



Evaluación de la calidad microbiológica del agua para consumo humano en las veredas El Alto del Águila y El Tunal del municipio de Zipaquirá, Cundinamarca

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
Facultad de Ciencias de la Salud
Programa Bacteriología y Laboratorio Clínico
Trabajo de grado
Bogotá, Junio 2022



Evaluación de la calidad microbiológica del agua para consumo humano en las veredas El Alto del Águila y El Tunal del municipio de Zipaquirá, Cundinamarca

**Alisson Tatiana Sánchez Rodríguez
María Fernanda Vásquez Jiménez
Ginett Alejandra Velandia Bernal**

Asesor interno

**Edgar Hernán Beltrán Cruz
Esp. en Salud Ambiental**

**Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
Facultad de Ciencias de la Salud
Programa Bacteriología y Laboratorio Clínico
Bogotá, Junio 2022**



Evaluación de la calidad microbiológica del agua para consumo humano en las veredas El Alto del Águila y El Tunal del municipio de Zipaquirá, Cundinamarca

APROBADA

JURADOS Diana Marcela Alvarez Suarez
Lucia Constanza Corrales Ramirez

ASESOR Edgar Hernán Beltrán Cruz
Esp. en Salud Ambiental

**Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
Facultad de Ciencias de la Salud
Programa Bacteriología y Laboratorio Clínico
Bogotá, Junio 2022**

DEDICATORIA

Este trabajo lo queremos dedicar a nuestros padres por el apoyo incondicional que nos han brindado, dándonos los mejores consejos, guiándonos y proporcionándonos las bases de responsabilidad, humildad y superación las cuales han contribuido a obtener este logro. A nuestros hermanos y abuelas por motivarnos y brindarnos las palabras indicadas para no rendirnos ante las adversidades. A nuestros amigos porque hacen parte de nuestra motivación e inspiración, y por último, pero no menos importante a Dios por permitirnos haber llegado hasta este momento tan importante de formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia queremos agradecer a nuestras familias por ser la principal motivación para el cumplimiento de nuestros sueños; pues son ellos quienes con amor, confianza, paciencia y esfuerzo nos ayudaron a cumplir una meta más. Gracias a cada una de las personas que con palabras o acciones nos impulsaron en cada paso, especialmente a nuestro asesor Edgar Hernán Beltrán y al profesor Luis Eduardo Bejarano por su apoyo, paciencia, colaboración y tiempo dedicado a la realización de este proyecto. De igual forma, agradecemos a la población de Zipaquirá por recibirnos de grata manera y permitirnos el acceso a los sitios de toma de muestra. Así mismo, gracias a nuestros amigos por apoyarnos, darnos palabras de aliento y por las experiencias vividas. Por último, gracias a la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca por darnos su apoyo y a cada docente que participó en nuestra formación profesional.

Tabla de contenido

	Pág.
Índice de tablas	
Índice de figuras	
Anexos	
Resumen	1
Introducción	2
1. Antecedentes	4
2. Marco teórico	17
2.1 Bases teóricas	17
2.2 Bases legales	19
2.3 Marco conceptual	20
3. Diseño metodológico	23
3.1 Tipo y alcance de investigación	23
3.2 Población y muestra	23
3.3 Técnica de muestreo	23
3.4 Hipótesis	25
3.5 Métodos, técnicas y procedimientos	25
4. Resultados	29
5. Discusión	33
6. Conclusiones	38
Referencias bibliográficas	39

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Frecuencias y número de muestras de control para los análisis microbiológicos de Coliformes Totales y <i>E. Coli</i> que deben ejercer las personas prestadoras en la red de distribución.	24
Tabla 2. Resultados de los controles de calidad para la prueba de colilert y pseudalert	29
Tabla 3. Identificación de puntos de muestreo.	30
Tabla 4. Resultados de las muestras de la vereda El Alto del Águila y El Tunal para la prueba de colilert y pseudalert.	30
Tabla 5. Resultados del control de calidad para la prueba de filtración por membrana.	31
Tabla 6. Resultados de la prueba de filtración por membrana para la detección de mesófilos en las veredas El Alto del Águila y El Tunal.	31
Tabla 7. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA en las veredas El Alto del Águila y El Tunal.	31
Tabla 8. Características microbiológicas.	33
Tabla 9. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse	34

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Toma de muestra.	27
Figura 2. Análisis microbiológico utilizando el sustrato colilert, pseudalert y la filtración por membrana.	28
Figura 3. Determinación de fluorescencia para la prueba de Pseudalert.	29

Anexos

	Pág.
Anexo 1. Ley 9 de 1979.	46
Anexo 2. Decreto 1575 de 2007.	46
Anexo 3. Resolución 2115 de 2007.	46
Anexo 4. Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio.	46
Anexo 5. Ficha Técnica Punto de toma.	46



Evaluación de la calidad microbiológica del agua para consumo humano en las veredas El Alto del Águila y El Tunal del municipio de Zipaquirá, Cundinamarca

Resumen

Este estudio busca determinar si el agua distribuida a las veredas El Alto del Águila y El Tunal, cumple con los parámetros microbiológicos establecidos en la normativa vigente. Así mismo, se realizó el análisis de *Pseudomonas aeruginosa* como prueba complementaria, puesto que aunque no se encuentre dentro de la resolución 2115 es un indicador de contaminación que permite junto con los coliformes totales, *Escherichia coli* y mesófilos determinar si el agua es apta o no para el consumo humano. Para ello, se realizó un muestreo de tres diferentes puntos de la red de distribución en cada una de las veredas, para el procesamiento de las muestras se emplearon los métodos de filtración por membrana y sustrato definido. Los resultados obtenidos evidenciaron que el agua en estudio presenta un nivel de riesgo alto de acuerdo al puntaje IRCA, esto ya que en los distintos puntos de muestreo se detectó la presencia de microorganismos por encima de los límites permisibles a lo establecido en la normatividad. De igual forma, se observó crecimiento de *Pseudomonas aeruginosa*, lo que puede ser un indicativo de que el sistema de distribución puede estar presentando un mal manejo en su proceso de tratamiento y además un inadecuado control, de modo que el prestador del servicio debe mantener el estricto seguimiento de los factores que puedan influir en su calidad.

Palabras clave: Calidad, Mesófilos, *Pseudomonas. aeruginosa*, Coliformes totales, *Escherichia coli*, agua de consumo humano.

Sánchez Rodríguez AT, Vásquez Jimenez MF, Velandia Bernal GA.

Edgar Hernán Beltrán Cruz, Esp. en Salud Ambiental

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Introducción

El agua es un recurso esencial para la vida, asegurar su calidad y salubridad son fundamentales para el desarrollo y el bienestar de los seres humanos; es por ello que las personas deben disponer de un abastecimiento suficiente, seguro y accesible. El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial, debido al crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico¹. Aunque el agua potable suele cumplir con los requisitos de sanidad se debe tener en cuenta que algunas veces se contamina con sustancias químicas o microorganismos, lo que repercute gravemente en la salud de las personas. En Colombia al menos 6,2 millones reciben en sus casas agua que representa un alto riesgo para la salud, y 368.000 de ellos están expuestos a que este líquido contenga altas concentraciones de bacterias fecales, virus, parásitos y elementos no biológicos, como minerales y sustancias químicas, lo que la hace inviable para el consumo².

La vigilancia de la calidad del agua en Colombia ha permitido conocer el estado de esta en la mayoría de los territorios, reconociendo factores de riesgo en las fuentes y sistemas de abastecimiento y a su vez identificando las poblaciones vulnerables. Dentro de los factores que intervienen en la calidad se encuentran el sistema de captación, la planta de tratamiento, el riesgo de interrupción, la infraestructura y la vulnerabilidad del sistema de suministro³. En el Informe nacional de calidad del agua para el consumo humano presentado en el año 2016 por la subdirección de Salud Ambiental del Ministerio de Salud se evidenció que uno de cada tres municipios suministra agua de buena calidad mientras que en el resto no es apta para el consumo². Una mala calidad del agua puede deberse a causas naturales tales como la geología del terreno o causas artificiales como la presión antrópica. Sin embargo, la principal fuente de contaminación es la falta de gestión y tratamientos adecuados de los residuos industriales, agrícolas y humanos. Las comunidades con mayor vulnerabilidad a estas causas son las de áreas rurales ya que están expuestas a estos contaminantes con mayor frecuencia lo cual genera un aumento en el consumo de agua cruda. El 28% de la población rural de Colombia enfrenta una situación crítica por la falta de acueducto, es decir, 3.1 millones de colombianos carecen del servicio, siendo Atlántico y el Pacífico las regiones con mayor vulnerabilidad⁴.

Aunque las comunidades han obtenido el servicio de agua se debe tener presente que no necesariamente esta es potable y segura. Teniendo en cuenta esta problemática, este estudio es una aproximación metodológica que pretende conocer la calidad microbiológica del agua para consumo humano de dos veredas ubicadas en el municipio de Zipaquirá Cundinamarca, con el fin de determinar si cumple los parámetros establecidos en la normativa vigente y así poder garantizar a los habitantes que el recurso es apto o no para consumo. Así mismo, es importante tener en consideración que la mejora del acceso y calidad del agua de consumo humano puede proporcionar beneficios tangibles para la salud y que por ello se debe hacer el máximo esfuerzo para lograr que sea tan segura como sea posible.

1. Antecedentes

La calidad del agua para consumo humano presenta gran importancia en la salud pública de la población colombiana, debido a que se relaciona con diversas enfermedades que afectan la salud de los consumidores. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 352 municipios no cuentan con acceso a agua potable y el 60% del agua de los hogares colombianos no están en óptimas condiciones de potabilización⁵. Así mismo, el INS ha determinado que la Enfermedad Diarreica Aguda es una de las causas principales de mortalidad y morbilidad en la primera infancia después del período neonatal⁶. Por esta razón, se debe tener en cuenta la forma de almacenamiento, el uso del agua potable y la calidad de la misma al salir de la planta y en la red de distribución, ya que es una de las principales causas para el desarrollo de Enfermedades Diarreicas Agudas. Es importante tener en cuenta la Ley 9 de 1979⁷, la cual engloba la normatividad establecida a partir de esa fecha para el control de calidad del agua para consumo humano, ver anexo 1. Es por esto, que se debe tener como instrumento vital la vigilancia epidemiológica tanto de los patógenos como de las enfermedades causadas por el consumo de agua contaminada, de esta forma, se pueden determinar medidas preventivas para el control de la calidad del agua y así, disminuir los brotes de dichas enfermedades.

En el trabajo de investigación titulado **Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca**, diciembre 2010, fue presentado por Ávila et al⁸, cuyo objetivo era determinar si el agua para consumo humano del área urbana en el municipio de Bojacá, Cundinamarca, cumple con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la Resolución 2115 de 2007⁹, por lo que realizaron dos muestreos de diferentes puntos de la red de distribución, fuentes naturales y tanques de almacenamiento domiciliario. Se emplearon métodos fotométricos, electrométricos y volumétricos en los respectivos análisis físicos y químicos. Ya para los parámetros microbiológicos se determinaron Coliformes totales y *Escherichia coli* mediante la técnica de filtración por membrana. Se realizaron dos muestreos y en cada uno se tomaron seis muestras de agua, las cuales se recolectaron de acuerdo con la metodología establecida por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 813. Con base en los resultados obtenidos en ambos muestreos se realizó el cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), según lo indicado en la Resolución 2115 de 2007.

El análisis de los resultados permitió evidenciar que la mayoría de las muestras no cumplió con el valor mínimo permisible de cloro residual libre, por lo tanto, según el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), son clasificadas como no aptas para consumo humano. Sin embargo, los demás parámetros analizados incluso los microbiológicos cumplieron los parámetros estipulados en la Resolución 2115 de 2007. No obstante, la calidad del agua debe mantenerse en todo el sistema de distribución, por lo tanto, además de llevar a cabo los procesos de potabilización, el prestador del servicio debe llevar un estricto control de los factores que puedan influir en la calidad del agua. Por otra parte, teniendo en cuenta la Resolución 2115 de 2007 se definieron los términos *Escherichia coli*, coliformes y análisis microbiológico⁹.

