

Análisis microbiológico y físico de aguas en el Laboratorio Ambitest SAS en Yopal -
Casanare.

Jenitzhe Yosbledy Abril Ramirez

Universidad de Pamplona
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Microbiología
Pamplona, Norte de Santander
2024

Análisis microbiológico y físico de aguas en el Laboratorio Ambitest SAS en Yopal -
Casanare.

Jenitzhe Yosbledy Abril Ramirez

Trabajo de grado para optar al título de Microbiología

Tutor académico
PhD. Ramon Ovidio García

Tutor empresarial
Alejandra Pérez Molina

Universidad de Pamplona
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Microbiología
Pamplona, Norte de Santander
2024

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Resumen

El suministro de agua en Yopal – Casanare no es óptimo, por lo tanto, es necesario realizar el seguimiento en la calidad de las aguas. Por ello, el Laboratorio Ambitest SAS, brinda servicios de análisis microbiológicos y fisicoquímicos de matrices de aguas potables, residuales y pozos. En el aspecto microbiológico, se analiza la presencia de coliformes totales y fecales, utilizando el método de filtración por membrana para aguas potables y de piscinas, mientras para residuales y pozos, se utiliza el método de número más probable. En los análisis físicos, se realiza pH, temperatura, conductividad eléctrica y turbidez. Por medio de los reportes realizados en los meses de marzo, abril, mayo y junio del año 2024, se evidencia en la parte microbiológica de aguas potables, incumplimiento en 14 muestras para coliformes totales y en 3 muestras para coliformes fecales en un total de 169 muestras. En las aguas de piscina, se reportó crecimiento de coliformes totales en 9 muestras de un total de 52, y en los análisis físicos todas las muestras cumplen con lo reglamentado por las normativas. En las aguas residuales, se evidenció crecimiento de coliformes totales y fecales en todas las muestras, así como variabilidad de datos en los análisis físicos, y para las aguas de pozos, se observó presencia de coliformes totales y fecales en todas las muestras reportadas, mientras que, en los análisis físicos, hay cumplimiento normativo para temperatura y turbidez, en pH hay muestras por debajo del rango permitido y en conductividad eléctrica se realiza análisis y reporte. En el presente trabajo, se evidenció tanto el cumplimiento como el incumplimiento de las normativas vigentes, según los reportes de resultados obtenidos en las diferentes matrices de aguas analizadas. Por medio de los reportes realizados, se contempla la importancia de la verificación en la calidad de las aguas de Yopal – Casanare, aunque para algunos parámetros no haya límites establecidos en las normativas, el seguimiento de estas aguas minimiza los riesgos en la salud humana.

Palabras clave: Agua, Coliformes fecales, Coliformes totales, conductividad eléctrica, pH, temperatura, turbidez.

Abstract

The water supply in Yopal - Casanare is not optimal, therefore, it is necessary to monitor the quality of water. Therefore, Ambitest SAS Laboratory provides microbiological and physicochemical analysis services of drinking water, wastewater and wells. In the microbiological aspect, we analyze the presence of total and fecal coliforms, using the membrane filtration method for drinking water and swimming pools, while for wastewater and wells, we use the most probable number method. In the physical analyses, pH, temperature, electrical conductivity and turbidity are performed. Through the reports made in the months of March, April, May and June 2024, it is evident in the microbiological part of drinking water, non-compliance in 14 samples for total coliforms and in 3 samples for fecal coliforms in a total of 169 samples. In swimming pool water, total coliform growth was reported in 9 samples out of a total of 52, and in the physical analysis all samples comply with the regulations. In wastewater, total and fecal coliform growth was observed in all samples, as well as variability of data in the physical analyses, and for well water, total and fecal coliforms were observed in all samples reported, while in the physical analyses, there is regulatory compliance for temperature and turbidity, in pH there are samples below the permitted range, and in electrical conductivity analysis and reporting is performed. In the present work, both compliance and non-compliance with the regulations in force were evidenced, according to the reports of results obtained in the different water matrices analyzed. Through the reports made, the importance of the verification of water quality in Yopal - Casanare is contemplated, although for some parameters there are no limits established in the regulations, the monitoring of these waters minimizes the risks to human health.

Keywords: Water, fecal coliforms, total coliforms, electrical conductivity, pH, temperature, turbidity.

Índice General

1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVOS	12
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. MARCO TEÓRICO	15
4.1. AGUA	15
4.1.1 <i>Agua potable:</i>	15
4.1.2 <i>Agua de piscina:</i>	17
4.1.3 <i>Aguas residuales:</i>	17
4.1.4 <i>Agua de pozo:</i>	19
4.1.5 <i>Agua superficial:</i>	20
4.2. INDICADORES GENERALES DE CALIDAD DEL AGUA.	20
4.2.1 <i>Coliformes totales y fecales:</i>	21
4.2.2 <i>Indicadores físicos de la calidad del agua:</i>	22
5. ESTADO DEL ARTE	26
6. MARCO LEGAL	28
7. METODOLOGÍA	30
7.1. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS:	31
7.1.1 <i>Filtración por membrana:</i>	31
7.1.2 <i>Número más probable (NMP):</i>	32
7.2. ANÁLISIS FÍSICOS:	33
7.2.1 <i>pH:</i>	34

	8
7.2.2. <i>Temperatura:</i>	35
7.2.3. <i>Conductividad eléctrica:</i>	35
7.2.4. <i>Turbidez:</i>	35
8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.	37
9. RESULTADOS Y DISCUSIONES	38
9.1. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS Y FÍSICOS DE AGUAS POTABLES Y DE PISCINAS:	38
9.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS Y FÍSICO DE AGUAS RESIDUALES:	44
9.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS Y FÍSICO DE AGUAS DE POZOS:	49
10. CONCLUSIONES.	55
11. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS	57
12. REFERENCIAS.	58
13. ANEXOS.	70
13.1. ANEXO 1.	70
13.2. ANEXO 2.	71
13.3. ANEXO 3.	71

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Metodología general de los análisis microbiológicos.</i>	31
Figura 2. <i>Metodología general de los análisis físicos.</i>	34
Figura 3. <i>Reporte de coliformes totales y coliformes fecales en aguas potables.</i>	38
Figura 4. <i>Reporte de coliformes totales y fecales en aguas de piscina.</i>	39
Figura 5. <i>Reporte de pH en aguas potables y de piscinas.</i>	40
Figura 6. <i>Reporte de temperatura en aguas potables y de piscina.</i>	41
Figura 7. <i>Reporte de conductividad eléctrica de aguas potables y de piscinas.</i>	42
Figura 8. <i>Reporte de turbidez en aguas potables y de piscina.</i>	43
Figura 9. <i>Reporte de coliformes totales y coliformes fecales en aguas residuales.</i>	44
Figura 10. <i>Reporte de pH para aguas residuales.</i>	45
Figura 11. <i>Reporte de temperatura en aguas residuales.</i>	46
Figura 12. <i>Reporte de conductividad eléctrica de aguas residuales.</i>	47
Figura 13. <i>Reporte de turbidez de aguas residuales.</i>	48
Figura 14. <i>Reporte de coliformes totales y fecales en aguas de pozos.</i>	50
Figura 15. <i>Reporte de pH en aguas de pozos.</i>	51
Figura 16. <i>Reporte de temperatura en aguas de pozos.</i>	52
Figura 17. <i>Reporte de la conductividad eléctrica de las aguas de pozos.</i>	52
Figura 18. <i>Reporte de turbidez en aguas de pozos.</i>	53

1. Introducción

El agua es el fluido más abundante en la tierra y la sustancia principal para la vida, es probablemente la única en el planeta que se puede encontrar en los tres estados de la materia líquido, sólido y gaseoso (Marín, 2020). Al agua se le atribuyen procesos como: la digestión, funcionamiento del metabolismo, estructura el sistema circulatorio y además participa en la mayoría de reacciones físicas, químicas y biológicas en el planeta (Análisis de Aguas. s.f). Por tanto, al ser esta esencial e indispensable, es necesario realizar la verificación del tratamiento que se destina principalmente a las actividades humanas, por ello se requiere de análisis microbiológicos y fisicoquímicos para conocer el estado en el que se encuentra y si cumple o no con las normativas para la necesidad que se requiere.

