio, especialmente en la vereda Sáname.
2. Acceder a la documentación, reportes y registros que sean necesarios para complementar el análisis de la calidad del agua y el funcionamiento del acueducto comunitario.
3. Contar con el respaldo institucional para la toma de muestras y la socialización de resultados con la comunidad.

Este proyecto tiene como finalidad aportar evidencia científica que contribuya al mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua de la vereda, fortaleciendo la gestión

comunitaria y la salud pública de los habitantes.

Agradecemos de antemano su apoyo y disposición para el desarrollo de este trabajo académico, que sin duda beneficiará tanto a la comunidad como a la administración municipal.

Cordialmente,



Laura Sofia Orjuela Garay
Estudiante de Bacteriología
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca



Carol Vanessa Forero Vargas
Estudiante de Bacteriología
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Aprobación:



Alcalde del Municipio de Fosca, Cundinamarca
Milton Barbosa

8.2 ANEXO B Carta de confidencialidad de resultados obtenidos

Fosca, Cundinamarca
09 de agosto de 2025

Señores
Alcaldía Municipal de Fosca
Cundinamarca
Señor alcalde Milton Barbosa

Asunto: Carta de confidencialidad.

Respetado Señor Alcalde:

Por medio de la presente, Laura Sofía Orjuela Garay y Carol Vanessa Forero Vargas, estudiantes del programa de Bacteriología de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca autoras del trabajo de grado titulado “Evaluación de la eficiencia del acueducto comunitario de la vereda Sáname en Fosca, Cundinamarca”, se comprometen a garantizar la confidencialidad de toda la información recolectada durante el desarrollo de la investigación. Esto incluye datos técnicos, resultados de laboratorio, encuestas, imágenes y demás material obtenido en el marco del estudio.

Las autoras declaran que dicha información será utilizada únicamente con fines académicos e investigativos, y se comprometen a:

1. Proteger la información suministrada por la comunidad y las autoridades locales, evitando su divulgación sin autorización previa.
2. Usar los datos recolectados exclusivamente para los objetivos definidos en este proyecto de investigación.
3. Garantizar la privacidad de los participantes, evitando cualquier forma de identificación personal en los resultados publicados.
4. Compartir los resultados consolidados únicamente con la comunidad y entidades correspondientes, en el marco de las finalidades del proyecto.

Esta carta constituye un compromiso formal de confidencialidad, conforme a los principios éticos y normativos que rigen los procesos de investigación académica, y se extiende a todos los datos obtenidos en la ejecución del presente trabajo.

En constancia, se firma en la ciudad de Bogotá, a los nueve (9) días del mes de agosto de 2025.

Sofía 19

Laura Sofía Orjuela Garay
Estudiante de Bacteriología
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Vanessa Forero

Carol Vanessa Forero Vargas
Estudiante de Bacteriología
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Aprobación:



Alcalde del Municipio de Fosca, Cundinamarca

Milton Barbos

8.3 ANEXO C

Encuesta para evaluar la percepción de los usuarios habitantes de la vereda Sáname sobre la calidad del agua del río Sáname usada en el acueducto veredal

Encuesta sobre la calidad del agua del río para el acueducto veredal

Instrucciones

Por favor, lea cuidadosamente cada pregunta y seleccione la respuesta que mejor represente su opinión o experiencia. Responda todas las preguntas con honestidad y proporcione información precisa. La información que proporcione es confidencial y sólo se utilizará con fines académicos.

¿AUTORIZA EL TRATAMIENTO DE DATOS PERSONALES?