Posteriormente se tiene que, para el año 2010, el artículo producto de investigación en la revista NOVA, presentado por Estupiñán et al¹⁰, titulado **Control bacteriológico del agua de la red de distribución "acueducto de las veredas de Nápoles, Ponchos y Sevastopol" en San Antonio de Tequendama**, éste artículo tiene como propósito exponer el control del análisis bacteriológico del agua para consumo humano en el acueducto de las veredas Nápoles, Ponchos y Sevastopol en San Antonio del Tequendama, donde se emplearon indicadores de contaminación microbiológica, como coliformes totales y *Escherichia coli*, para verificar su calidad y evitar la propagación de las enfermedades. Por otra parte, cabe resaltar que el hallazgo de indicadores se relaciona con posibles patógenos en dichas aguas. Para reforzar los conceptos de los términos acueducto y microbiología se consultó la página de la Real Academia Española¹¹ y la página de la Universidad de los Andes¹².

Para el análisis se tomaron 15 muestras de agua durante los meses de mayo, junio y julio en cinco puntos de la red de distribución con el fin de observar la variabilidad microbiológica y a su vez poder verificar los resultados obtenidos. El procesamiento de las muestras se llevó a cabo mediante la técnica de filtración por membrana y para realizar el recuento en UFC/100 mL de las bacterias se utilizó agar endo para coliformes totales y agar M-FC para *Escherichia coli*. La identificación de los microorganismos aislados se realizó mediante pruebas bioquímicas. Los resultados de este estudio muestran que el agua analizada no es apta para el consumo humano debido a que en los diferentes puntos de muestreo se encontró la presencia de coliformes totales y *Escherichia. coli*, lo que es indicativo de que los parámetros se encuentran fuera del rango que se indica en la Resolución 2115 del 2007. Finalmente, se demuestra que la exposición a los indicadores de contaminación representa un riesgo para la

salud de los consumidores, los cuales pueden llegar a presentar diversas enfermedades a causa del agua, ya que esta presenta resultados mayores a 0 UFC/100mL. Además, se aconseja a la población utilizar medidas de prevención para el manejo del agua de consumo y la eliminación de los desechos, pues al realizar el reconocimiento de factores y puntos de contaminación se evidencio que las posibles causas podrían deberse a perforaciones, componentes de desecho, material orgánico, partículas extrañas, material inadecuado presente en algunos tramos de la tubería como es el galvanizado, la inadecuada infraestructura, la falta de lavado o desinfección, proliferación de algas, ausencia de malla de protección y estancamiento del agua. Por lo que a su vez también se recomienda realizar el mantenimiento, desinfección y limpieza de tanques de almacenamiento y cámaras de quietamiento, así como el cambio de las tuberías de material galvanizado y las que presentan perforaciones y fugas.

También, se consultó el trabajo de investigación sobre la **Determinación de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales) en los tanques de abastecimiento de agua de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas sedes Macarena A y B**, por Poveda et al¹³, realizado en diciembre de 2010; se quería determinar durante los meses de agosto a octubre cuál era la calidad del agua que provenía de los tanques de abastecimiento de la Facultad de Ciencias y Educación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, teniendo en cuenta el constante flujo de personas como estudiantes, docentes, personal de mantenimiento, aseo, vigilancia, entre otros. Para las muestras fueron seleccionados 8 puntos de muestreo en la Facultad de Ciencias y Educación, los cuales eran lugares como tanques de almacenamiento, abastecimiento, baños que son de fácil acceso para la toma y transporte de la muestra siguiendo las normas NTC-ISO 5667-1. Las pruebas se realizaron mediante el uso de indicadores bacterianos de contaminación fecal y se complementaron con análisis fisicoquímicos, ya que el agua potable para consumo humano debe cumplir con las condiciones indicadas en el Decreto 1575 de 2007¹⁵ y en la Resolución 2115 de 2007⁹. Se concluyó que el agua de los tanques de abastecimiento cumplió con la normativa y resolución para el análisis fisicoquímico como para el microbiológico, mientras que los baños si presentaron algunas alteraciones por lo que se recomendó hacer reformas en la parte estructural de estos.

Así mismo, en noviembre de 2011 se presenta por Ávila et al¹⁴, el artículo titulado **Calidad bacteriológica del agua de consumo humano de la zona urbana y rural del municipio de**

Guatavita, Cundinamarca, Colombia; en el cual se analizó la calidad bacteriológica del agua de consumo humano de la zona urbana y rural de Guatavita. El análisis se efectuó en las veredas Corales, Potrero largo, y Carbonera Alta mediante el método de filtración por membrana para recuento de coliformes totales y *Escherichia coli*. En cuanto a los resultados teniendo en cuenta lo establecido en la Resolución 2115 de 2007 se encontró que en los recuentos de coliformes totales y *Escherichia coli*, obtenidos en cada una de las muestras tomadas en la zona urbana de Guatavita, el agua es apta para el consumo humano. Mientras que al análisis bacteriológico realizado en el agua de consumo de las veredas Corales, Potrero largo y Carbonera Alta no se considera apta para el consumo humano, ya que se detectó la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esta agua no ha sido sometida a ningún tratamiento de potabilización, por lo que se considera agua natural o cruda. Ver D.1575 y R. 2115 al respecto. Así mismo, se tuvo en cuenta el Decreto 1575 de 2007 para definir los términos de agua cruda, agua potable y calidad del agua¹⁵.

El análisis de los resultados permitió determinar que, aunque los habitantes de estas veredas cuentan con un pretratamiento básico que consta de un desarenador y filtrador que se encuentra en las bocatomas, no es suficiente debido a que no cumple con las funciones adecuadas, ya que permite que el recurso hídrico llegue a los hogares en condiciones que lo hacen no apto para el consumo. A esto se suman las fallas en el sistema de distribución donde el agua puede contaminarse a través de conexiones cruzadas, rotura de las tuberías del sistema de distribución, conexiones domiciliarias, cisternas y reservorios defectuosos, grifos dañados y durante el tendido de nuevas tuberías o reparaciones realizadas sin las mínimas medidas de seguridad.

Crocker et al¹⁶, en julio de 2014, en su artículo titulado **Comparación y análisis de costos de los requisitos de monitoreo de la calidad del agua potable versus la práctica en siete países en desarrollo**, permite mostrar las prácticas de monitoreo de agua en países de escasos recursos como Colombia, India, Camboya, Jordania, Perú, Sudáfrica y Uganda, para ello, se evaluó la calidad del agua buscando microorganismos como *Escherichia coli* y bacterias productoras de H₂S, además, se realizaron monitoreos operativos e independientes según las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre el monitoreo y la calidad del agua. El artículo tiene como objetivo evaluar la calidad del agua en relación con la falta de recursos financieros en los países anteriormente mencionados, pues, antes de esta

fecha, no existían datos sobre esto. En el caso de India, como las funciones gubernamentales para el agua potable están descentralizadas a nivel estatal, sólo se tomaron tres de los estados más poblados: Maharashtra, Uttar Pradesh y Bengala Occidental.

La recopilación de datos se realizó mediante entrevistas y encuestas con empleados de organizaciones involucradas en el monitoreo, observación en laboratorios, viajes de muestreo y recopilación de registros de pruebas de laboratorio. Para el objetivo del estudio se realizaron seis entrevistas y dos observaciones de monitoreo en práctica. Algunos de los trabajadores entrevistados indicaron que los estándares no se regulan con frecuencia y muy pocas veces se controlan, lo que refleja una pérdida de tecnologías en el país. También se encontró que el monitoreo por vigilancia es el tipo de control más utilizado, seguido por el monitoreo operativo. Esto se debe a que, para cada sitio de estudio, el gobierno establece los requisitos de monitoreo en políticas, regulaciones y estándares. Para aquellos sitios que requieren tanto monitoreo operativo como vigilancia, el monitoreo operativo implica un muestreo más frecuente, más puntos de muestreo, una gama más amplia de pruebas y laboratorios de vigilancia. Mientras que el monitoreo de vigilancia generalmente está a cargo de los departamentos de salud y se basa en redes de laboratorios descentralizados para monitorear todos los suministros de agua.

En el análisis se encontró que los suministros entubados son los que más se analizan en los países de estudio, ya que las tuberías suministran agua a una gran proporción de personas, lo que lleva a los investigadores a poder tomar una sola muestra, analizarla y dar un informe. Se evidencio que en los países donde se realizó el estudio hay pocos recursos para analizar el suministro de agua que llega a las poblaciones, aunque los laboratorios están regulados por la ley, no hay enfoques actuales que permitan la regulación del agua debido a un costo muy alto para los laboratorios.

Se concluyó que el monitoreo de la calidad del agua potable plantea desafíos para las organizaciones responsables de la recolección y análisis de muestras. Una alternativa para mejorar esto sería la incorporación de pruebas de campo en el monitoreo o la vigilancia operativa, ya que estas pueden tener una precisión similar a las pruebas de laboratorio. Ejemplo de ello es la prueba presencia-ausencia o en incubadoras portátiles para coliformes y *Escherichia coli*. El déficit se encuentra principalmente en el monitoreo operativo de pequeños suministros y el monitoreo de vigilancia donde el riesgo es mayor, puesto que los

suministros de agua que abastecen a poblaciones más pequeñas a menudo no se mejoran, y aunque las fuentes no mejoradas a veces pueden proporcionar agua segura, tienen una variación mucho mayor en calidad. En todos los países del estudio, existen pocos enfoques para monitorear el suministro de agua potable, y el monitoreo es impulsado por la regulación. Si se tiene en cuenta un replanteamiento de los enfoques de monitoreo utilizados para los suministros de agua no canalizados que tienen más probabilidad de estar contaminados pero que reciben la menor atención de seguimiento se podría generar ahorros sustanciales y mayores beneficios del monitoreo.

Así mismo, se consultó el artículo publicado en el año 2014 por Revista Chilena de Infectología, el cual se titula **Enfermedad diarreica aguda por *Escherichia coli* patógenas en Colombia**, escrito por Gómez¹⁷, de la Universidad Nacional de Colombia. Este artículo, tiene como objetivo principal difundir los conocimientos sobre la epidemiología y la microbiología de las cepas de *Escherichia coli* asociadas a las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs) en la población infantil. Por esta razón, se da a conocer la importancia de llegar a una vigilancia de la epidemiología de estos patógenos como un instrumento de vital importancia para determinar las medidas preventivas para disminuir la morbilidad y mortalidad en el país. Se tuvo en cuenta la página de la Real Academia Española para definir los términos morbilidad¹⁸ y mortalidad¹⁹. Con base en estos estudios se reportó la presencia de *Escherichia coli* productora de toxina Shiga y *Escherichia coli* enteroagregativa. Según estudios realizados en el Caribe colombiano se pudo concluir que entre 0.8 y 5 millones de niños menores de 5 años mueren a causa de EDAs, siendo la segunda causa de morbilidad en el país. Sin embargo, se debe considerar que Colombia no cuenta con una vigilancia epidemiológica de EDA a causa de cepas patogénicas de *Escherichia coli*.