Por lo anterior, y con el fin de evaluar la calidad del agua, inicialmente en el departamento de Casanare fue fundado en el año 1996 en Aguazul el laboratorio ambiental Ambitest S.A.S. Actualmente, dicho laboratorio se encuentra ubicado en el municipio de Yopal del mismo departamento, prestando servicios locales y a los departamentos vecinos. El laboratorio está acreditado con la normativa ISO 17025 y certificado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) con la Resolución 1394 de 2015 del Ministerio de Salud y Protección Social, para la realización de análisis microbiológicos y fisicoquímicos de todo tipo de matrices de aguas y superficies vivas e inertes, siendo estos los servicios que ofrece junto con el muestreo (Ambitest, s. f.). En el laboratorio también se evalúan muestras suministradas por los clientes de diferentes localidades.

El tratamiento ambiental del agua en el municipio de Yopal ha sido motivo de controversia social, política y económica, desde décadas atrás el sistema de potabilización del agua en este municipio se enfrentó a desafíos, con pérdidas económicas millonarias, este recurso hídrico no había sido tratado antes mediante métodos microbiológicos y fisicoquímicos, generando así en ese momento una contingencia de salud pública (Becerra, 2021).

El agua se encuentra enmarcada según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Asamblea General 64/292), como un derecho fundamental a la salud. La ley 142 en Colombia dentro de la regulación y legislación, decreta la importancia de los servicios públicos domiciliarios y dentro de ellos, el agua que debe pasar por un proceso reglamentado y regulado microbiológico y fisicoquímico para que sea agua potable y de consumo para la calidad de vida (ONU, 2014).

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el impacto y la importancia que tiene el laboratorio en la región, en el presente trabajo se exponen los resultados de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos realizados a las muestras de aguas de diferentes matrices en el Laboratorio Ambitest SAS.

2. Objetivos

Objetivo general:

Verificar la calidad microbiológica y física de las muestras de aguas analizadas en el laboratorio Ambitest SAS en Yopal - Casanare.

Objetivos específicos:

1. Realizar análisis microbiológicos y físicos en muestras de aguas potables y de piscina ingresadas al laboratorio Ambitest SAS.
2. Determinar por medio de análisis microbiológicos y físicos, el cumplimiento de las normas en muestras de aguas residuales y de pozos en el laboratorio Ambitest SAS.

3. Justificación

El agua es un fluido importante para los ecosistemas de los que dependen la seguridad alimentaria y la nutrición de la generación actual y futura (FAO, 2015). Siendo el agua un líquido fundamental para el bienestar humano, el Ministerio de Salud y Protección Social, así como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, han realizado las especificaciones correspondientes bajo normativas para cada una de las matrices de aguas, así como el control de saneamiento, cuidado y manejo de cada una de estas. Es por ello, que cada matriz cuenta con una normativa distinta, con el fin de evaluar los criterios microbiológicos y fisicoquímicos para beneficiar ya sea al consumidor o a la fuente de abastecimiento. Es así, como la calidad del agua de las diferentes matrices es de suma importancia para la comunidad en general y sobre todo para las entidades públicas o privadas que certifican el buen tratamiento de cada una de estas.

Por otra parte, es importante conocer que el departamento de Casanare cuenta con múltiples fuentes hídricas, siendo las principales, las cascadas: La Tebaida y La Calaboza, las cuales desembocan en el río Cravo Sur. Este río es la principal fuente hídrica que abastece al municipio de Yopal, nace en la Cordillera Oriental en Boyacá, ubicándose exactamente entre la Serranía de Peña Negra y el Páramo de Cadilla (Plataforma Colaborativa 8 Río Cravo Sur, 2022). Sin embargo, por diferentes motivos el agua de este departamento no es óptima para el consumo humano, lo que conlleva a problemas de salud pública. Por tanto, surge la necesidad por parte de la población, de verificar la calidad del agua.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, es necesario evaluar la calidad de las aguas en el Departamento de Casanare y es por ello que el Laboratorio Ambitest SAS, brinda el servicio de

análisis microbiológicos y fisicoquímicos de matrices de aguas potables, piscinas, pozos, superficiales y residuales. En la parte microbiológica, se analiza principalmente coliformes totales y coliformes fecales (*Escherichia coli*), ya que estos microorganismos son los de mayor importancia en el departamento de Casanare, dado que son indicadores de calidad, mientras que, los análisis físicos de relevancia en este estudio son: pH, temperatura, conductividad eléctrica y turbidez, dado que, son los que tienen un rango de tiempo de valoración no mayor a 12 horas. Por lo anterior, es necesario conocer el estado de cada matriz, para poder plantear un tratamiento o una solución de mejora, con el fin de minimizar que estas sean un riesgo para la salud humana o en su defecto que causen un daño significativo al medio ambiente.

4. Marco teórico

La cantidad de agua que recubre el planeta es de aproximadamente 1.386 millones de km³, esta sustancia es fundamental para la vida (Marín, 2020). Por lo anterior, es de interés controlar de forma microbiológica y fisicoquímica la calidad del agua según el uso al que esta sea destinada y por ello este fluido se clasifica en diferentes matrices:

4.1. Agua

4.1.1 Agua potable:

Se presenta como un fluido incoloro, indoloro e insípido con características organolépticas, microbiológicas y fisicoquímicas estrictas para la aceptabilidad para el consumo humano (Subdirección de Salud Ambiental, 2022). Debido que el agua potable es una fuente portadora de sustancias tóxicas, patógenos o epidemias debido a su manipulación o inadecuado tratamiento, es prioridad realizar el seguimiento microbiológico y fisicoquímico de esta, el control de calidad de esta matriz la lleva a cabo la Inspección Sanitaria y las instituciones de salud pública, que se rigen bajo directrices establecidas por las normativas correspondientes (Dedić et al., 2020).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) “28 millones de personas no tienen acceso al agua de una fuente no mejorada”, lo que deduce a una no aplicación de los métodos microbiológicos y fisicoquímicos para analizar el agua y observar la viabilidad de esta en el consumo y uso humano (World Health Organization: WHO, 2023). Más de 20 millones de personas en América no cuentan con un sistema de agua potable, las enfermedades del agua relacionadas al sistema de salud son cada vez más frecuentes, producto del agua no analizada y tratada.