SI
NO

FIRMA: _____

Preguntas

1. **¿En qué rango de edad se encuentra?**
 - Menor de 18 años
 - 18 a 29 años
 - 30 a 49 años
 - 50 a 64 años
 - 65 años o más
2. **¿Cuánto tiempo ha vivido en esta vereda?**
 - Menos de 1 año
 - 1 a 5 años
 - 6 a 10 años
 - 11 a 20 años
 - Más de 20 años
3. **¿Sabe usted que es agua potable?**
 - Si
 - No
4. **¿Cuál es la principal fuente de agua potable que utiliza en su hogar?**
 - Acueducto veredal
 - Pozo propio
 - Agua embotellada
 - Otra fuente (especifique)_____

5. **¿En general, está satisfecho con el sabor del agua que ingresa a su hogar?**
 - Muy satisfecho
 - Satisfecho
 - Neutral
 - Insatisfecho
 - Muy insatisfecho
6. **¿En general, está satisfecho[1] con el olor del agua que ingresa a su hogar?**
 - Muy satisfecho
 - Satisfecho
 - Neutral
 - Insatisfecho
 - Muy insatisfecho
7. **¿En general, está satisfecho con el color del agua que ingresa a su hogar?**
 - Muy satisfecho
 - Satisfecho
 - Neutral
 - Insatisfecho
 - Muy insatisfecho
8. **¿Ha notado algún cambio en el sabor, olor o color del agua que ingresa a su hogar en los últimos meses?**
 - Sí
 - No
9. **¿Ha experimentado alguna vez problemas de salud, como enfermedades gastrointestinales como dolor de estómago (tipo cólico), náuseas, vómito, diarrea, etc. o erupciones cutáneas como sarpullido en la piel (manchas rojas que causan comezón) etc, que sospeche que podrían estar relacionados con el consumo de agua que ingresa a su hogar?**
 - Sí
 - No
10. **¿Observa con frecuencia la presencia de residuos sólidos o líquidos, cambios en el color del agua?**
 - Sí, con frecuencia
 - Algunas veces
 - Rara vez
 - Nunca
11. **¿Cree que las actividades agrícolas o ganaderas en la zona podrían estar afectando la calidad del agua del río?**
 - Sí, estoy seguro
 - Es probable
 - No estoy seguro
 - Es poco probable
 - No creo que afecte

12. ¿En su opinión, qué se podría hacer para mejorar la calidad del agua del río y del acueducto veredal?

Implementar mejores prácticas agrícolas y ganaderas

Mejorar el tratamiento del agua en el acueducto

Realizar campañas de educación ambiental

Fortalecer los controles ambientales

Otras acciones

(especifique) _____

13. ¿Le realiza usted algún tipo de tratamiento al agua que consume (hervir, filtrar etc.)?

Sí, con frecuencia

Algunas veces

Rara vez

Nunca

Gracias por su participación.

Si desea agregar algún comentario o sugerencia adicional sobre la calidad del agua del río o el acueducto veredal, no dude en hacerlo en el espacio a continuación.

¡Su colaboración es muy valiosa para nosotros nuestra investigación sobre el “*Análisis de calidad del agua enfocados en la evaluación microbiológica del acueducto veredal, usada para el consumo humano, proveniente del río Sáname, ubicado en la vereda Sáname del municipio de FOSCA Cundinamarca*”.

Estudio realizado por:

Laura Sofia Orjuela Garay

Carol Vanessa Forero Vargas

Estudiantes de bacteriología y laboratorio clínico con énfasis en microbiología industrial de la universidad colegio mayor de cundinamarca

Supervisado por Lady Maricell Casallas Rodríguez

Bacterióloga y laboratorista clínica

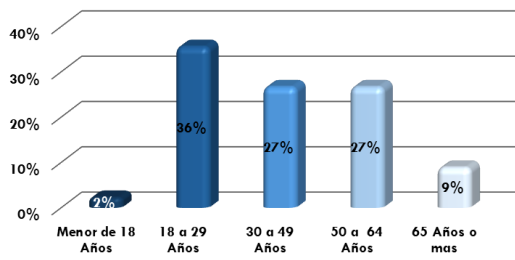
Especialista en Gerencia y auditoria de la calidad en salud

Magister en Microbiología

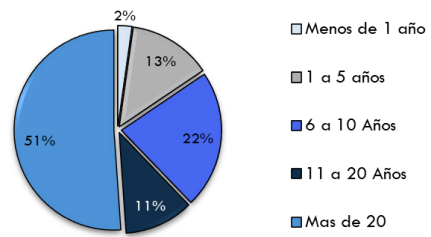
8.4 ANEXO D

Análisis estadístico de las encuestas aplicadas a la población.