Para mayo de 2015, Villamizar et al²⁰, en el trabajo de investigación sobre **Metodología rápida y sencilla para la determinación de colifagos somáticos como indicadores de contaminación fecal en una planta de tratamiento de agua localizada al noreste colombiano**, se tiene como objetivo verificar la eficiencia del proceso de potabilización y así mismo evaluar la calidad del agua, mediante la adaptación de una metodología para determinar la presencia de colifagos somáticos, tomándose como punto de muestreo una planta de tratamiento localizada en el Noreste de Colombia. El estudio fue descriptivo, primero se realizó una distribución bivariada del recuento de coliformes por etapa de evaluación y posteriormente se obtuvo la distribución de las muestras positivas/negativas en

las muestras de agua de las distintas etapas de potabilización, en periodo seco, lluvioso y de almacenamiento. Se complementó con técnicas como la cuantificación de coliformes totales y *Escherichia coli*, preparación de la cepa hospedera de *Escherichia coli*, aislamiento de colifagos, cuantificación de colifagos por el método de capa simple, determinación del porcentaje de remoción microbiana y análisis estadístico, lo cual permitió conocer la eficiencia de los métodos empleados para identificar la presencia de bacteriófagos antes, durante y después del tratamiento del agua en la planta, demostrando que estos son resistentes a los procesos de desinfección que se llevan a cabo especialmente en periodos de lluvia, lo cual sugiere que se debe realizar un análisis de rutina para garantizar la calidad del agua para consumo humano.

Para el año 2016, se presentó un trabajo de grado del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por parte de Zafra et al²¹, titulado **Evaluación de la calidad del agua en la planta potabilizadora El Dorado (Bogotá D. C.) a través del análisis estadístico de series de tiempo**, en el cual se plantea como objetivo general, evaluar la calidad del agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable El Dorado, por medio de análisis estadístico de series de tiempo durante el periodo 2004-2015. Para el desarrollo de este trabajo de investigación, se utilizó una metodología basada en siete fases. La primera consistió en la recolección de datos y revisión bibliográfica. En la segunda fase se plantearon las hipótesis a las cuales se les quería dar solución mediante la investigación. Para la tercera fase, se construyó un modelo matriz causa-efecto, el cual permitió establecer relaciones entre las acciones y efectos. La cuarta y quinta fase, tuvo como objetivo evaluar la información desde un enfoque estadístico. Finalmente, en la sexta y séptima fase, se construyó el modelo ARIMA y se realizó un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en las fases cuatro y seis. En este artículo, se logró evidenciar, respecto a los parámetros de calidad del agua tratada en la planta, que había una elevada variabilidad en las concentraciones registradas. Además, los porcentajes de incumplimiento respecto a la legislación colombiana no fueron mayores al 2%. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar que el agua suministrada fue apta para el consumo humano y no representó ningún riesgo para la salud humana; reflejando un eficiente tratamiento de potabilización.

De igual manera, se consultó el artículo titulado, **Un ensayo controlado aleatorizado por conglomerados para reducir las enfermedades diarreicas y los factores de riesgo entomológicos del dengue en escuelas primarias rurales de Colombia**, el cual fue

publicado en el año 2016, por Overgaard et al²²; allí se plantea que muchas enfermedades tropicales coexisten en las mismas áreas y tienen factores de riesgo y estrategias superpuestos para el control y la prevención. Las enfermedades diarreicas son un importante problema de salud mundial que tiene factores de riesgo en contenedores de almacenamiento de agua. Cuando el suministro de agua limpia es inadecuado, el almacenamiento de agua es fundamental. La contaminación fecal del agua almacenada es una fuente común de enfermedades diarreicas. Los autores, para el desarrollo de este artículo, tomaron muestras de agua potable de grifos y filtros de agua en las escuelas rurales. Se realizaron intervenciones dirigidas a los factores de riesgo sobre la diarrea, ya que, la provisión de filtros de agua, el lavado de manos, la limpieza y la tapa de los recipientes de almacenamiento de agua pueden reducir eficazmente la exposición al agua contaminada con heces en los escolares de estos entornos. Este estudio se realizó en las escuelas primarias rurales del municipio de Anapoima y La Mesa, donde se obtuvieron datos de 1.301 alumnos, de los cuales 772 correspondían a La Mesa y 529 en Anapoima. Hay que tener en cuenta que la razón más común de ausencia fue el resfriado común (38%), fiebre inespecífica (10,3%), diarrea (7,8%) y dolor de estómago y vómitos (7,1%). Otras ausencias por enfermedades fueron lesiones (6,2%), dolores de cabeza (5,3%), indigestión (3,3%), inflamación de garganta (2,9%), problemas dentales (2,7%), infección de oído / dolor de oído (2,2%), asma (1,9%), dengue (1,5%), problemas de piel (1,4%) y varicela (1,2%). Las intervenciones integradas dirigidas a esta enfermedad en un contexto escolar siguen siendo prometedoras debido a la reducción de la mejora de la calidad del agua, así como a los beneficios educativos. Sin embargo, para mejorar los resultados en futuros enfoques integrados, las intervenciones simultáneas en las comunidades, además de las escuelas, deben tenerse en cuenta; utilizando combinaciones apropiadas de intervenciones específicas del sitio, efectivas, aceptables y asequibles.

Para mayo de 2016, se presenta por Hodge et al²³, el artículo **Evaluación de la asociación entre coliformes termotolerantes en el agua potable y diarrea: un análisis de datos a nivel individual de múltiples estudios**, donde el objetivo es la investigación entre el TTC en el agua potable y la diarrea utilizando datos de siete estudios anteriores. Para ello, se obtuvieron datos a nivel individual de los estudios de campo disponibles que medían los niveles de TTC en el agua potable de los hogares y se reportó la prevalencia de diarrea entre los miembros del hogar durante los días previos a la visita. En cada estudio, la prevalencia de diarrea se obtuvo durante la misma visita domiciliaria en la que se recolectaron las muestras de agua. El equipo de investigadores obtuvo una muestra de agua potable preguntando a la

cabeza de familia qué agua almacenada usaban para beber en ese momento. Los ensayos microbiológicos se realizaron utilizando métodos estándar de filtración por membrana con medio de lauril sulfato de membrana.

Por otra parte, la extracción y síntesis de los datos permitió obtener la prevalencia de diarrea para los jefes de hogar individuales, se combinaron en un conjunto de datos que retuvo las variables de edad, identificador del hogar, identificador del estudio para cada individuo y si el individuo informó haber tenido diarrea durante los siete días anteriores en cada ronda de seguimiento. El conjunto de datos combinados incluyó la prevalencia de diarrea para 26.518 personas y 8.000 muestras de agua de 4.017 hogares, lo que arrojó 45.052 observaciones. Las probabilidades de diarrea aumentaron un 18% para niños menores de 5 años y un 12% para todas las edades. Los resultados permiten concluir que los datos a nivel individual muestran un mayor riesgo de diarrea con niveles crecientes de TTC en el agua potable. Esto sugiere una asociación entre el agua contaminada con heces y las enfermedades diarreicas, lo cual, respalda el uso continuo de objetivos basados en la salud para los niveles de TTC en agua potable para prevenir la diarrea. Sin embargo, este estudio tiene un potencial limitado para la inferencia causal, y se necesitan más investigaciones para caracterizar la relación entre la contaminación fecal del agua potable medida por TTC y la enfermedad diarreica.

Por otro lado, para el año 2016, Navia et al²⁴, en su trabajo de investigación sobre **Calidad bacteriológica del agua Vereda El Charco, San Miguel de Sema, Boyacá- Colombia**, se plantea como objetivo, determinar la calidad bacteriológica del agua en la red de distribución del acueducto veredal El Charco que se encuentra ubicado en el municipio de San Miguel de Sema, Boyacá-Colombia. Para el desarrollo de esta investigación, se realiza toma de muestras de seis diferentes puntos en la vereda del Charco ubicado en el municipio de San Miguel, donde se llevó a cabo la determinación de los indicadores bacterianos según las recomendaciones del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, por medio del método de filtración de membrana. De igual forma se realizó la identificación de microorganismos por medio de BBL Crystal. Para la época de toma de muestras que eran en septiembre y octubre, la Laguna de Fúquene se desbordó y aumentó la corriente del Río Suárez, esto provocó una inundación en el 80% del territorio municipal, donde se contaminaron las fuentes hídricas, por lo tanto, para la época en la que se tomaron las muestras, estos sucesos influyen en los recuentos obtenidos, ya que microorganismos pertenecientes al grupo de los coliformes y *Enterococcus* son habitantes normales del suelo y

su número puede aumentar durante las épocas de lluvia. Esto permitió determinar que, debido al aumento de lluvias, éstas pueden mezclarse con contaminantes que pueden estar sobre el suelo, filtrarse y de esta manera llegar a las aguas subterráneas y contaminarlas. Y así mismo se identificó que las zonas más vulnerables de la red de distribución son los tanques que durante largo tiempo no reciben ningún tipo de limpieza y mantenimiento, convirtiéndose en focos infecciosos de riesgo para la salud. Tener en cuenta para el concepto aguas subterráneas la página web Enciclopedia medioambiental²⁵.

Para el año 2017, Fajardo et al²⁶, en su artículo titulado **Calidad del agua y características habitacionales de un barrio en Bogotá**, establece como objetivo la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua que los habitantes del barrio Villa Cindy consumen, y así mismo, evaluar las condiciones de habitabilidad que estos residentes tienen. Se realizó el estudio por medio de métodos fisicoquímicos como alcalinidad total, calcio, cloro residual, conductividad, entre otros. Y análisis microbiológicos tales como recuento de *Escherichia coli*, mesófilos aerobios y coliformes totales, el muestreo se realizó en 25 viviendas de las cuales el 80% contaban con una buena infraestructura de servicios públicos, mientras que el 20% restante se encontraban ubicadas en sitios subnormales cerca de la ribera del río Bogotá que no tenían servicio de alcantarillado, luz y agua. Las muestras de agua tomadas en las casas tanto formales como informales, cumplen adecuadamente con los parámetros que están especificados por el Ministerio de Salud para su consumo, puesto que los valores se encontraron dentro de los rangos aceptados por la Resolución 2115 de 2007. Se debe tener en cuenta que el agua es primordial y necesaria para todos los seres humanos, que forma parte de los procesos naturales, e impacta toda la vida, razón por la cual es indispensable mantener un monitoreo constante sobre su calidad. Por ello, la alcaldía de Bogotá debe implementar un control y reubicar las viviendas de la ribera del río y a las familias que allí habitan.

Además, se consultó el artículo de investigación **Evaluación de alternativas de bajo costo para la potabilización de agua en las aldeas de palafitos de la Ciénaga Grande de Santa Marta**, presentado en enero de 2020, por Lugo et al²⁷, en el cual se expone la importancia de la depuración del agua para garantizar un consumo humano seguro con el fin de prevenir enfermedades. Esto requiere una serie de procesos de tratamiento de agua que necesitan inversión. Sin embargo, las limitaciones económicas de las comunidades rurales dificultan su capacidad para implementar dichos sistemas de tratamiento de agua, como es el caso de Ciénaga Grande de Santa Marta en Colombia. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue

evaluar procesos de agua no convencionales y de bajo costo para purificar el agua del punto de recolección de dos caseríos de palafitos en Ciénaga Grande de Santa Marta. Los métodos incluyen coagulación con *Moringa Oleifera* y *Cassia Fistula*, filtración a través de un filtro de bioarena y un filtro de carbón activado; y desinfección mediante Radiación UV-C y desinfección solar. En este estudio de calidad de agua, se determinaron los siguientes parámetros físico-químicos y microbiológicos: la conductividad y el pH se analizaron por el método electrométrico, la turbidez se analizó mediante el método nefelométrico, la alcalinidad, dureza total y cloruros se determinaron por el método volumétrico. En el caso de los sulfatos y nitratos fueron determinados por espectrofotometría. Además, se realizó la toma de la temperatura y para el análisis de coliformes totales se utilizó el método de filtración por membrana. Una vez evaluada la calidad microbiológica y físico-química del agua, se emplearon la *Moringa Oleifera* y *Cassia fistula* para eliminar el material en suspensión del agua cruda. Posteriormente, se estudió el proceso de desinfección mediante dos técnicas diferentes, lámparas SODIS y UV-C. Finalmente, los resultados mostraron una reducción de los valores de turbidez entre 52% y 96% utilizando los dos coagulantes naturales; se debe tener en cuenta que la moringa siempre fue más eficaz que la cañandonga. Además, tanto la turbidez como los coliformes totales lograron reducciones de 98,4% y 76,9%, respectivamente, en el proceso de filtración; y remoción de coliformes totales hasta 98.8% en el proceso de desinfección. A pesar de las altas tasas de reducción en los diferentes parámetros, el agua no cumple con los límites recomendados según la resolución 2115 de 2007.