La revista Biomédica en su artículo de investigación realizado en Colombia sobre la presencia de los virus entéricos en el agua, concluye que según los estudios realizados de muestras tomadas en diferentes regiones del país y sus respectivos análisis microbiológicos y fisicoquímicos, se comprueba la presencia de este virus entérico en el agua, virus que representa un riesgo para la salud pública en el país (Peláez et al., 2016). De igual forma, el Ministerio de Salud y Protección Social informa por medio de un comunicado emitido en enero del 2024, los efectos que el fenómeno del niño ha causado en la salud humana, donde se confirma que el agua destinada para consumo humano ha sido causante de enfermedades diarreicas agudas y Chagas en diferente tipo de poblaciones (Circular externa No. 000.00002 de 2024, 2024). Por otra parte, el Instituto Nacional de Salud (INS) en su boletín de vigilancia de la calidad del agua en Colombia, reporta las notificaciones del IRCA por departamentos y zonas correspondientes al mes de abril del año 2024, se evidencia para la parte rural de Casanare una clasificación de riesgo bajo y para la urbana sin riesgo, en dicho boletín se informa que este departamento realiza reportes oportunos al Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (SIVICAP), obteniendo un porcentaje de notificación del 100% en notificaciones oportunas por los municipios (INS, 2024).

El tener un control y análisis permanente del agua, es importante para los problemas de salud y de contingencia respecto a la potabilización del agua y sus diferentes formas de suministro al consumo humano.

Moreno (2020) en el artículo los retos de acceso al agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales en Colombia menciona la debilidad en la gestión ambiental de los procesos referentes al agua, esta gestión ambiental está enmarcada en la poca inversión en laboratorios, asesoría técnica y control sobre el agua de calidad en Colombia, el agua potable y tratada en Colombia aún presenta retos de inversión, departamentos en las regiones como zona Pacífica y zona Atlántica el acceso

al agua de calidad es poca o mínima, las epidemias y enfermedades sobre todo en la población infantil por aspectos microbiológicos relacionados con el agua (Moreno, 2020).

En Colombia el índice de riesgo de la calidad del agua potable IRCA, se evalúa mediante una metodología de vigilancia y control y por un modelo matemático, establecido en la Resolución 2115 de 2007 por el Ministerio de Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, donde se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (Informe Nacional de Calidad del Agua Para Consumo Humano, 2020).

4.1.2. Agua de piscina:

Este tipo de agua, se usa con fines recreacionales o terapéuticos y al igual que el agua potable, el seguimiento y verificación debe ser constante por el contacto directo con las personas, además debe cumplir con normativas donde se asegure el contacto con estas, de lo contrario los riesgos para la salud humana son altos ya que se puede contraer infecciones, intoxicaciones y demás problemas de salud si el agua no es apta para el contacto directo (Riazalhosseini et al., 2022). La diferencia principal de esta matriz con la potable es la concentración de cloro y el pH suele ser menor al agua potable, sin embargo, los rangos de los demás parámetros no varían mucho con los de la potable dado que este tipo de matriz también se encuentra categorizada como apta para el contacto humano.

4.1.3. Aguas residuales:

Esta matriz de agua se divide en dos tipos, la primera son las aguas residuales domésticas que son aquellas que se desechan en los hogares o instalaciones comerciales (baños, duchas, lavamanos, cocina, patio o lavadoras). La segunda son las aguas residuales no domésticas las cuales proceden

de actividades industriales que contiene grasas, aceites e hidrocarburos (Subdirección de Salud Ambiental, 2022).

Las aguas residuales pueden clasificarse como urbanas, industriales y de refrigeración. Este tipo de aguas presentan un alto grado de heterogeneidad de contaminantes industriales, por ello, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece según las medidas preventivas y sancionarias de los diferentes lugares, una tasa retributiva por la utilización de los recursos hídricos como receptores de vertimientos, de la carga total contaminada se establece el monto monetario por parte de la autoridad ambiental (User, s. f.).

Las investigaciones muestran, en algunos casos las aguas residuales han sido tratadas y previamente utilizadas nuevamente para riegos del sistema agricultor, limpieza y fines urbanos. La reutilización de esta agua es de suma importancia pues genera aportes al medio ambiente, dependiendo del tipo de agua residual y un buen tratamiento de purificación se puede volver a reutilizar esta agua (Aurelio, 2014).

Según información del Banco Mundial, 80 % de las aguas residuales son vertidas en el medio ambiente sin tener un tratamiento apropiado, el tratamiento idóneo de aguas residuales puede ser una opción bastante interesante para solucionar problemas del uso del agua, en comunidades donde el agua potable es escasa o no tienen tratamiento apto de potabilización del agua, dado que si a las aguas residuales en estado mínimo de contaminación se les realiza un tratamiento adecuado, pueden ser reutilizadas para actividades básicas y así ahorrar al máximo el agua potable, esta opción podría ser una práctica solución a muchos de los problemas que en este momento tienen muchas comunidades con el agua (Mundial, 2020).

4.1.4. Agua de pozo:

También conocida como agua subterránea, dado que se recolecta de aperturas profundas de la tierra son validadas con el fin de verificar su calidad para a partir de esta abastecer necesidades de riego, piscicultura entre otras actividades que brindan sostenimiento ya sea económico o hídrico a la comunidad (Aguas Subterráneas y Acuíferos, 2021). De lo anterior, parte el interés de la evaluación de esta matriz de agua, según la presente investigación, el agua de pozo es la menos estudiada en aspectos microbiológicos, ya que al ser agua subterránea es limpia por su mismo proceso natural.

La contaminación y la explotación de la naturaleza han deteriorado la calidad del agua en estos lugares. En países latinoamericanos el agua de pozo es utilizada en un gran porcentaje para consumo humano, riego de cultivos y como suministro en la industria. En Colombia se han realizado estudios que evidencian contaminación biológica y química, (Casso-Hartmann et al., 2022) en su estudio realizado en La Toma – Colombia, confirma la presencia de metales pesados como el mercurio y de coliformes totales y fecales en diferentes tipos de aguas, así como señalamiento en la deficiencia del servicio de alcantarillado lo que conlleva a vertimiento de las aguas residuales en las aguas superficiales del lugar, ocasionando daños en la salud humana.

El agua subterránea, también cuenta con las aguas que caen de las lluvias, esta precipitación pluvial genera movimientos contaminantes en el suelo que emergen en las aguas, estos contaminantes pueden ser acidificaciones de las lluvias y el medio ambiente contaminado. Según definiciones de la investigación el agua subterránea contiene indicadores microbianos y rangos establecidos por una norma en la parte fisicoquímica. El agua de pozo se ha convertido en agua de uso común en las comunidades debido a que, muchas de estas poblaciones no cuentan con un sistema de tratamiento de agua potable, por lo tanto, las personas se ven obligadas a utilizar el agua de los

pozos, los agentes contaminantes que hoy contienen las aguas subterráneas en su mayoría son bacterias las cuales afectan el sistema digestivo y en algunos casos causan la muerte de niños y personas adultas (Anduro et al., 2017).

4.1.5. Agua superficial:

Estas aguas provienen de los ríos, arroyos o lagos, este tipo de matriz se evalúa con el fin de realizar seguimiento y control según el abastecimiento al que se requiera llegar y al igual que las demás matrices esta también cuenta con normativas que establecen rangos de condiciones microbiológicas y fisicoquímicas que deben ser acatadas según la función deseada (Captación de Ríos, Lagos y Embalses, s. f.).