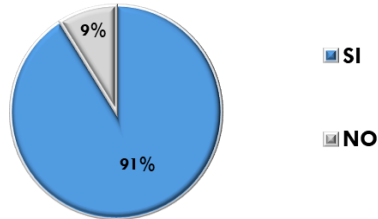
¿En qué rango de edad se encuentra?



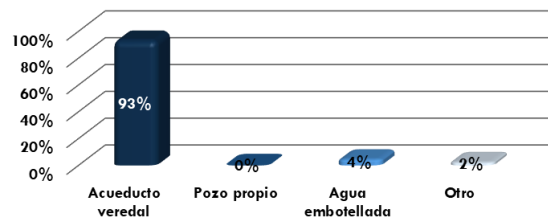
¿Cuánto tiempo ha vivido en esta vereda?



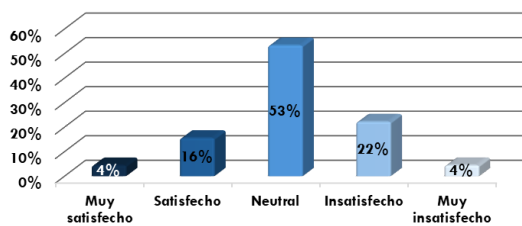
¿Sabe usted que es agua potable?



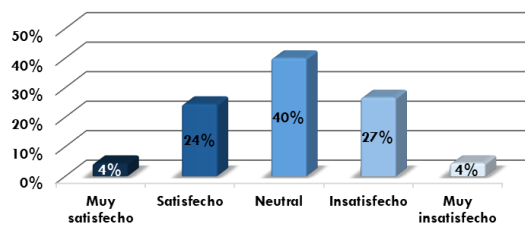
¿Cuál es la principal fuente de agua potable que utiliza en su hogar?



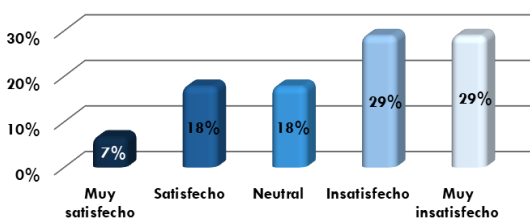
¿En general, está satisfecho con el sabor del agua que ingresa a su hogar?



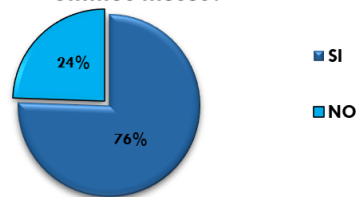
¿En general, está satisfecho con el olor del agua que ingresa a su hogar?



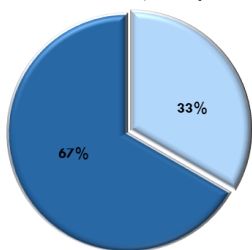
¿En general, está satisfecho con el color del agua que ingresa a su hogar?



¿Ha notado algún cambio en el sabor, olor o color del agua que ingresa a su hogar en los últimos meses?