Así mismo, se consultó en el artículo titulado **Calidad bacteriológica del agua de un acueducto comunitario de la localidad de Usme, Bogotá, D.C.**, presentado por Estupiñan et al²⁸, en mayo de 2020. El estudio realizado tuvo como objetivo determinar la calidad bacteriológica del agua de un acueducto comunitario en la Localidad de Usme, mediante la técnica de filtración de membrana usando los indicadores de contaminación Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus*. Para el análisis se seleccionaron 8 puntos del acueducto comunitario, según la Resolución 2115 de 2007 y de acuerdo con el número de habitantes, se tomó una muestra mensual durante 4 meses (mayo, junio, septiembre y diciembre). Las muestras se procesaron por la técnica de filtración por membrana y se utilizaron los siguientes medios para el recuento de los indicadores: para los coliformes totales, medio Endo, para *Escherichia coli* se utilizó el medio MF-C y para los *Enterococcus* el agar azida. Para el control positivo de Coliformes y *Escherichia coli* se utilizó la cepa

ATCC 35922 y para *Enterococcus* la cepa *Enterococcus faecalis*, como control negativo se utilizó agua destilada estéril. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar que el agua no cumple con la normatividad vigente según la Resolución 2115 de 2007⁹ y la Norma Técnica Colombiana 813, ya que todas las muestras superaron los índices establecidos para cada uno de los indicadores. Además. Se realizó un mapa de riesgo el cual reveló que la población que utiliza este recurso está expuesta a sufrir enfermedades diarreicas ya que el acueducto comunitario tiene focos de contaminación provocando que el agua no tenga las condiciones necesarias para su consumo.

Por último, se tiene que, para noviembre de 2020 fue presentado a la Revista NOVA el artículo titulado **Características bacteriológicas, físicas y pH del agua de consumo humano del municipio de Une-Cundinamarca**, por la docente Estupiñán et al²⁹; el cual tiene como objetivo determinar las características bacteriológicas, físicas y de pH del agua para consumo humano que abastece al municipio de Une, Cundinamarca-Colombia. El muestreo se realizó en las veredas Puente Tierra, Timasita, San Isidro, Olla de Pastores, Salitre y el Casco Urbano. Para el análisis microbiológico, se utilizó el método de filtración por membrana para el recuento de coliformes totales y *Escherichia coli*. Además, se tuvieron cepas que se utilizaron para el control positivo las cuales fueron *Escherichia coli* ATCC 35218 y *Enterococcus faecalis*. Los análisis fisicoquímicos de pH, turbiedad y color se realizaron por los métodos potenciométrico, turbidimétrico y fotométrico respectivamente.

Además, se tuvieron en cuenta diversos factores que se consideran como posibles causas de contaminación como fueron: estado de la tubería, canalización de aguas negras, desechos de basura, pozos sépticos, presencia y mantenimiento de animales domésticos, de granja, entre otros. El 76,9% de las muestras analizadas presentaron recuentos que oscilaron entre 40 y 65 UFC/100 mL para coliformes totales, mientras que en solo tres puntos de muestreo (23,1%) el recuento para este indicador fue 0 UFC/100 mL. En cuanto a los análisis de los parámetros fisicoquímicos, los resultados obtenidos para el pH oscilaron entre un rango de 4.0 a 6.0 con un promedio de 5.23. Los anteriores resultados indican que el agua está contaminada, las fuentes de contaminación pueden incluir fugas del alcantarillado y desechos animales, entre otros. Estos contaminantes pueden ingresar al suministro de agua a través de grietas o agujeros en la red de distribución. Para definir el término pozos sépticos, se tuvo en cuenta la página web Progresar e.s.p.³⁰.

Los artículos y trabajos consultados, conducen y orientan esta investigación ya que, se observan técnicas de análisis y valores paramétricos de diversas metodologías empleadas tales como pH, turbidez, conductividad y color aparente para los parámetros fisicoquímicos, mientras que para los parámetros microbiológicos, se llevó a cabo la filtración por membrana y la técnica de sustrato definido, con el fin de indicar la calidad del agua para consumo humano en diversas zonas de Colombia, entre las cuales se evidenciaron rurales y urbanas. Así mismo, se debe tener en cuenta que los procesos de tratamiento de aguas tienen limitaciones debido al alto costo que estas necesitan para implementar dicho proceso. Por esta razón, en diversas zonas rurales se dificulta el acceso a un agua apta para consumo humano, lo cual favorece los brotes o presencia de diferentes enfermedades. El aporte de los profesionales presentes en cada uno de los estudios analizados, brindan un apoyo, el cual permite construir conocimientos nuevos a través de la fundamentación teórico-práctica y el análisis de bases de datos, con el fin de construir una mejor calidad de vida de las comunidades que consumen o hacen uso de esta agua. Se requiere información sobre la calidad del agua del acueducto de Zipaquirá y el acueducto veredal el Tunal, en el Inventario Nacional de calidad del Agua u otras fuentes.

2. Marco teórico

2.1. Bases teóricas

El agua es fundamental para la vida y se considera el recurso natural más importante del mundo. Cuando esta se encuentra contaminada con sustancias químicas, sedimentos, microorganismos o residuos humanos o animales existe un gran riesgo tanto para la población como para este recurso hídrico. Por lo tanto, el control de la potabilidad y calidad es muy importante teniendo en cuenta que el agua es un vehículo de transmisión de enfermedades, es por ello que se ha implementado con mayor rigor, no sólo el análisis de las características fisicoquímicas sino también las características microbiológicas.

Los indicadores microbiológicos son una alternativa a las limitaciones de los parámetros fisico-químicos, es decir que son complementarios. Se basan en el uso de organismos vivos que tienen un comportamiento similar a microorganismos patógenos cuya procedencia, concentración, hábitat y reacción a factores externos es igual al de la mayoría. Su presencia determina la existencia de patógenos y permite comparar sus reacciones a cambios de pH y temperatura o aplicación de medios físicos o químicos de desinfección, con la ventaja de ser más fácilmente cultivables o identificables, y económicamente factibles³¹.

El uso de bioindicadores está regulado por la Resolución 2115 de 2007⁹, “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”, donde en el artículo 11 se establecen los valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y técnicas que permitan la detección desde 1 UFC o 1 microorganismo en 100 cm³ de muestra.

El grupo bacteriano que cumple con las características de potencial bioindicador de calidad del agua es el de las bacterias coliformes, enterobacterias o *Enterobacteriaceae*³¹. Sin embargo, dentro de las bacterias establecidas como contaminantes del agua se han aislado gran cantidad de bacterias Gram negativas como *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Gallionella*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bordetella*, *Neisseria*, *Moraxella* y *Acinetobacter*.

El género *Escherichia*, en Colombia, según la Resolución 2115 de 2007⁹, es un bioindicador obligatorio en el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Este incluye cepas tanto patógenas como no patógenas. Actualmente, están descritas seis cepas enteropatógenas que pueden causar diarrea aguda: *Escherichia coli enterohemorrágica*, *Escherichia coli enterotoxígena*, *Escherichia coli enteropatógena*, *Escherichia coli enteroinvasiva*, *Escherichia coli enteroagregativa* y *Escherichia coli de adherencia difusa*. La respuesta de estas cepas a los procedimientos de desinfección es similar a la de las cepas no patógenas, por lo que en muchos países se establece como bioindicador³¹.

Dentro del análisis microbiológico del agua se pueden encontrar las bacterias aerobias mesófilas, las cuales constituyen un gran grupo de bacterias que ayudan en la determinación de la calidad del agua y de los alimentos. Este grupo de microorganismos se estudian en conjunto con los coliformes totales con el propósito de controlar los procesos del tratamiento de agua y verificar su calidad, ya que estas bacterias tienen una gran sensibilidad a los agentes de cloración. De igual forma, un recuento bajo de aerobios mesófilos no implica o no asegura la ausencia de patógenos o sus toxinas³³.

Aunque en la resolución 2115 del 2007⁹, no se establece realizar el análisis para *Pseudomonas spp.*, hay que tener en cuenta que su estudio permite la identificación de contaminantes emergentes. Estas se han aislado de equipos destiladores, agua potable, tanques cisterna, tanques domiciliarios y redes de distribución de agua para consumo humano, demostrando así, su capacidad de sobrevivir y multiplicarse en aguas sometidas a procesos de desinfección³¹. Este microorganismo presenta una mayor resistencia al cloro en comparación con otros microorganismos aislados en aguas. Además, su característica más importante es su capacidad de inhibir coliformes que, al ser indicadores de contaminación de agua más comúnmente usados en el mundo, existe gran probabilidad de consumir agua con índice de coliformes cero, que podrían estar inhibidos por microorganismos del género *Pseudomonas spp.*³¹. Por lo general, su detección en agua se asocia a la polución por descarga de aguas residuales, por lo tanto, hay una estrecha correlación de su presencia en ambientes acuáticos con fenómenos de contaminación. Este microorganismo tiene la capacidad de crecer en muy baja concentración de nutrientes en medio ambiente acuoso y puede sobrevivir muchos meses en aguas a temperatura ambiente³².

Según la normativa vigente en Colombia los métodos empleados para el análisis microbiológico de la calidad del agua son la filtración por membrana para la determinación de mesófilos y el sustrato definido para coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*. El sustrato definido se ha establecido como una prueba eficaz y rápida para la detección de indicadores sanitarios. Es por esto que en la Resolución 2115 de 2007⁹, se encuentra el valor de referencia para coliformes totales y *Escherichia coli* en muestras de agua para consumo humano, el cual debe ser de 0 UFC/100 cm³, esto ya que debe tener ausencia de estos microorganismos y así poder garantizar que cumple con los estándares de calidad.

El índice de Riesgo de la Calidad del Agua IRCA es calculado por las autoridades sanitarias, entre las cuales se encuentran las direcciones departamentales, distritales y municipales. Se calcula con base a los resultados de laboratorio de las muestras tomadas en las redes de distribución; cuando el valor del IRCA se encuentra entre 0% y el 5%, el agua se clasifica como apta para consumo, ya que cumple con las características fisicoquímicas y microbiológicas que establece la Resolución 2115 de 2007⁹. Cuando los valores del indicador superan este puntaje, el agua se considera como no apta para consumo llegando a un máximo de 100% cuando no cumple con ninguna de las características. Véase anexo 3. La medición de este indicador permite garantizar que el agua suministrada por las empresas prestadoras cumpla con las características establecidas para el agua de consumo humano³⁸.

Existen acueductos comunitarios rurales o veredales, que se crean con el fin de suministrar agua a las comunidades que se encuentran ubicadas en las áreas productoras de recursos hídricos tales como páramos y bosques andinos³⁹. El municipio de Zipaquirá, ubicado en el departamento de Cundinamarca, tiene 17 veredas y 156.938 habitantes distribuidos en 55 barrios y urbanizaciones. Aunque muchos de ellos ya cuentan con el servicio de acueducto se debe considerar que el agua en la vida rural es una de las problemáticas que mayor gestión requiere. Es por ello, que se generan diversos esfuerzos de construcción y constitución de acueductos comunitarios como manifestación de esta necesidad colectiva⁴⁰.

2.2. Bases legales

- **Ley 9 de 1979⁵**: En esta ley, el Ministerio de Salud y Protección Social, establece en el Título II Artículo 51, Suministro de Agua, que para eliminar y evitar la contaminación en el

agua para consumo humano se tiene que regular los canales y tuberías que dan paso al abastecimiento hasta la planta de potabilización; regular el almacenamiento del agua y el transporte hasta el usuario; además, las estaciones de bombeo y equipos destinados a evaluar el agua.