Las aguas superficiales, son aguas que se mantienen en contacto con la atmósfera y el medio ambiente, estas aguas llegan a los ríos y a los océanos. Las aguas superficiales tienen muchos usos como; agrícolas, pecuarios, acuicultura, abastecimiento público, uso doméstico, también es utilizada en la industria autoabastecida: que incluye ámbitos industriales, agroindustrial, servicios y comercio, producción hidroeléctrica, producción de energía eléctrica, balnearios y sirve de uso para centros recreativos. El agua superficial puede clasificarse según la calidad del agua, buena calidad, calidad aceptable y calidad contaminada (Uso y Aprovechamiento, 2022).

4.2. Indicadores generales de calidad del agua.

Los indicadores de calidad del agua son importantes porque permiten medir aspectos microbiológicos y fisicoquímicos según la norma, dentro de los aspectos microbiológicos de esta investigación se midió los coliformes totales y fecales, también se tomaron y analizaron muestras fisicoquímicas del agua como pH, temperatura, conductividad eléctrica y turbidez. Los análisis se

realizaron en las diferentes clasificaciones de agua: potables, piscina y aguas residuales pertenecientes a diferentes meses y tomadas en el municipio de Yopal.

El objetivo fue evaluar la calidad de los indicadores de calidad del agua para poder evitar problemas de salud en la región. Para evaluar la calidad del agua en el municipio Yopal se utilizaron los siguientes métodos microbiológicos:

4.2.1. Coliformes totales y fecales:

Los coliformes totales y fecales son microorganismos indicadores de la higiene y calidad del agua, por lo tanto, es el análisis microbiológico principal que se debe realizar. Los coliformes totales habitan en el suelo y en aguas superficiales dulces, estos indican contaminación ambiental, mientras que los coliformes fecales (*Escherichia coli*) indican presencia de contaminación fecal, ya que dicha bacteria, hace parte de la flora intestinal y termina siendo eliminada por medio de la defecación. Por lo anterior, la detección de coliformes totales y fecales es de interés para la calidad del agua, siendo los coliformes totales común en el medio ambiente e indicando la presencia de suelo o de contaminación directa del ambiente y los coliformes fecales indicadores de contaminación por heces, lo que puede causar consecuencias graves a la salud humana (IDEAM, 2007).

La bacteria *E. coli* es Gram negativa, la cual puede encontrarse en diferentes matrices de agua. El serotipo de preocupación ante los sistemas de vigilancia es *E. coli* O157:H7, este patógeno es causante de enfermedades gastro intestinales como el Síndrome Hemolítico Urémico (SHU) e incluso la muerte. El Centro de Control y Prevención de enfermedades (CDC) calcula 73.000 personas enfermas con SHU de las cuales se presentan 2.200 hospitalizaciones y 61 muertes en Estados Unidos anualmente (Yang et al., 2024). En Colombia en el año 2023 se evidenció la

presencia de brotes causados por *E.coli* O157:H7, *Giardia* spp. y *Cryptosporidium* spp., donde se presentaron reportes por enfermedades diarreicas agudas, siendo prevalente *E. coli* O157:H7 en Vaupés con un 58 %, Nariño 52 %, Caldas 41 %, Chocó 25 % y Valle del Cauca 23 %, para los ooquistes y quistes de *Giardia* spp. y *Cryptosporidium* spp., se presentó un rango de 14,6 % al 19,4 % en Boyacá y Cundinamarca (INS, 2023).

4.2.2. Indicadores físicos de la calidad del agua:

Los cambios de clima y sus variables físicas son de gran importancia en la evaluación de la calidad del agua, los parámetros permitieron conocer valores importantes como el pH del agua que en el caso del agua potable es importante para el consumo humano, el medio ambiente es afectado por los cambios de temperatura los meses de invierno y verano. Dentro de los parámetros físicos que se analizaron para el municipio de Yopal también se encuentra la conductividad eléctrica y turbidez.

Los parámetros físicos que se tuvieron en cuenta para esta investigación, según los procesos de laboratorio fueron los siguientes:

4.2.2.1. pH:

Con el pH se conoce la concentración de iones de hidrógeno presentes en el agua. Este parámetro puede variar según la matriz de agua a evaluar, en aguas potables y de piscinas, la concentración de hidrógeno es bastante exigente ya que son el tipo de aguas que tienen mayor contacto con el ser humano, cuando el pH se encuentra por fuera de los rangos establecidos, estas aguas pueden causar daños en la salud humana. Un ejemplo, es el artículo: el efecto del pH del agua de piscina en los dientes humanos, donde el pH de una piscina es de 5,5, lo que ocasiona pérdida de los minerales en los dientes de las personas (Cabrera et al., 2021).

En aguas residuales el pH, se ve afectado por las diferentes vertientes de residuos que van a parar en este tipo de aguas, el valor de este parámetro puede variar dependiendo de los diferentes tipos de microorganismos presentes. Por otra parte, las aguas de pozos presentan una condición de agua pura, esto significa que es agua no ionizada, la cual, se ve afectada por condiciones minerales. Mientras que, para las aguas superficiales como los ríos, arroyos y estanques, el pH puede variar dependiendo de las condiciones de afectación fisicoquímicas como el fósforo total, calcio, sodio, sólidos totales y sólidos disueltos totales (Giri et al., 2020).

4.2.2.2. Temperatura:

La temperatura y el pH tienen una relación estrecha dado que con estas se puede conocer o tener una idea más concreta del origen del agua. La temperatura es punto clave en la solubilidad de los gases, disolución de sales y por ende en la conductividad eléctrica. La temperatura de las aguas potables, varía según el lugar de procedencia, mientras que, para las aguas de piscinas, existen unos estándares internacionales para este tipo de agua, según la World Aquatics la temperatura del agua de piscina debe encontrarse entre 25°C y 28°C, esto se debe a la sensación térmica que debe presentar el agua con el contacto humano (Acosta, 2023).

En el caso de las aguas residuales, la temperatura tiene como particularidad, que suele ser más elevada que el agua potable (o agua de suministro), esto se debe al tipo de agua, la cual procede del uso doméstico y en algunas ocasiones de uso industrial, por esto sus intervalos de temperatura pueden ser entre 10°C y 21°C, en el caso especial de las PTAR, este tipo de aguas para poder tener un sistema de control de procesos maneja un intervalo de 20°C y 35°C (Ramírez, 2021).

Para las aguas de pozos, sin importar su alcalinidad, estas presentan temperaturas mayores a 25°C y menores a 40°C, en algunos casos se encuentran por debajo de los 25°C, esto se debe, a factores

físicos como el desplazamiento vertical, distancia vertical recorrida en relación a la profundidad, a la radiación solar recibida por el suelo (Vélez, 2011). Mientras que, en los ríos y arroyos, la temperatura se ve afectada por factores como: los cambios climáticos, dependiendo de las estaciones del año, los lugares (países y continentes) y diferentes especies que tengan en sus hábitats, un ejemplo es los sistemas acuíferos como el pez trucha que solo sobrevive a 13°C (FAO, s. f.).

4.2.2.3. Conductividad eléctrica:

En la conductividad eléctrica se mide la capacidad que tiene el agua para transmitir corriente eléctrica, principalmente a través de las sales. Para las aguas potables, el valor de este parámetro es estricto en la normativa y cualquier agua que no lo cumpla, no es apta para el consumo humano. Para las aguas de piscina, las cuales son frecuentadas por personas, estas tienen en su piel sales y minerales que pueden ser dejadas en esta fuente de agua, en este caso las sales afectan la conductividad eléctrica de las piscinas, además de eso, los tratamientos utilizados para las piscinas contienen químicos con electrolitos que también afectan la conductividad del agua de las piscinas. En Colombia el estándar de conductividad eléctrica para las piscinas es 12.880 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (HI 700304P Estándar de Conductividad 12880 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ Sachet (20 mL X 25) | HANNA Instruments Colombia, s. f.).