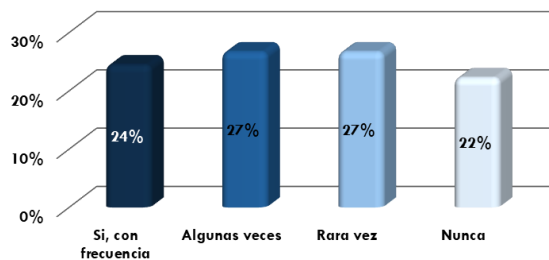


¿Ha experimentado alguna vez problemas de salud, como enfermedades gastrointestinales como dolor de estómago (tipo cólico), náuseas, vómito, diarrea, etc. o erupciones cutáneas como sarpullido en la piel (manchas rojas que causan comezón) etc, que sospech

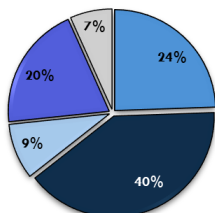


■ SI
■ NO

¿Observa con frecuencia la presencia de residuos sólidos o líquidos, cambios en el color del agua?

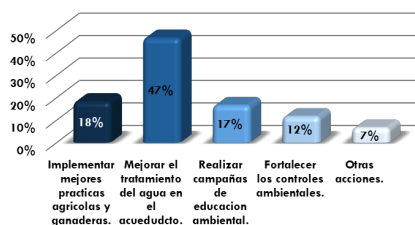


¿Cree que las actividades agrícolas o ganaderas en la zona podrían estar afectando la calidad del agua del río?

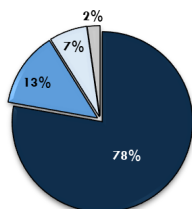


■ Si, estoy seguro
■ Es probable
■ No estoy seguro
■ Es poco probable
■ No creo que afecte

¿En su opinión, qué se podría hacer para mejorar la calidad del agua del río y del acueducto veredal?



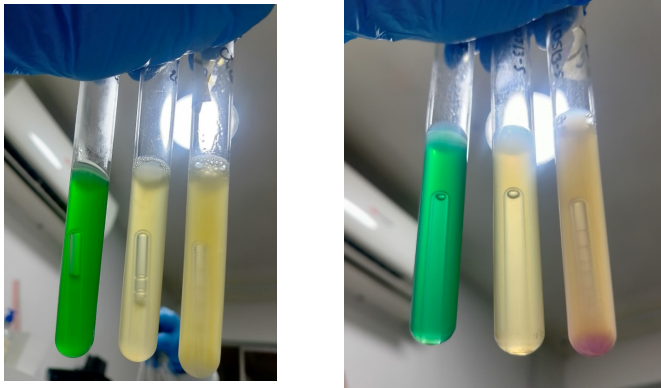
¿Le realiza usted algún tipo de tratamiento al agua que consume (hervir, filtrar etc.)?



■ Si, con frecuencia
■ Algunas veces
■ Rara vez
■ Nunca

8.5 ANEXO E

pruebas confirmatorias para coliformes totales y fecales (caldo verde bilis brillante y caldo lauryl) y pruebas confirmatorias de *E. coli* (caldo *E.C.Mug*) confirmación a través del crecimiento formación de CO_2 y mediante luminiscencia UV



8.6 ANEXO F



ELABORACIÓN Y ENTREGA DE RESULTADOS INFORME ENSAYO DE AGUAS
CÓDIGO IRE-FOR-071. VERSION 8. FECHA: 2024-04-05

microLab
Laboratorios y Asesorías



ISO/IEC 17025:2017
18-LAB-033

En MicroLab Laboratorios y Asesorías S.A.S (marca Impegno®) contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 18-LAB-033, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017

INFORME DE ENSAYO N° MI-11513-25

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA:	CAROL VANESSA FORERO V (Principal)	ENCARGADO:	Vanessa Forero
DIRECCIÓN:	Carrera 71D No.62D 52 Sur (Bogotá D.C.)	TELÉFONO	3143401760

INFORMACIÓN ITEM DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN ITEM DE ENSAYO: Agua de suministro tratada			
ENTREGADO POR:	Carol Vanessa Forero Vargas	LUGAR RECOLECCIÓN:	Acueducto Fosca
FECHA DE RECOLECCIÓN:	2025-08-04	ÁREA DE CAPTACIÓN:	Cloración
FECHA DE RECEP. LAB.:	2025-08-04	PUNTO DE CAPTACIÓN:	Grifo
T° RECEPCIÓN (IN SITU/LAB):	5,9°C	RECOLECTADO POR:	El Cliente
FECHA DE ANÁLISIS:	2025-08-04	FECHA DE INFORME:	2025-08-12