- **Resolución 2115 de 2007⁹**: Esta resolución señala las características físicas, químicas y microbiológicas, instrumentos básicos como el Índice de la Calidad del Agua (IRCA) y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Además, nos indica el número de muestras necesarias para el análisis y la vigilancia de la calidad física, química y microbiológica, dependiendo de la distribución de la población.

- **Decreto 1575 de 2007¹⁵**: Este decreto establece la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada. Este aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales, autoridades sanitarias y a los usuarios.

2.3. Marco conceptual

Los coliformes totales son un grupo de microorganismos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, productores de gas y fermentadores de lactosa por la vía glucolítica, que generan ácidos como producto final³¹. Estos microorganismos viven como saprofitos independientes o como bacterias intestinales. Corresponden aproximadamente al 10% de los microorganismos presentes en la flora intestinal en humanos y animales, pero también se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza especialmente en suelos, semillas y vegetales. La presencia de estos microorganismos en agua potable, es un indicador de contaminación por heces fecales tanto de animales como humanos, también se puede dar por un tratamiento inadecuado por parte del acueducto. Su velocidad de mortalidad en el agua depende de la temperatura, los efectos de la luz solar, la presencia de otras poblaciones bacterianas presentes y la composición química³².

Los microorganismos que conforman este grupo son *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter*. Estos cuatro últimos se encuentran frecuentemente en fuentes de agua, vegetación y suelos, por lo que no necesariamente se asocian con contaminación fecal y no representan un riesgo evidente para la salud. Sin embargo, especies de géneros *Enterobacter* y *Klebsiella* colonizan superficies interiores de las tuberías de agua y tanques de almacenamiento formando biopelículas en presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y tiempos largos de almacenamiento³¹. En aguas tratadas, los coliformes se emplean como alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen, es por ello que indican fallos en el tratamiento, la distribución o en las fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución³².

Por otro lado, los coliformes fecales, más precisamente el género *Escherichia*, pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*. Estos son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes, fermentadores de lactosa con producción de gas³². Este microorganismo es denominado termotolerante, ya que su característica más importante y por la cual se diferencia de los coliformes totales, es su capacidad de sobrevivir y crecer a temperaturas elevadas. La facultad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, entre otros.

Dentro de las técnicas más utilizadas para la determinación simultánea de coliformes totales y *Escherichia coli* encontramos Readycult y Colilert. Además, como método cuantitativo semiautomatizado se encuentra el Quanta-Try/2000, el cual está basado en el modelo de Número más Probable. La prueba Colilert detecta de forma simultánea los coliformes totales y *Escherichia coli*, mediante dos indicadores, siendo estos la principal fuente de carbono. Estos indicadores corresponden al ONPG que es metabolizado por la enzima β -galactosidasa de los coliformes totales y el MUG que es metabolizado por la enzima β -glucuronidasa de *Escherichia coli*³⁵. Hay que tener en cuenta que el ONPG en la prueba Colilert es capaz de atravesar la pared celular, donde la beta-galactosidasa se descompone en galactosa y orto nitrofenol, que al liberarse en medio alcalino cambia su tonalidad de incolora a amarilla. Mientras que la *Escherichia coli* aparte de tener la enzima β -galactosidasa posee la enzima β -glucuronidasa que metaboliza el MUG presente en el sustrato y libera

4-metil-umbeliferona, generando así fluorescencia visible en cámara UV³⁶. Así mismo, para la detección de *Pseudomonas aeruginosa*, se utilizó la prueba Pseudalert, la cual se basa en la tecnología de sustrato definido por medio de la detección de enzimas bacterianas, donde este microorganismo crece y se reproduce por medio de la hidrólisis de un sustrato que está presente dentro del reactivo, el cual genera fluorescencia azul bajo la luz ultravioleta indicando su presencia. Este método detecta 1 UFC / 100 ml en 24 horas de *Pseudomonas aeruginosa*³⁷.

Los mesófilos aerobios son microorganismos capaces de crecer y desarrollarse en presencia de oxígeno libre en un rango de temperatura entre 15 y 45°C, siendo entre 30 y 40 °C la temperatura ideal para su crecimiento. En la Resolución 2115 de 2007⁹, se establecen estos microorganismos como un bioindicador de la calidad del agua para consumo humano utilizando el método de filtración por membrana. Este método consiste en filtrar 100 mL de muestra de agua a través de una membrana de 0.45µm de tamaño de poro y con ayuda de una bomba de vacío producir una succión sobre la muestra de agua que permitirá que los sólidos queden atrapados entre los poros de la membrana y que ésta se filtre. Esta prueba es altamente reproducible, ya que permite estudiar volúmenes grandes y a su vez generar resultados más rápidos. Este método se recomienda para la determinación de bacterias en muestras de agua potable y agua de origen subterráneo³⁴.

Se debe tener en cuenta que el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua IRCA, es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano¹⁵. El IRCA, es básicamente la metodología por la cual se evalúan los resultados de los análisis de muestras de agua para consumo.

También es importante tener claro que un acueducto es un sistema o conjunto de sistemas que permiten el transporte de agua en forma de flujo desde la fuente de captación, como un nacimiento de agua, hasta un punto de consumo distante, ya sea una ciudad o poblado. Los acueductos están conformados tanto por los sistemas, elementos y componentes de la obra física, como de las actividades de tratamiento, almacenamiento y distribución del agua.

3. Diseño metodológico

3.1. Tipo y alcance de la investigación

De acuerdo con la pregunta problema y los objetivos planteados, el tipo de investigación que se realiza en este estudio es de tipo mixto -cualitativa-cuantitativa-, ya que es un proyecto de tipo experimental, el cual busca evaluar la calidad del agua mediante el análisis de parámetros microbiológicos, con el fin de establecer el nivel de riesgo estipulado en la Resolución 2115 de 2007.

La presente investigación es exploratoria, descriptiva y experimental. Es exploratoria, ya que se realizó una aproximación bibliográfica de los controles de calidad del agua, así como también de los parámetros microbiológicos y el análisis de las muestras indicadas en la Resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1575 de 2007. De igual forma, la investigación es descriptiva, debido a que se describe la calidad del agua mediante las características microbiológicas, la recolección, el transporte y el almacenamiento de las muestras de agua destinada a consumo humano. Además, se identifican las condiciones que pueden permitir la presencia de indicadores microbiológicos. Por último, se considera una investigación experimental, ya que se realiza el muestreo y análisis de laboratorio del agua distribuida en dos veredas del municipio de Zipaquirá.

3.2 Población y muestra

La población de las veredas el Alto del Águila y el Tunal ubicadas en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, cuentan con un número de habitantes menor a 2500. Se tiene como referencia que para el tamaño de la muestra se tiene un operador estadístico que está establecido en el Cuadro N°12 en la Resolución 2115 de 2007.

3.3 Técnica de muestreo.

Para llevar a cabo este proyecto de investigación la muestra utilizada es el agua tratada y distribuida a las Veredas del Alto del Águila y el Tunal. Para establecer el tamaño de la muestra se tuvo en cuenta el cuadro N° 12 de la Resolución 2115 del 2007. El cual indica la cantidad de muestras que se deben tomar dependiendo del número de habitantes por vereda.

Con base en la tabla 1, Frecuencias y número de muestras de control para los análisis microbiológicos de Coliformes Totales y *Escherichia Coli* que deben ejercer las personas prestadoras en la red de distribución; se determinó que el número de muestras a analizar para los parámetros microbiológicos es una. Sin embargo, para dar mayor solidez al trabajo, se realizó la toma de tres muestras de la vereda El Tunal, y tres de la vereda El Alto del Águila.

Tabla 1. Frecuencias y número de muestras de control para los análisis microbiológicos de Coliformes Totales y E. Coli que deben ejercer las personas prestadoras en la red de distribución

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
Menor o igual a 2.500	Mensual	1
2.501 - 10.000		3
10.001 - 20.000	Quincenal	4
20.001 – 100.000	Semanal	8
100.001 - 250.000	Diario	3
250.001 - 500.000		5
500.001 – 800.000		6
800.001 – 1.000.000		7
1.000.001 – 1.250.000		8
1.250.001 – 2.000.000		10
2.000.001 – 4.000.000		12
Mayores de 4.000.000		12 muestras de acuerdo con la frecuencia más 5 muestras por cada millón o fracción adicional

Fuente: Resolución 2115 de 2007 del Ministerio De La Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Cuadro N° 12.

3.3 Hipótesis

El agua tratada y distribuida a las veredas el Alto del Águila y el Tunal del municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, no presentan riesgo para la salud de la población, asociado con los resultados microbiológicos correspondientes a coliformes totales, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y mesófilos aerobios.

3.4 Métodos, técnicas y procedimientos

3.4.1 Métodos empleados en el estudio.

Para el análisis de mesófilos se utilizó el método de filtración por membrana, el cual se fundamenta en la filtración de un volumen determinado de muestra de agua a través de un filtro de membrana de 0,45 μm de diámetro de poro, donde es colocado sobre un medio de cultivo selectivo y luego incubado a la temperatura adecuada. Para la identificación de los mesófilos aerobios se realizó por medio del agar plate count, el cual está compuesto por extracto de levadura, tripteína, glucosa, agar y agua destilada es por ello que estos componentes básicos permiten el desarrollo de este grupo de microorganismos. El digerido enzimático de caseína proporciona nitrógeno, vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales para el crecimiento. El extracto de levadura es fuente de vitaminas, particularmente del grupo B. La dextrosa es el carbohidrato fermentable que proporciona carbono y energía. El agar bacteriológico es el agente solidificante. Este medio es recomendado por la norma ISO 4833 para la técnica de recuento de colonias de microorganismos a 30 °C.

Así mismo, se realizó la identificación de coliformes totales y *Escherichia coli* por el método de sustrato definido por medio de reactivo colilert la cual permite detectar de manera simultánea coliformes totales y *Escherichia coli*, donde los coliformes totales usan β -galactosidasa para metabolizar ONPG y cambiarlo de incoloro a amarillo; mientras que *Escherichia coli* usa β -glucuronidasa para metabolizar el MUG y crear fluorescencia. De igual manera, para la identificación de *Pseudomonas aeruginosa* se utilizó el método de sustrato definido por medio del reactivo de pseudalert donde las cepas de *Pseudomonas aeruginosa* que crecen tienen una enzima que se adhiere al sustrato del reactivo para producir la fluorescencia azul con luz ultravioleta.