La conductividad eléctrica de las aguas residuales puede ser afectada, según datos del DANE en el 2020, se tuvo un incremento de las aguas residuales de un 0,8 %, esto hace que los minerales que se encuentran en las aguas residuales aumenten (Calderón et al., 2023). Por otra parte, para las aguas de pozos la relación con la conductividad eléctrica se debe a condiciones como: la dureza total y dureza de calcio estos son minerales que se encuentran en la naturaleza. La conductividad de las aguas superficiales depende su grado de sales y minerales, los ríos no contienen tantas sales

y minerales en comparación con los océanos y mares, estas últimas contienen grandes cantidades de sales, lo que afecta notablemente la conductividad eléctrica (Solís-Castro et al., 2018).

4.2.2.4. Turbidez:

La turbidez indica el nivel de sustancias coloidales, orgánicas o minerales presentes en el agua, este parámetro cuenta como un indicador principal para evaluar el nivel de contaminación de las aguas. Para el agua potable, se tiene en cuenta el proceso denominado clarificación, el cual desestabiliza las partículas presentes y causa la eliminación de la turbidez (Martínez et al., 2019). En aguas de piscinas, normalmente no se presentan estados de turbidez altos al igual que en las aguas potables, debido a los tratamientos y mantenimientos continuos que se les realiza.

Por otra parte, en aguas residuales, la turbidez generalmente es alta debido a que por lo general presentan partículas de gran tamaño, este parámetro se relaciona con los sólidos suspendidos totales, ya que con estos se cuantifican las partículas suspendidas y son indicadores de efectividad de los tratamientos secundarios realizados a este tipo de aguas (Miranda, 2009). Para las aguas de pozo y superficiales, la turbidez se relaciona con los sólidos suspendidos totales y con la presencia de metales pesados como puede ser el hierro, al que se le acarrea el color amarillo de las aguas de pozo y superficiales (Kyle, 2019).

5. Estado del arte

Haldar et al. (2022) en su investigación, dieron a conocer que la población de Khulna en la ciudad de Bangladesh vierte las aguas residuales sin un tratamiento previo a fuentes de aguas superficiales, estas últimas son utilizadas para riego por los agricultores de la zona, al realizar los análisis microbiológicos se evidenció la presencia de coliformes fecales, *E. coli* y *Enterococcus*, estos microorganismos han afectado a la salud humana según lo reportado en las encuestas realizadas por los investigadores, donde el 45 % de la población informó presentar inconvenientes de salud por enfermedades causadas por los microorganismos encontrados y el 26 % indicaron presentar enfermedades después de haber tenido contacto con aguas superficiales contaminadas.

Balfour-Lynn (2021) en su artículo de revisión, advierte sobre los riesgos de contraer *Pseudomonas aeruginosa* por medio del suelo o del agua, situación que afecta en especial a los niños con fibrosis quística, ya que las condiciones de salud de esta población es la más perjudicada al contraer esta bacteria, por ello, se presentan recomendaciones como evitar nadar en estanques o aguas estancadas.

Rodríguez y Tunaroza (2019) en la investigación realizada en el municipio de Une – Cundinamarca, evidenciaron el incumplimiento de la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social en los parámetros de físicos pH y turbidez, y en los microbiológicos con presencia de Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus*, dando a conocer la importancia del mejoramiento de la calidad del agua con el fin de minimizar el riesgo de enfermedades.

En un estudio realizado para las aguas de consumo humano en Sincerín y Gambote en Bolívar – Colombia, se evidenció por medio del IRCA la clasificación como aguas no aptas para el consumo humano, causando alertas en la salud pública por el consumo directo que se tiene con las aguas evaluadas, en dicho estudio se realizaron análisis microbiológicos para coliformes fecales y totales y análisis físicos como pH, turbidez y conductividad eléctrica, donde todos presentaron incumplimiento ante la normativa (Duarte-Jaramillo et al., 2021).

En un estudio realizado por Torres-Pineda et al. (2020) con el propósito de caracterizar la calidad de agua del río Cravo Sur, fuente de abastecimiento de la población de Yopal – Casanare, recolectaron 22 muestras entre abril de 2017 hasta abril de 2018, con las cuales se clasificó por medio del índice de calidad del agua (ICA) como regular y aceptable, evidenciando un promedio de ICA de 0,62 para verano y de 0,86 en invierno, concluyendo una demanda mayor del ICA en invierno y el estado óptimo del agua para su uso en el suministro de la planta de tratamiento.

La Gobernación de Casanare en el año 2024, indicó alerta de riesgo por la calidad del agua según el índice de Riesgo de la Calidad de Agua (IRCA), realizando una clasificación por municipios, donde en el riesgo alto se encuentra San Luis de Palenque y en riesgo medio Trinidad, La Salina y Sácama, se informa que la principal falencia es por la operación y mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable seguido del cambio climático registrado en los municipios, por ende, la Secretaría de Salud Departamental hace una invitación a todos los habitantes para que hiervan el agua que utilicen como consumo directo (Gobernación del Casanare, 2024).

6. Marco legal

Teniendo en cuenta que las matrices son diferentes las normativas también lo son, es por ello que el laboratorio tiene en cuenta:

Para aguas potables la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social (MPS), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y el Decreto 1575 de 2007 por el Ministerio de Protección Social, la primera normativa indica las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Mientras que la segunda normativa establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos en la salud humana causados por su consumo, con excepción del agua envasada.

La normativa por la que se rigen las aguas de piscina es la Resolución 1618 de 2010 del MPS, la cual tiene por objetivo establecer las características físicas, químicas y microbiológicas con los rangos permitidos para estanques de piscinas y estructuras similares de recirculación, así como la frecuencia del control y vigilancia de la calidad del agua que se debe realizar por parte del responsable y la autoridad sanitaria.

En el caso de las aguas residuales se cuenta con la Resolución 0631 de 2015 y la Resolución 0699 de 2021 ambas normativas emitidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la primera establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deben cumplir quienes realizan vertimientos puntuales, a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, y la segunda establece los parámetros y los valores límites

máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas tratadas al suelo, y otros tipos de aguas residuales. Por último, el Decreto 1594 de 1984 emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece parámetros para tratamientos de las aguas según su disposición final.