INFORME MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS.	RESULTADO	UNIDAD	U (Incertidumbre expandida) (1)	ESPECIFICACIÓN (2)	REGLA DE DECISIÓN (3)	DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD
Recuento de Escherichia coli (Ensayo acreditado)	SM 9222 H 24th Ed, 2023	*> 130	UFC/100 mL	N.A	0 UFC/100 mL	Sin influencia de la U	NO CONFORME
Recuento de Coliformes Totales (Ensayo acreditado)	SM 9222 B, 24th Ed, 2023	*> 130	UFC/100 mL	N.A	0 UFC/100 mL	Sin influencia de la U	NO CONFORME
Recuento de Aerobios Mesófilos (Ensayo acreditado)	SM 9215 D, 24th Ed, 2023-Filtración por membrana-48 h +/-3 h-mHPC	*> 1.200	UFC/100 mL	N.A	100 UFC/100 mL	Sin influencia de la U	NO CONFORME

8.7 ANEXO G



ELABORACIÓN Y ENTREGA DE RESULTADOS INFORME ENSAYO DE AGUAS
CÓDIGO IRE-FOR-071. VERSION 8. FECHA: 2024-04-05

microLab
Laboratorios y Asesorías



ISO/IEC 17025:2017
18-LAB-033

En MicroLab Laboratorios y Asesorías S.A.S (marca Impegno®) contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 18-LAB-033, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017

INFORME DE ENSAYO N° MI-11515-25

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA: CAROL VANESSA FORERO V (Principal) ENCARGADO: Vanessa Forero
DIRECCIÓN: Carrera 71D No.62D 52 Sur (Bogotá D.C.) TELÉFONO 3143401760

INFORMACIÓN ITEM DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN ITEM DE ENSAYO: Agua de suministro tratada

ENTREGADO POR: Carol Vanessa Forero Vargas LUGAR RECOLECCIÓN: Casa No.1 Fosca
FECHA DE RECOLECCIÓN: 2025-08-04 ÁREA DE CAPTACIÓN: Cocina
FECHA DE RECEP. LAB.: 2025-08-04 PUNTO DE CAPTACIÓN: Lavaplatos -Grifo
T° RECEPCIÓN (IN SITU/LAB): 5,9°C RECOLECTADO POR: El Cliente
FECHA DE ANÁLISIS: 2025-08-04 FECHA DE INFORME: 2025-08-12

INFORME MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS.	RESULTADO	UNIDAD	U (Incertidumbre expandida) (1)	ESPECIFICACIÓN (2)	REGLA DE DECISIÓN (3)	DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD
Recuento de Escherichia coli (Ensayo acreditado)	SM 9222 H 24th Ed, 2023	< 1	UFC/100 mL	+/- 2 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	Con influencia de la U	CONFORME
Recuento de Coliformes Totales (Ensayo acreditado)	SM 9222 B, 24th Ed, 2023	< 1	UFC/100 mL	+/- 2 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	Con influencia de la U	CONFORME
Recuento de Aerobios Mesófilos (Ensayo acreditado)	SM 9215 D, 24th Ed, 2023-Filtración por membrana-48 h +/-3 h-mHPC	108	UFC/100 mL	N.A	100 UFC/100 mL	Sin influencia de la U	NO CONFORME

8.8 ANEXO H



ELABORACIÓN Y ENTREGA DE RESULTADOS INFORME ENSAYO DE AGUAS
CÓDIGO IRE-FOR-071, VERSION 8, FECHA: 2024-04-05

microLab
Laboratorios y Asesorías



ISO/IEC 17025:2017
18-LAB-033

En MicroLab Laboratorios y Asesorías S.A.S (marca Impegno®) contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 18-LAB-033, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017