3.4.2 Recolección de muestras

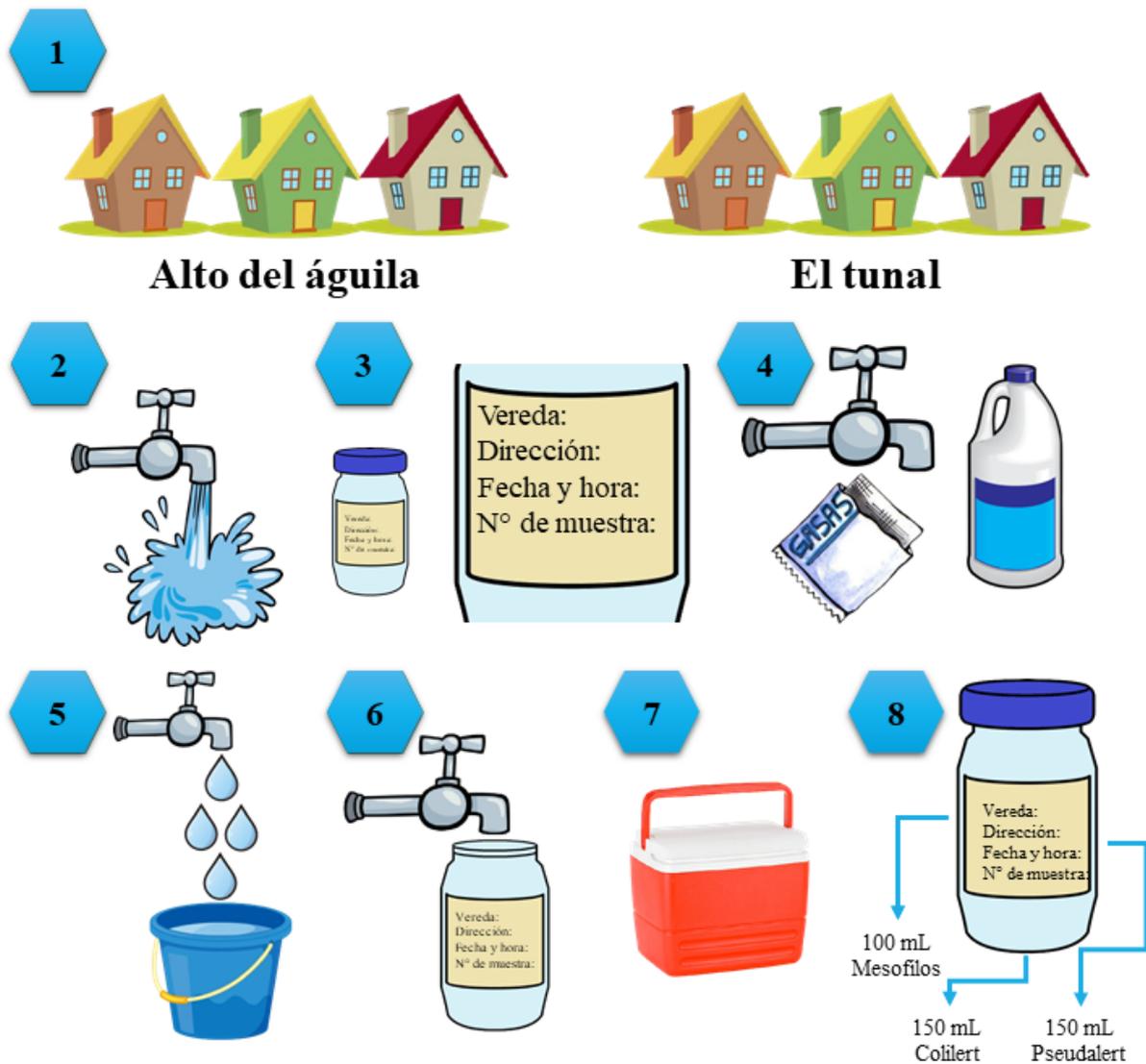
Para la recolección de muestras se tuvo en cuenta el “Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio”, el cual indica que el volumen de muestra que se debe recolectar depende del número y tipos de análisis que se van a realizar. En el caso de determinar concentraciones pequeñas de analitos, el volumen de la muestra a tomar generalmente es grande. Sin embargo, la toma de muestras de volúmenes grandes puede envolver cambios en la calidad del agua durante el período de muestreo.

Para la recolección de las muestras microbiológicas se cumplió con las recomendaciones para el drenaje del agua estancada en la instalación y la desinfección del dispositivo dispensador de agua previos de la toma de la muestra. Véase anexo 4 numeral 4.3; en este caso el técnico u operario que tome la muestra debe utilizar guantes. Para la recolección de las muestras se procedió de la siguiente manera, si el punto de toma es metálico debe esterilizarse, si es posible con llama, para inactivar cualquier microorganismo presente y para evitar contaminación secundaria de la muestra.

Posteriormente, se destapó el frasco sin soltar la tapa de la mano, para no contaminarla con sustancias o microorganismos externos. No se enjuaga el frasco con muestra, puesto que se perdería el preservante (tiosulfato sódico) que contiene. La cantidad mínima a recoger para este análisis es de aproximadamente 400 ml. Se debe tener en cuenta que cuando se recolecta la muestra de una línea de muestreo o grifo, el agua debe dejarse fluir libremente desde el grifo o la salida. Al recoger la muestra debe ser de manera rápida llenando solo la mitad o las dos terceras partes del recipiente, de manera que quede un espacio de aire. Finalmente, el recipiente que contenía la muestra se tapó de forma ajustada, evitando el contacto de la tapa con objetos externos para evitar así contaminaciones accidentales.

3.4.3 Procedimientos

Figura 1. Toma de muestra.



1. Selección de 3 casas de cada vereda para la toma de la muestra. 2. Se busca un grifo de fácil acceso. 3. Se rotula el frasco. 4. Se limpia la boquilla del grifo con hipoclorito y gasas estériles. 5. Se deja correr el agua por 60 seg utilizando un balde para recoger el agua. 6. Se coloca el frasco estéril, sin tocar el grifo y se llena con 400 ml. 7. Se guarda en la nevera a una temperatura de $\pm 4^{\circ}\text{C}$.

Figura 2. Análisis microbiológico utilizando el sustrato colilert, pseudalert y la filtración por membrana.



Sección A. 1. Se agrega a los 150 ml de la muestra un sobre del sustrato colilert. 2. Las muestras se incuban a 37°C por 24 h. 3. Después de la incubación se observa el viraje de color. 4. Con la cámara Uv se verifica la fluorescencia. **Sección B.** 1. Se agrega a los 150 ml de la muestra un sobre del sustrato pseudalert. 2. Las muestras se incuban a 37°C por 24 h. 3. Con la cámara Uv se verifica la fluorescencia. **Sección C.** 1. 150 ml de plate count se distribuyeron en 6 cajas de Petri hasta que se solidifique. 2. Se instala el equipo y se pone la membrana. 3. Se agrega la muestra de agua en el embudo y se enciende el equipo para empezar la filtración. 4. Con las pinzas estériles se retira la membrana y se coloca en el medio de cultivo plate count. 5. La placa se invierte y se incuba por 24 horas a 37°C.

4. Resultados

Tabla 2. Resultados de los controles de calidad para la prueba de colilert y pseudalert.

Control de calidad				
Colilert			Pseudalert	
	Viraje de color	Fluorescencia Uv		Fluorescencia UV
No coliformes <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Negativo	Negativo	Control negativo	Negativo
Coliformes <i>Enterobacter aerogenes</i>	Positivo	Negativo	Control positivo	Positivo
<i>Escherichia coli</i>	Positivo	Positivo		

En la Tabla 2 se observan los resultados obtenidos de los microorganismos utilizados como control de calidad para la prueba de colilert. Se emplearon las cepas *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048 y *Escherichia coli* ATCC 35218 para el control positivo ya que *Enterobacter aerogenes* corresponde a un coliforme total y presenta viraje de color, pero no genera fluorescencia; mientras, que *Escherichia coli* presenta tanto viraje de color como fluorescencia UV. En cuanto al control negativo se utilizó la cepa de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9097 puesto que al ser un no coliforme no presenta cambio de color ni fluorescencia. Así mismo, para la prueba de pseudalert se realizaron controles utilizando como control positivo la cepa de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9097 debido a que esta presenta una fluorescencia UV positiva de color azul verdoso, mientras que para el control negativo se utilizó agua esteril ya que esta no presenta una fluorescencia UV y se torna de color verde, como se muestra en la Figura 3. En base a los resultados obtenidos en los controles se pueden validar los resultados de las pruebas realizadas.

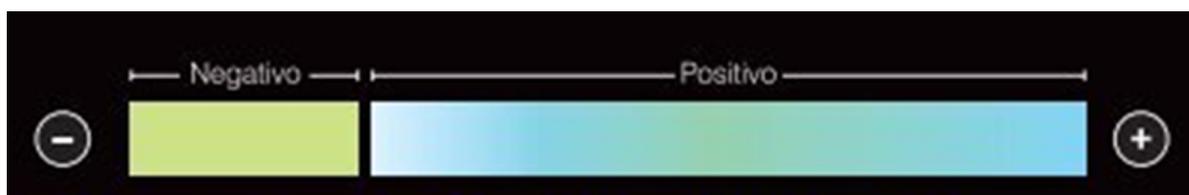


Figura 3. Determinación de fluorescencia para la prueba de Pseudalert.

Tabla 3. Identificación de puntos de muestreo.

Vereda el Alto del Águila			
Muestra	Casa	Propietario	Finca
Muestra 1	Casa N°1	Nelly Gomez	Palmira B
Muestra 2	Casa N°2	Jaime Hernando Quijano	El Reposo
Muestra 3	Casa N°3	Maria Custodia Santana	El Recuerdo
Vereda El Tunal			
Muestra	Casa	Propietario	Finca
Muestra 4	Casa N°1	Esteban Gutierrez	El Encanto
Muestra 5	Casa N°2	Maria del Carmen Lizarazo	Santa Isabel
Muestra 6	Casa N°3	Maria Isabel Alvarez	San Asdrubal

Para mayor información sobre las fichas técnicas punto de toma de muestra, dirigirse al anexo 5.

Tabla 4. Resultados de las muestras de la vereda El Alto del Águila y El Tunal para la prueba de colilert y pseudalart.

1	A. El Alto del Águila			B. El Tunal		
Parámetros	1A	2A	3A	4B	5B	6B
Coliformes totales	Positiva	Positiva	Negativa	Positiva	Positiva	Positiva
<i>Escherichia coli</i>	Positiva	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva	Positiva
2	A. El Alto del Águila			B. El Tunal		
Parámetros	1A	2A	3A	4B	5B	6B
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Negativo	Negativo	Negativo	Positiva	Negativo	Negativo

En la tabla 4 en la sección 1, se pueden evidenciar los resultados de la prueba de sustrato definido colilert para las muestras tomadas en la vereda El Alto del Águila (1A) y El Tunal (1B); Mientras que en la sección 2 se pueden observar los resultados obtenidos en la prueba de pseudalart de la vereda El Alto del Águila (2A) y El Tunal (2B).

Tabla 5. Resultados del control de calidad para la prueba de filtración por membrana.

Control de calidad de filtración por membrana	
	Recuento
Agua estéril	Ausente

En la tabla 5, se encuentran los resultados del control de calidad para la prueba de filtración por membrana donde se realiza el conteo en placa de las colonias de mesófilos presentes, para esto se utilizó agua estéril como control negativo.

Tabla 6. Resultados de la prueba de filtración por membrana para la detección de mesófilos en las veredas El Alto del Águila y El Tunal.

Filtración por membrana para mesófilos			
El Alto del Águila		El Tunal	
Muestra	Recuento	Muestra	Recuento
1	68 UFC/100 cm ³	4	118 UFC/100 cm ³
2	35 UFC/100 cm ³	5	158 UFC/100 cm ³
3	33 UFC/100 cm ³	6	90 UFC/100 cm ³

En la tabla 6, se observan los resultados obtenidos en la prueba de filtración por membrana para la detección de mesófilos en cada una de las muestras de las veredas en estudio.

Tabla 7. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA en las veredas El Alto del Águila y El Tunal.

El Alto del Águila		
Muestra	Clasificación IRCA %	Nivel de Riesgo
1	40	Alto
2	40	Alto
3	0	Sin Riesgo
El Tunal		
Muestra	Clasificación IRCA %	Nivel de Riesgo

4	40	Alto
5	40	Alto
6	40	Alto

En la tabla 7, se observa el puntaje y la clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA, el cual se estableció con los hallazgos microbiológicos de las muestras analizadas de las veredas en estudio.

5. Discusión

En la resolución 2115 de 2007⁹ se indican las características, frecuencias e instrumentos básicos para el control de la calidad del agua para consumo humano. Las características microbiológicas tienen unos valores máximos aceptables que se encuentran establecidos teniendo en cuenta el límite de confianza (95%) o en caso de utilizar técnicas de habilidad de detección desde 1 UFC o un microorganismo en 100cm³ de muestra.

Tabla 8. Características microbiológicas

Técnicas utilizadas	Coliformes totales	<i>Escherichia coli</i>
Filtración por membrana	0 UFC/100cm ³	0 UFC/100cm ³
Enzima sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato definido	0 microorganismos en 100cm ³	0 microorganismos en 100cm ³
Presencia-Ausencia	Ausencia en 100cm ³	Ausencia en 100cm ³

Fuente. Resolución 2115 de 2007 del Ministerio De La Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Cuadro N° 5.