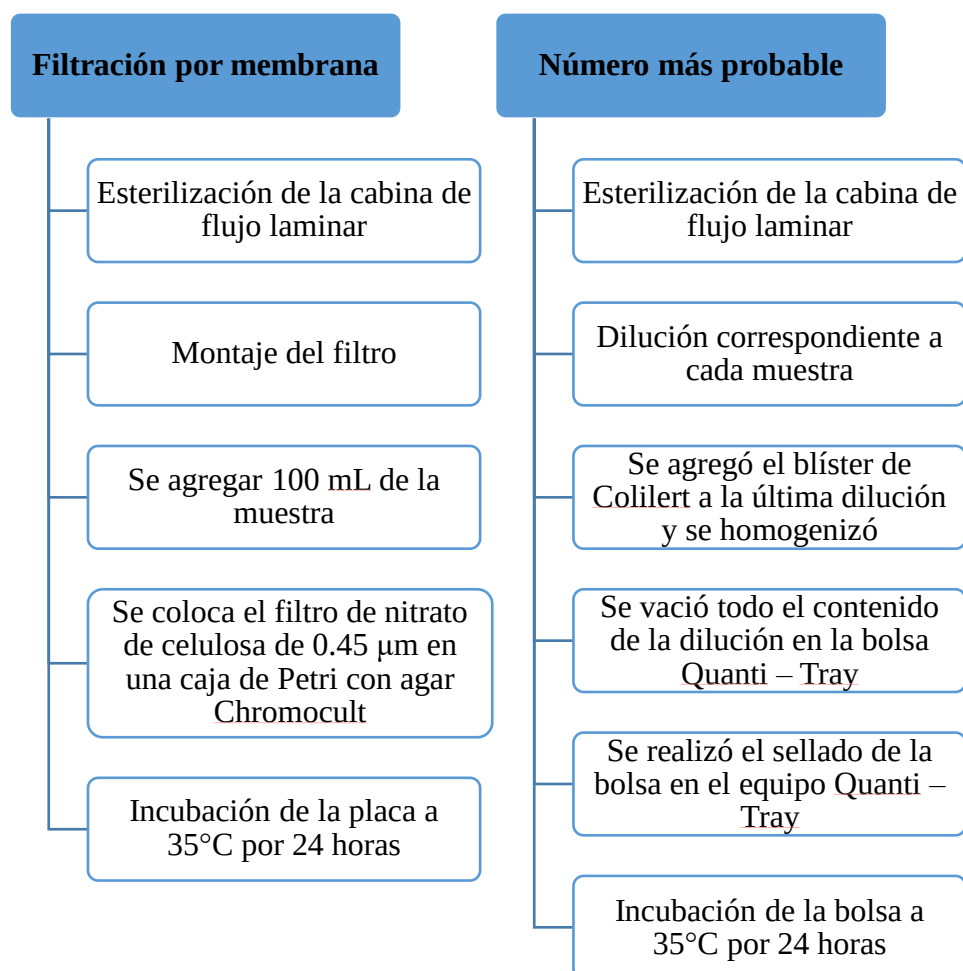
La matriz de pozos se rige por el Decreto 1076 de 2015 y el Decreto 050 de 2018 ambas del MADS, en el primero el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Sostenibilidad es responsable de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de gestionar y regular la planificación ambiental de la zona y de formular las políticas y normas a seguir para la restauración, conservación, protección, planificación, gestión y uso de las energías renovables, recursos naturales y uso sostenible del medio ambiente del país, con el fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores, en esta normativa también se ubican los límites para análisis microbiológicos y fisicoquímicos de la matriz de agua superficial. Por otro lado, el segundo Decreto, garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante la gestión y el uso eficiente y eficaz del agua, por lo tanto, se deben formular los procesos de ordenamiento y uso territorial y protección de los ecosistemas que regulen el abastecimiento de agua, considerar el agua como un factor de desarrollo económico y bienestar social e implementar procesos de participación justa e inclusiva.

7. Metodología

Para el presente trabajo de la calidad del agua, se realizaron análisis microbiológicos y físicos a muestras de aguas suministradas por clientes de diferentes localidades, donde una vez ingresadas al laboratorio se les asignaba un código, y seguidamente se atemperaban dentro del laboratorio para su respectivo análisis.

En la siguiente etapa, se realizaron los respectivos análisis microbiológicos los cuales permitieron evaluar la detección de coliformes totales y fecales en muestras de aguas potables por el método de filtración por membrana. Para la determinación y reporte de coliformes totales y fecales en aguas residuales y de pozos en el municipio de Yopal, se utilizó la técnica de número más probable, en la figura 1 se observa la metodología para los análisis microbiológicos de forma general.

Figura 1
Metodología general de los análisis microbiológicos.



7.1. Análisis microbiológicos:

7.1.1. Filtración por membrana:

Este procedimiento se le realizó únicamente a las matrices potables y piscinas, después de haber recibido la muestra recepcionada donde se le asigna un código, lo primero que se realizó es la esterilización de la cabina de flujo laminar con UV por aproximadamente 30 minutos, seguidamente, una desinfección con alcohol al 96 % para llevar a cabo la montura del filtro que consta de la base, un filtro plástico y un filtro de nitrato de celulosa con un tamaño de poro de 0.45

μm , después de haber hecho correctamente la montura del filtro, se procede a agregar 100 mL de la muestra, esta pasa a través del filtro y es desechada por medio de una bomba de vacío. Pasado el proceso de filtrado, se procedió a retirar el filtro de nitrato de celulosa y colocarlo en una caja de Petri con agar Chromocult previamente preparado, posteriormente, se incubó la placa a 35°C por 24 horas. Se llevó a cabo la lectura según los resultados obtenidos teniendo en cuenta que colonias rojas son positivas para coliformes totales, azules o violetas con pigmentación son positivas para *Escherichia coli*. La identificación de los microorganismos se fundamenta en que en el medio utilizado, las colonias características de coliformes totales identificadas de color rojo – salmón son producto de la enzima característica de estas bacterias β -D-galactosidasa, que degrada el sustrato Salmon-Gal y de esta reacción se produce el color característico, en el caso de *E. coli* el color característico es azul oscuro – violeta, dado a la reacción que ocurre cuando la β -D-glucuronidasa y la β -D-galactosidasa degradan los sustratos X-glucurónido y Salmon-GAL (Merck, s.f).

El análisis se llevó a cabo durante los meses de marzo, abril, mayo y junio. En marzo se evaluaron 49 muestras para aguas potables y 12 de piscina, en abril 38 muestras de agua potable y 15 de piscina, en mayo 53 potables y 11 de piscina. Finalmente, en junio se evaluaron 28 muestras de agua potable y 14 de piscina.

7.1.2. Número más probable (NMP):

Este procedimiento se realizó a las matrices de aguas residuales y de pozo, principalmente se hace la desinfección de la cabina de flujo laminar ESCO y se realizó la dilución correspondiente a cada muestra, esta se hace por criterio del analista. Posterior a lo anterior, se agregó el blíster de Colilert a la última dilución y se homogeniza para seguidamente rotular la bolsa Quanti – Tray con su respectivo código, se vació todo el contenido de la dilución en dicha bolsa, la cual cuenta con 49