INFORME DE ENSAYO N° FQ-11514-25

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA: CAROL VANESSA FORERO V (Principal) ENCARGADO: Vanessa Forero
DIRECCIÓN: Carrera 71D No.62D 52 Sur (Bogotá D.C.) TELÉFONO 3143401760

INFORMACIÓN ITEM DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN ITEM DE ENSAYO: Agua de suministro tratada

ENTREGADO POR: Carol Vanessa Forero Vargas LUGAR RECOLECCIÓN: Acueducto Fosca

FECHA DE RECOLECCIÓN: 2025-08-04 ÁREA DE CAPTACIÓN: Cloración

FECHA DE RECEP. LAB.: 2025-08-04 PUNTO DE CAPTACIÓN: Grifo

T° RECEPCIÓN (IN SITU/LAB): 5,9°C RECOLECTADO POR: El Cliente

FECHA DE ANÁLISIS: 2025-08-04 FECHA DE INFORME: 2025-08-13

INFORME FÍSICOQUÍMICO

PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS.	RESULTADO	UNIDAD	U (Incertidumbre expandida) (1)	ESPECIFICACIÓN (2)	REGLA DE DECISIÓN (3)	DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD
Dureza total (Ensayo acreditado)	SM 2340 C, 24th Ed, 2023	40,44	mg CaCO ₃ /L	N.A	Max 300 mg CaCO ₃ /L	Sin influencia de la U	CONFORME
Cloro Libre Residual (Ensayo no acreditado)	Adap. EPA 330.5 DPD, Metodo HANNA	0,00	mg Cl ₂ /L	N.A	0,3-2,0 mg Cl ₂ /L	NO APLICA	NO CONFORME

8.9 ANEXO I



ELABORACIÓN Y ENTREGA DE RESULTADOS INFORME ENSAYO DE AGUAS
CÓDIGO IRE-FOR-071. VERSION 8. FECHA: 2024-04-05

microLab
Laboratorios y Asesorías



ISO/IEC 17025:2017
18-LAB-033

En MicroLab Laboratorios y Asesorías S.A.S (marca Impegno®) contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 18-LAB-033, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017

INFORME DE ENSAYO N° FQ-11516-25

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA: CAROL VANESSA FORERO V (Principal) ENCARGADO: Vanessa Forero
DIRECCIÓN: Carrera 71D No.62D 52 Sur (Bogotá D.C.) TELÉFONO 3143401760

INFORMACIÓN ITEM DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN ITEM DE ENSAYO: Agua de suministro tratada

ENTREGADO POR: Carol Vanessa Forero Vargas LUGAR RECOLECCIÓN: Casa No.1 Fosca
FECHA DE RECOLECCIÓN: 2025-08-04 ÁREA DE CAPTACIÓN: Cocina
FECHA DE RECEP. LAB.: 2025-08-04 PUNTO DE CAPTACIÓN: Grifo
T° RECEPCIÓN (IN SITU/LAB): 5,9°C RECOLECTADO POR: El Cliente
FECHA DE ANÁLISIS: 2025-08-04 FECHA DE INFORME: 2025-08-13

INFORME FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS.	RESULTADO	UNIDAD	U (Incertidumbre expandida) (1)	ESPECIFICACIÓN (2)	REGLA DE DECISIÓN (3)	DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD
Dureza total (Ensayo acreditado)	SM 2340 C, 24th Ed, 2023	46,90	mg CaCO ₃ /L	N.A	Max 300 mg CaCO ₃ /L	Sin influencia de la U	CONFORME
Cloro Libre Residual (Ensayo no acreditado)	Adap. EPA 330.5 DPD. Metodo HANNA	0,00	mg Cl ₂ /L	N.A	0,3-2,0 mg Cl ₂ /L	NO APLICA	NO CONFORME