Al comparar los resultados obtenidos con la normativa vigente, se puede observar que en la prueba de colilert tanto en la vereda del Alto del Águila como en la del El Tunal hay presencia de *Escherichia coli* y coliformes totales en cinco de las seis muestras, obteniendo así un puntaje IRCA de 40 lo que es indicativo de que están en un nivel de riesgo alto y que a su vez el agua no es apta para consumo humano, ver tabla 9. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en la muestra 3 no hubo presencia de estos microorganismos, ver tabla 4. La presencia de coliformes totales en el agua indica que puede existir una vía de contaminación entre una fuente de bacterias y el suministro de agua. Estas fuentes de contaminación pueden ser aguas superficiales, sistemas sépticos o en las propias fuentes domiciliarias; Además, la presencia de estos suele estar relacionado con fallas en la eficacia del tratamiento y la integridad del sistema de distribución. En el estudio realizado por Iriarte, M⁴¹., en las islas de Margarita y Coche durante 1999 a 2006 se concluyó que la contaminación por coliformes totales se debe a factores naturales o provocados por el hombre, ya sea en el agua superficial o del subsuelo. Igualmente, la presencia de estos microorganismos se relaciona con la contaminación causada por las lluvias que transportan agentes contaminantes, insuficiencia

en la dosis de desinfectante, fallas en la presión o corrosión de las tuberías, presencia cercana de aguas residuales o niveles altos de microorganismos antes de ser tratada.

Tabla 9. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 -100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Fuente. Resolución 2115 de 2007 del Ministerio De La Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Cuadro N° 7.

En relación con la presencia de *Escherichia coli* es importante considerar que este microorganismo es un indicador de contaminación fecal, ya que aunque se encuentra normalmente en tracto digestivo de los animales mamíferos rara vez se encuentra en el agua o

suelo que no haya sufrido de contaminación fecal. El encontrar este microorganismo genera una alerta ya que puede causar gastroenteritis o también sugerir la presencia de otros microorganismos altamente patógenos como son la *Salmonella*, *Shigella*, *Klebsiella*, *Listeria*.

También se debe tener en cuenta que La Vereda El alto del Águila cuenta con su propia planta de tratamiento la cual se abastece del Río Frío y de quebradas que son de apoyo. El mecanismo que utiliza la planta se basa en el ingreso del agua por medio de la tubería que se encuentra en el fondo del cono y luego asciende hasta el floculador por bombeo. Este floculador tiene forma de cono para asegurar que el movimiento del agua no sea brusco y se rompan los flocs ocasionando que haya daño en el proceso de sedimentación⁴². Sin embargo, al encontrarse presencia de *Escherichia coli* se puede considerar que se están presentando fallas en el tratamiento y no se esté manejando la dosis adecuada de desinfectante o los tiempos de contacto necesarios. En cuanto la vereda El Tunal se debe considerar que esta no cuenta con una planta de tratamiento y se concibe el acueducto como un simple sistema de distribución, es decir, el agua que consumen los habitantes es cruda por lo que pueden encontrarse soluciones unifamiliares, tales como, la implementación de filtros purificadores en los hogares, el hervir el agua y realizar una desinfección en los tanques utilizando productos químicos comerciales como blanqueadores de ropa sin aromatizantes o pastillas de cloro.

Respecto al estudio de *Pseudomonas spp.* con el reactivo de pseudalert, cinco de las seis muestras analizadas de las dos veredas no presentaron fluorescencia, exceptuando la muestra 1B de la vereda El Tunal donde hubo fluorescencia UV positiva de color azul verdoso, lo que indica presencia de *Pseudomonas aeruginosa*. Aunque, este microorganismo es ubicuo en el ambiente y su presencia es común en suelos y aguas naturales como lagos y ríos no es frecuente en agua potable y por ello se detecta en bajas concentraciones. Su presencia en agua potable está más relacionada con la capacidad de colonizar biofilms o biopelículas en las tuberías de los sistemas de distribución⁴³. Así mismo, la presencia de *Pseudomonas spp.* en agua tratada, se debe a la densa capa polisacárida que establece una barrera física y química capaz de proteger la estructura bacteriana de los iones de cloro libre residual. Algunos autores indican que la presencia de *Pseudomonas aeruginosa*, no necesariamente se utiliza como un indicador de multiplicación bacteriana o contaminación en las redes de acueducto y el agua de consumo humano⁴¹, sino que también puede utilizarse como inhibidor del crecimiento de *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii* y *Klebsiella spp*, debido a que

este microorganismo produce una bacteriocina llamada pseudocin con acción antibiótica²⁴. Por otra parte, las *Pseudomonas spp.*, fluorescentes producen seis tipos de pigmentos, la piocianina, piourubina, piomelanina, clororafina y oxifenazina todas estas de naturaleza fenazínica, y el pigmento pioverdina, principal pigmento de todas las especies fluorescentes⁴⁴. El pigmento más conocido de *Pseudomonas aeruginosa*, es la fenazina piocianina, pigmento no fluorescente, el cual tiene propiedades antibióticas, antifúngicas y citotóxicas. También es importante tener en cuenta el pseudocin de *Pseudomonas aeruginosa* conocida como piocina y denominada de esta forma debido al pigmento piocianina. Esta produce un componente inducible, liberado por lisis, el cual es absorbido en la superficie de la bacteria susceptible provocando su muerte⁴⁴. La acción bactericida de las piocinas abarca solo un mecanismo, esto se debe a que una sola molécula de piocina puede actuar sobre una célula *Pseudomonas aeruginosa*. Por lo tanto, es recomendable utilizar *Pseudomonas spp.* y coliformes totales para la determinación de microorganismos en agua para consumo humano con el fin de garantizar un óptimo control de calidad, algunos países de latinoamérica como Argentina y Uruguay están empleando *Pseudomonas spp.* debido a la alta diseminación en el medio ambiente y la resistencia a la cloración²⁴.

Así mismo, la presencia de estos microorganismos en el agua de consumo humano, es consecuencia del deterioro de las redes de acueducto ya sea por roturas o conexiones cruzadas. En comparación con la época seca, las épocas de lluvia permiten el aumento de UFC y la turbidez en el agua, lo que facilita el transporte y acceso al sistema de alcantarillado de los acueductos si estos se encuentran deteriorados. Además, Ávila et al⁴⁵, menciona que la infiltración de coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, se debe a las descargas de las escorrentías en épocas secas o también cuando se presentan bajas en la velocidad de las tuberías de las redes de acueducto, puesto que los sedimentos se precipitan creando el hábitat adecuado para el crecimiento bacteriano⁴¹.

Para el recuento de mesófilos por el método de filtración por membrana, las muestras de la vereda El Alto del Águila cumplen con el valor establecido en la resolución 2115 del 2007⁹ en el capítulo III parágrafo 1 para microorganismos mesófilos que corresponde a 100 UFC en 100 cm³; mientras que en la vereda El Tunal, solo una de las tres muestras cumple con el valor permisible, por lo cual el agua se considera no apta para el consumo humano en las dos muestras restantes. El que se observen mesófilos en las muestras analizadas nos orientan a suponer que las fuentes de captación tienen la presencia de estos microorganismos y que el

proceso de tratamiento realizado al agua es insuficiente e ineficaz. De igual forma, en el artículo de Acosta et al ⁴⁶, se realiza un estudio sobre la evaluación de la eficacia del uso de la radiación UV en la remoción de mesófilos en el agua para consumo. Evidenciando así, que se puede producir una disminución en la concentración de estos microorganismos utilizando este método y con ello poder reducir las UFC en muestras de agua para consumo humano. Sin embargo, es importante considerar que cuando se expusieron los coliformes totales no se presentó disminución, lo que es un indicativo de que presentan mayor resistencia a la desactivación por radiación UV⁴⁶. El estudio de un método de desinfección alternativo puede llegar a beneficiar a la población, puesto que puede reducir la carga bacteriana del agua y a su vez no causar efectos secundarios, ya que los procesos por métodos químicos pueden ocasionar altas cargas de subproductos que pueden tener consecuencias en la salud humana debido a una conexión carcinogénica.

Finalmente, se debe considerar que estos resultados obtenidos en el proceso de investigación y con un acercamiento técnico con el fin de evaluar la calidad microbiológica del agua de estas comunidades, se realizaron en los laboratorios de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, laboratorios con enfoque en la docencia que no tienen la competencia pericial de un laboratorio de Vigilancia y Control o de la Red de laboratorios de aguas para consumo humano. Sin embargo, los resultados obtenidos serán notificados a las comunidades de las dos veredas, junto con las entidades prestadoras de servicio y los entes reglamentarios.

6. Conclusiones

Se evidenció en el estudio que las muestras analizadas del agua que consumen los habitantes de las veredas El Alto del Águila y El Tunal tienen la presencia de *Escherichia coli*, coliformes totales y mesófilos. Lo que permite determinar que se presenta un nivel de riesgo IRCA alto, considerando así el agua no apta para consumo humano.

La presencia de estos microorganismos está relacionada con tratamientos inadecuados o contaminación posterior. Aunque el alto del águila cuenta con una planta de tratamiento se debe considerar el que no se esté manejando la dosis adecuada de desinfectante o los tiempos de contacto necesarios. Mientras que la vereda El Tunal no cuenta con una planta de tratamiento y se concibe el acueducto como un simple sistema de distribución.

Igualmente se debe considerar el incluir *Pseudomonas aeruginosa* como un indicador para el análisis microbiológico de la calidad del agua en la normativa colombiana, ya que ayudaría a reducir los riesgos sanitarios para la población, puesto que es una bacteria patógena oportunista que tiene un gran impacto en la salud pública.

Los resultados obtenidos en este estudio se informarán al acueducto de Zipaquirá, al acueducto de la vereda El Tunal, a la alcaldía de Zipaquirá y a la Secretaría de Salud de Cundinamarca con el fin de que tomen acciones de vigilancia y control sobre la calidad del agua en estos sectores.

De igual forma, este trabajo deja abierta la posibilidad de nuevas investigaciones que puedan aportar inquietudes de mejoras en la calidad del agua en zonas rurales a nivel nacional, en especial en aquellas donde su calidad es un tema que preocupa por motivos como la salud de la población, el desarrollo económico y la calidad ambiental.

Para finalizar, la presencia de indicadores de contaminación representan un riesgo para la salud de los consumidores. Por lo que se aconseja a las comunidades tener medidas de prevención como el mantenimiento, desinfección y limpieza de los tanques de almacenamiento, así como el cambio de las tuberías que presenten deterioro o fugas. Además, se deberían manejar acciones adecuadas en promoción y prevención, con el fin de evitar el brote de enfermedades.