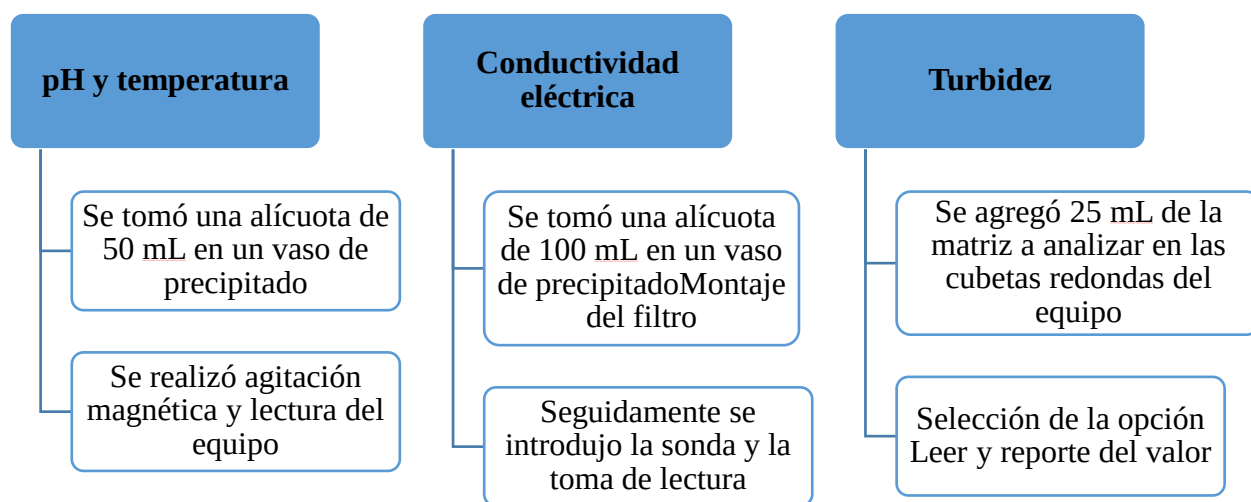
pocillos grandes y 48 pequeños, enseguida se procedió a sellar la bolsa en el equipo Quanti – Tray y se llevó a incubar a 35°C por 24 horas. Para la lectura, se tomó en cuenta los pocillos que viran de incoloros a amarillo oscuro como coliformes totales, para la confirmación de *E. coli*, la bolsa Quanti – Tray se observó en la lámpara UV y los pocillos que presentaron coloración azul se consideran positivos (ver anexo 1). El cambio de color, se atribuye a la reacción que se presenta con la degradación de ONPG como fuente de carbono, por parte de la enzima β -galactosidasa y en *E. coli* la reacción la produce la enzima β -glucuronidasa, la cual metaboliza el MUG como fuente de carbono y crea fluorescencia al exponerse a la lámpara UV (Colilert - IDEXX Latin America, s. f.).

El análisis se llevó a cabo por meses (marzo, abril, mayo y junio). En marzo se evaluaron 12 muestras para aguas residuales y 10 para pozos, en abril 19 para aguas residuales y 16 para pozos, en mayo 19 muestras para aguas residuales y 10 para pozos. Por último, en junio se evaluaron 16 muestras para aguas residuales y 11 para pozos.

7.2. Análisis físicos:

En la última etapa del diseño metodológico, se realizó el examen de los principales parámetros físicos representados en matrices de aguas potables, residuales y de pozos. En la figura 2 se observa la metodología para los análisis físicos de forma general.

Figura 2
Metodología general de los análisis físicos.



7.2.1. pH:

La medición del pH se llevó a cabo con el equipo llamado multiparámetro, el cual consta de un electrodo que es sensible a las concentraciones de protones. Una vez atemperadas las muestras en un rango de 24°C a 28°C, se tomó una alícuota de 50 mL en un vaso de precipitado, se procedió a colocar la muestra en agitación y se introduce el electrodo para seguidamente realizar la lectura del equipo (ver anexo 2).

Se evaluaron en el mes de marzo 47 muestras de aguas potables, 76 residuales y 31 de pozos, en el mes de abril 43 muestras de aguas potables, 82 residuales y 28 de pozos, en el mes de mayo 71 muestras de aguas potables, 131 residuales y 39 de pozos, por último, en el mes de junio se analizaron 40 muestras de aguas potables, 72 residuales y 22 de pozos.

7.2.2. Temperatura:

Este parámetro se realizó al mismo tiempo y de la misma forma que el pH (ver figura 2), ya que el equipo indica las dos mediciones con la misma configuración y el mismo electrodo. Este parámetro se aplicó a las mismas muestras a las que se le realizó el parámetro de pH (ver anexo 2).

7.2.3. Conductividad eléctrica:

Este proceso se llevó a cabo con el multiparámetro, el mismo que se utiliza para pH y temperatura, pero a diferencia de estas dos, en la conductividad no se utiliza el electrodo sino una sonda sensorial de conductividad. Una vez atemperadas las muestras en un rango de 24°C a 28°C, se tomó una alícuota de 100 mL en un vaso de precipitado y se procedió a introducir la sonda en cada muestra, aquí no se realizó el paso de agitación de la muestra con el agitador magnético, sino que se realizó de forma manual y muy lentamente, hasta la estabilización del equipo para seguidamente reportar la lectura en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ver anexo 2).

Se analizaron en el mes de marzo 37 muestras de aguas potables, 44 residuales y 34 de pozos, en el mes de abril 41 muestras de aguas potables, 35 residuales y 35 de pozos, en el mes de mayo 56 muestras de aguas potables, 44 residuales y 55 de pozos, por último, en el mes de junio se evaluaron 32 muestras de aguas potables, 29 residuales y 29 de pozos.

7.2.4. Turbidez:

La medición de turbidez se realizó con el equipo llamado turbidímetro, primeramente, se agregó 25 mL de la matriz a analizar en las cubetas redondas del equipo y se inició la lectura en la opción Leer (ver anexo 3), el reporte de este parámetro se mide en NTU (Unidades nefelométricas de turbidez). Cuando las muestras a simple vista están demasiado turbias, se filtran utilizando un filtro

de nitrato de celulosa con un tamaño de poro de 0.45 μm , esto con el fin no sobrepasar el límite de cuantificación del equipo porque puede provocar la pérdida de la calibración de este.

Se analizaron en el mes de marzo 36 muestras de aguas potables, 20 residuales y 12 de pozos, en el mes de abril 52 muestras de aguas potables, 25 residuales y 17 de pozos, en el mes de mayo muestras 29 de aguas potables, 26 residuales y 21 de pozos, por último, en el mes de junio se evaluaron 26 muestras de aguas potables, 23 residuales y 22 de pozos.

8. Cronograma de actividades.

[illegible]

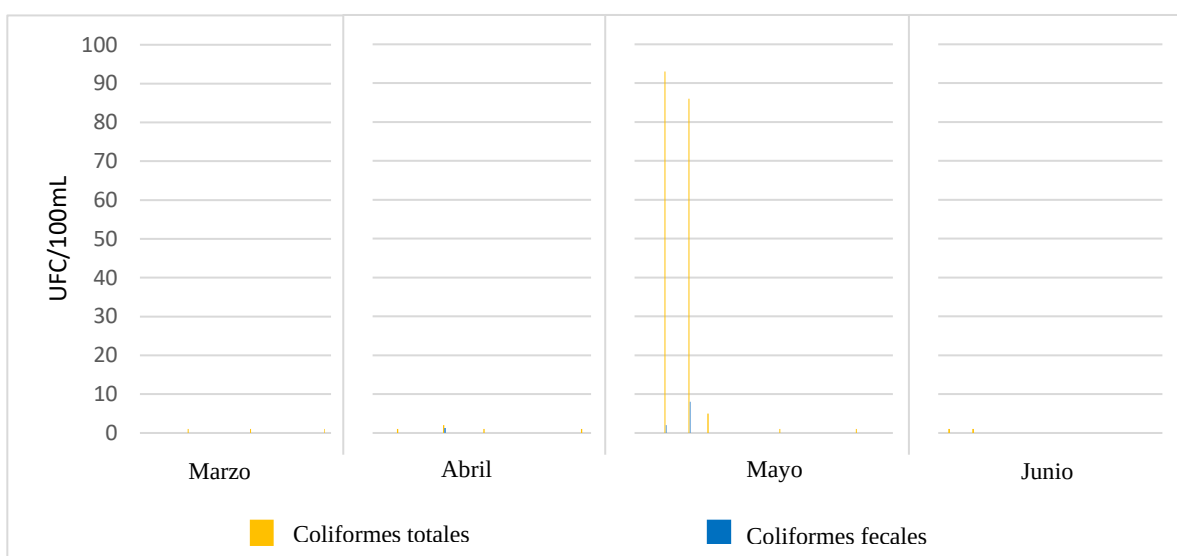
9. Resultados y discusiones

9.1. Análisis microbiológicos y físicos de aguas potables y de piscinas:

Para llevar a cabo los siguientes análisis, se tuvo en cuenta los reportes por meses (marzo, abril, mayo y junio del año 2024) de las matrices de aguas potables y de piscinas. En la figura 3 se observa el reporte de los diferentes meses para coliformes totales y fecales.