Referencias bibliográficas

1. Romero V. Agua: Que no has de beber [Internet]. El tiempo. [citado el 21 de marzo de 2022]. Disponible en:
<https://www.eltiempo.com/salud/como-es-la-calidad-del-agua-en-colombia-340578>
2. Baeza Gómez E. Calidad del Agua [Internet]. Obtienearchivo.bcn.cl. 2016 [citado el 21 de marzo de 2022]. Disponible en:
<https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>
3. Betancur L, Londoño D, Rincón D, Rodas J, Rodríguez M, Olaya A. ALGUNOS FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE, MUNICIPIO DOSQUEBRADAS. 2017-2018 [Internet]. Digitk.areandina.edu.co. 2018 [citado el 31 de marzo de 2022]. Disponible en:
<https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/3387/Articulo%20algunos%20factores%20de%20riesgo%20asociados%20a%20la%20calidad%20del%20agua%20potable%20municipio%20Dosquebradas.%202017-2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=Las%20enfermedades%20de%20origen%20h%C3%ADdrico%20son%20patolog%C3%ADas%20causadas%20por%20organismos,la%20falta%20de%20medidas%20higi%C3%A9nicas%20>
4. Jimenez C. ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia? [Internet]. El tiempo. 2015 [citado el 31 de marzo de 2022]. Disponible en:
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15445939>
5. Cuellar C. Menores de 5 años, prioridad en prevención de enfermedad diarreica [Internet]. Minsalud.gov.co. 2020 [cited 31 March 2022]. Available from:
<https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Menores-de-5-anos-prioridad-en-prevencion-de-enfermedad-diarreica.aspx>
6. Instituto Nacional de Salud. ENFERMEDAD DIARREICA AGUDA (EDA) [Internet]. Ins.gov.co. 2018 [citado el 31 de marzo de 2022]. Disponible en:

https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/ENFERMEDAD%20DIARREICA%20AGUDA_2018.pdf

7. Ministerio de Salud. Ley 9 de 1979 [Internet]. Bogotá; Minsalud.gov.co. [actualizado 16 julio 1979; citado 9 abril 2021]. Disponible en:

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf

8. Estupiñán SM, Ávila SL. (2010). Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. NOVA, 8(14) [Internet] [citado 6 mar 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.22490/24629448.451>

9. RESOLUCIÓN 2115 DE 2007 [Internet]. Bogotá; Minsalud.gov.co. [actualizado 22 junio 2007; citado 9 abril 2021]. Disponible en:

https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

10. Estupiñán, S., Avila, S., Celeita, D., & Martínez, E. (2010). Control bacteriológico del agua de la red de distribución “acueducto de las veredas Nápoles, Ponchos y Sebastopol” en San Antonio de Tequendama. NOVA, 8(14). [Internet]. [citado 6 mar 2021]. Disponible en:

<https://doi.org/10.22490/24629448.453>

11. Real Academia Española [Internet]. Madrid. [actualizado 2021; citado 9 abril de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/acueducto>

12. Universidad de los Andes [Internet]. Bogotá [actualizado 2021; citado 9 abril de 2021]. Disponible en:

<https://cienciasbiologicas.uniandes.edu.co/es/programas/pregrado-microbiologia>

13. Poveda O, Beltrán HE, Giraldo G. Determinación de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales) en los tanques de abastecimiento de agua de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Sedes Macarena a y b. Rev. Cient. [Internet]. 19 agosto 2011 [citado 5 febrero 2021];(12):63-. Disponible en:

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/602>

- 14.** Ávila S, Estupiñán SM. Calidad bacteriológica del agua de consumo humano de la zona urbana y rural del municipio de Guatavita, Cundinamarca, Colombia. *Rev Cubana Hig Epidemiol* [Internet]. 2012 Ago [citado 2021 mar 08]; 50 (2): 163-168. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=ci_arttext&pid=S1561-30032012000200004&lng=es.
- 15.** Ministerio de ambiente. Decreto 1575 de 2007 [Internet]. Bogotá; minambiente.gov.co [actualizado 9 mayo 2007; citado 10 abril 2021]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>
- 16.** Crocker J, Bartram J. Comparison and cost analysis of drinking water quality monitoring requirements versus practice in seven developing countries. *Int J Environ Res Public Health*. 2014 Jul 18;11(7):7333-46. doi: 10.3390/ijerph110707333. PMID: 25046632; PMCID: PMC4113879.
- 17.** Gómez OG. Enfermedad diarreica aguda por *Escherichia coli* enteropatógenas en Colombia [Acute diarrheal disease caused by enteropathogenic *Escherichia coli* in Colombia]. *Infectol*. 2014 [Internet] oct; 31(5):577-86. Spanish. [Cited 9 april 2021] Available in: doi: 10.4067/S0716-10182014000500010. PMID: 25491457; PMCID: PMC4469391.
- 18.** Real Academia Española [Internet]. Madrid. [actualizado 2021; citado 9 abril 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/morbilidad>
- 19.** Real Academia Española [Internet]. Madrid. [actualizado 2021; citado 9 de abril de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/mortalidad>
- 20.** Villamizar RA, Ortíz O, Aquiles E. Metodología rápida y sencilla para la determinación de colifagos somáticos como indicadores de contaminación fecal en una planta de tratamiento de agua localizada al noreste colombiano. *Univ. Salud* [Internet]. 2015 Junio [citado 20 febrero 2021]; 17(1): 57-68. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012471072015000100006&lng=en.

- 21.** Zafra CA; Sánchez, TA. Evaluación de la calidad del agua en la planta potabilizadora El Dorado (Bogotá D. C.) a través del análisis estadístico de series de tiempo. Universidad Francisco José de Caldas. (2016)
- 22.** Overgaard HJ, Alexander N, Matiz MI, Jaramillo JF, Olano VA, Vargas S, et, al., A Cluster-Randomized Controlled Trial to Reduce Diarrheal Disease and Dengue Entomological Risk Factors in Rural Primary Schools in Colombia. PLoS Negl Trop Dis. 2016 [Internet]; 10(11): [Cited 9 april 2021] Available in: e0005106. doi: 10.1371/journal.pntd.0005106. PMID: 27820821; PMCID: PMC5098800.
- 23.** Hodge J, Chang HH, Boisson S, Collin SM, Peletz R, Clasen T. Assessing the Association between Thermotolerant Coliforms in Drinking Water and Diarrhea: An Analysis of Individual-Level Data from Multiple Studies. Environ Health Perspect. 2016 Oct;124(10):1560-1567. [Cited 9 april 2021] Available in: doi: 10.1289/EHP156. Epub 2016 May 10. PMID: 27164618; PMCID: PMC5047765.
- 24.** Navia SL, Estupiñán SM, González L (2016). Calidad bacteriológica del agua Vereda El Charco, San Miguel de Sema, Boyacá- Colombia.[citado 21 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v14n25/v14n25a11.pdf>
- 25.** Enciclopedia medioambiental.[Internet].Madrid-España.[s.f]. [citado 10 abril 2021].Disponible en:https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/agua_subterranea.asp
- 26.** Fajardo A, Gaines S, Muñoz V, Otero V, Mendoza VA. Calidad del agua y características habitacionales de un barrio en Bogotá. Nova [Internet]. 2017 [citado 21 febrero 2021]; 15(27): 31-36. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702017000100031&lng=en
- 27.** Lugo J, Burgos J, Lugo E, Gould A, Ovallos D, Evaluation of low-cost alternatives for water purification in the stilt house villages of Santa Marta's Ciénaga Grande, Heliyon, 6,

Issue 1, 2020, e03062, ISSN 2405-8440, [Internet]; [citado 21 febrero 2021]; Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03062>.

28. Pinillos Lopez, A, Benitez Herrera, E, Bocanegra Sanchez, S Calidad bacteriologica del agua del acueducto comunitario las violetas en la localidad de Usme, Bogotá D.C en el año 2015. [Internet]. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República ; 2016. [citado: 2022, marzo]

29. Estupiñán SM, Ávila SL, Barrera D, Baquero R, Díaz D. (2020). Características bacteriológicas, físicas y pH del agua de consumo humano del municipio de Une-Cundinamarca. [Internet]. Nova, 18(33) [citado 21 febrero 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/24629448.3702>

30. Progresar e.s.p. [Internet]. Chía. [actualizado 2020; citado 9 abril 2021]. Disponible en: <https://progresaresp.com/que-es-un-pozo-septico/>

31. Ríos S, Agudelo R, Gutiérrez L. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano [Internet]. Scielo. 2017 [citado el 31 agosto de 2021]. [Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf](http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf)

32. Arcos M, Ávila S, Estupiñán S, Gomez A. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. [Internet]. Revistas.unicolmayor.edu.co. 2005 [citado 29 Abril 2021]. Disponible en: <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/download/47/92>

33. Passalacqua N, Cabrera J. MICROORGANISMOS INDICADORES [Internet]. Anmat.gov.ar. 2014 [citado el 31 agosto de 2021]. Disponible en: http://www.anmat.gov.ar/renaloea/docs/analisis_microbiologico_de_los_alimentos_vol_iii.pdf

34. Aurazano M. MANUAL PARA ANÁLISIS BÁSICOS DE CALIDAD DEL AGUA DE BEBIDA [Internet]. Elaguapotable.com. 2004 [citado 29 Abril 2021]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/manual%20 analisis%20basicos%20CA.pdf>

- 35.** Gracia A. Evaluación de contaminación microbiológica (coliformes totales, Escherichia coli y enterococos) en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. [Internet], 2020. [citado 29 Abril 2021]. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/26258/1/garciarod1.pdf>
- 36.** Colilert 250 - IDEXX España [Internet]. Idexx.es. [citado el 31 agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.idexx.es/es/water/water-products-services/colilert-250/>
- 37.** IDEXX Laboratories. “Comparison of the performance of the IDEXX Pseudalert* test against the Millipore™ and Cetrimide membrane filtration methods at recovering confirmed Pseudomonas aeruginosa from bottled water samples” [Internet]. Gbmicrotest.com. 2010 [citado 14 Septiembre 2021]. Disponible en: <https://n9.cl/8vab4>
- 38.** Rojas J, Robayo V, Córdoba D. Calidad del Agua [Internet]. Superservicios.gov.co. 2017 [citado 29 abril 2021]. Disponible en: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/ebook_calidad_de_agua-26-12-2017-vbibiana1.pdf
- 39.** Acueductos Veredales [Internet]. Acueducto.com.co. [citado el 21 de marzo de 2022]. Disponible en: https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/gestores-ambientales/gestion-ambiental/acueductos_veredales!/ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8zivS3MjDzcLYz8LAWdDQwCvdydfF0dg438DQ30C7IdFQHOZWZq/#:~:text=Los%20acueductos%20comunitarios%20rurales%2C%20son,presta%20el%20servicio%20por%20normatividad
- 40.** Cárdenas Henao J. Acueductos comunitarios alternativos para el manejo sostenible del agua y la sequía - Semillas [Internet]. semillas.org.co. 2015 [citado el 21 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://semillas.org.co/es/acueductos-comunitarios-alternativos-para-el-manejo-sostenible-del-agua-y-la-sequ>

- 41.** Iriarte M, Gómez A. Potabilidad del agua de uso doméstico en el estado Nueva Esparta, Venezuela [Internet]. Ve.scielo.org. 2008 [citado el 22 de Marzo 2022]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772008000200005
- 42.** Plantas de tratamiento - EAAAZ [Internet]. EAAAZ. [citado el 31 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://eaaaz.com.co/wps/la-empresa/servicios/plantas-de-tratamiento/>
- 43.** González M II, García M, Mariné M. Importancia sanitaria de Pseudomonas aeruginosa en agua de hemodiálisis y su desinfección. Rev Cubana Salud Pública [Internet]. 2014 Jun [citado 2022 Mar 24] ; 40(2): 198-211. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662014000200005&lng=es
- 44.** Condori R, Corrales R. Bacteriocinas producidas por Pseudomonas aeruginosa y su acción inhibitoria frente a Helicobacter pylori [Internet]. Repositorio.unsaac.edu.pe. 2012 [citado el 31 de marzo de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/1100/253T20120003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 45.** Avila de Navia S, Estupiñan S, Mejia A, Mora L. Vista de La Calidad Bacteriológica Del Agua Del Humedal Jaboque (Bogotá, Colombia) En Dos Épocas Contrastantes [Internet]. Revistas.unal.edu.co. 2014 [citado el 22 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/47490/49513>
- 46.** Acosta Castellanos PM, Caro Camargo CA, Perico Granados NR. Análisis de interferencia de parámetros físicos del agua, en desinfección por radiación UV. [Internet]. Revista de Tecnología, 2016. [citado el 22 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://revistas.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/1874>

Anexos

Anexo 1. Ley 9 de 1979.

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf

Anexo 2. Decreto 1575 de 2007.

<https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>

Anexo 3. Resolución 2115 de 2007.

https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

Anexo 4. Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio.

<https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>

Anexo 5. Ficha Técnica Punto de toma.

<https://drive.google.com/file/d/1B-aZjqBSRVncPmjGu7eM4AD-nAn6U4Vx/view?usp=sharing>