Figura 3

Reporte de coliformes totales y coliformes fecales en aguas potables.

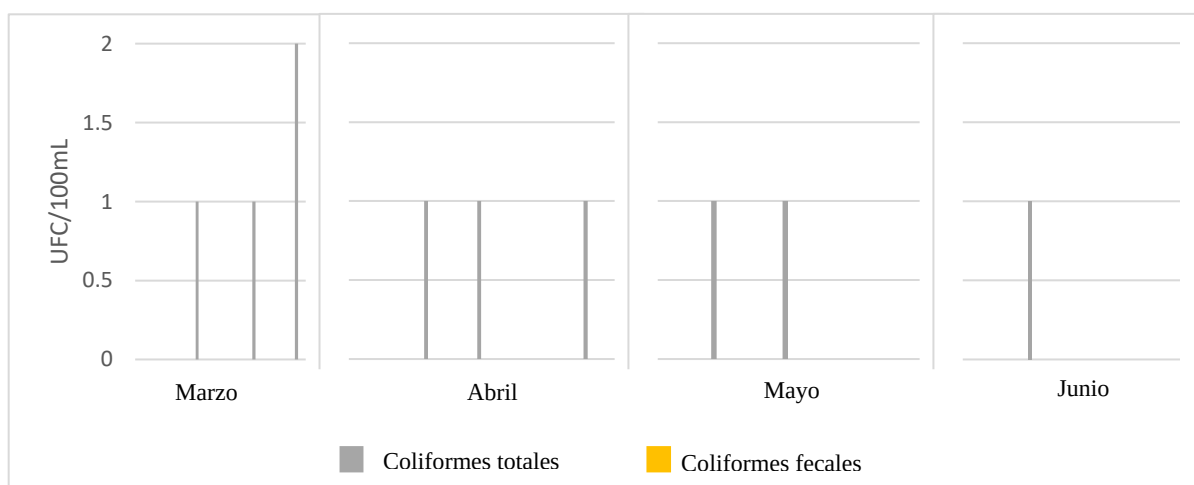


Teniendo en cuenta la Resolución del MPS 2115 del 2007, la cual indica los valores permitidos para los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos en aguas potables, esta específica en la parte microbiológica que para su cumplimiento los coliformes totales y fecales deben ser 0 UFC/100 mL. Sin embargo, en los reportes observados en la figura 3, en el mes de marzo, se observan recuentos en coliformes totales de 1 UFC/100 mL para las muestras potables número 13, 29 y 48, para el mes de abril, se observan recuentos en coliformes totales de 1 UFC/100 mL para las

muestras potables número 5, 13, 20, y 37, en el mes de mayo se observa los recuentos de coliformes totales y fecales con mayor valor, en las muestras potables número: 7 con 93 UFC/100 mL para coliformes totales y 2 UFC/100 mL para coliformes fecales, en la 12 con 86 UFC/100 mL para coliformes totales y 8 en coliformes fecales y en la muestra número 16 se presentaron 5 UFC/100 mL para coliformes totales. Por lo anterior, las muestras mencionadas en cada mes no cumplen con la exigencia de la norma, al no cumplir, el consumo de estas aguas potables se considera un riesgo para la salud de los habitantes del municipio de Yopal, dado que, la presencia de coliformes no solo incumple la norma, si no que puede generar enfermedades en el sistema digestivo que pueden ir de leves a crónicas al consumir este tipo de aguas.

Figura 4

Reporte de coliformes totales y fecales en aguas de piscina.

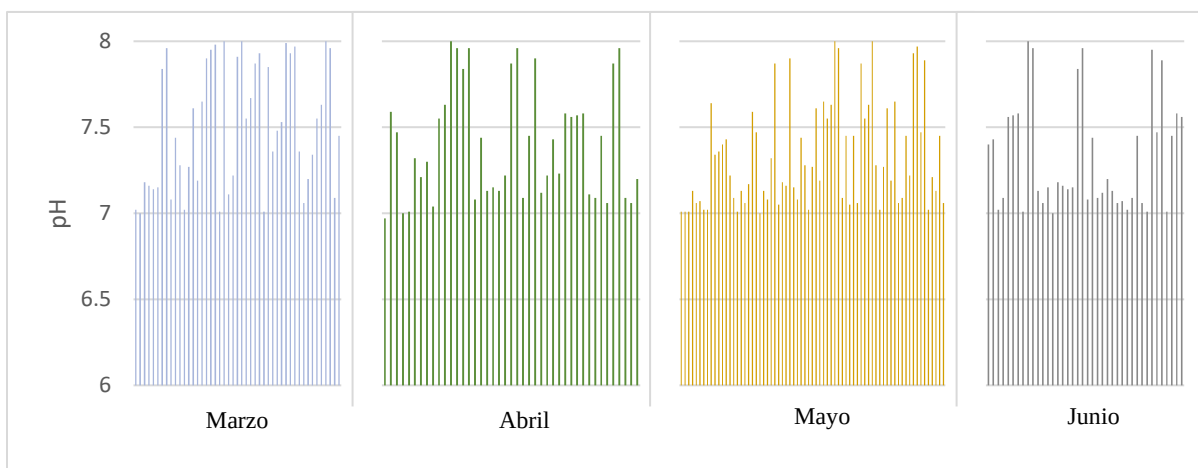


Para aguas de piscina se implementa la Resolución MPS. 1618 de 2010, la cual indica que los coliformes totales y fecales deben ser 0 UFC/100 cm³. En los reportes realizados (ver figura 4), en el mes de marzo las muestras número 5 y 9 reportan presencia de 1 UFC/100cm³ y la muestra 12, reporta 2 UFC/100cm³ para coliformes totales, en abril, las muestras número, 5, 8 y 14, presentaron

1 UFC/100cm³ para coliformes totales, para el mes de mayo se evidencia la presencia de 1 UFC/100cm³ para las muestras 3 y 6. Por último, en el mes de junio, se observan recuentos en coliformes totales de 1 UFC/100cm³ para las muestras potables número 2 y 5, y para piscina solo en la muestra número 5. Las muestras que presentan presencia de coliformes totales mencionadas anteriormente, no cumplen con la normativa correspondiente a aguas de piscina. Cabe resaltar en este punto, que solo se obtuvo presencia de coliformes totales, los cuales son indicadores de calidad del ambiente, pero, aunque sean del ambiente no deben estar en este tipo de aguas ya que, pueden involucrarse con enfermedades en la piel, ojos, oídos, nariz y boca al tener contacto directo con aguas contaminadas.

Figura 5

Reporte de pH en aguas potables y de piscinas.

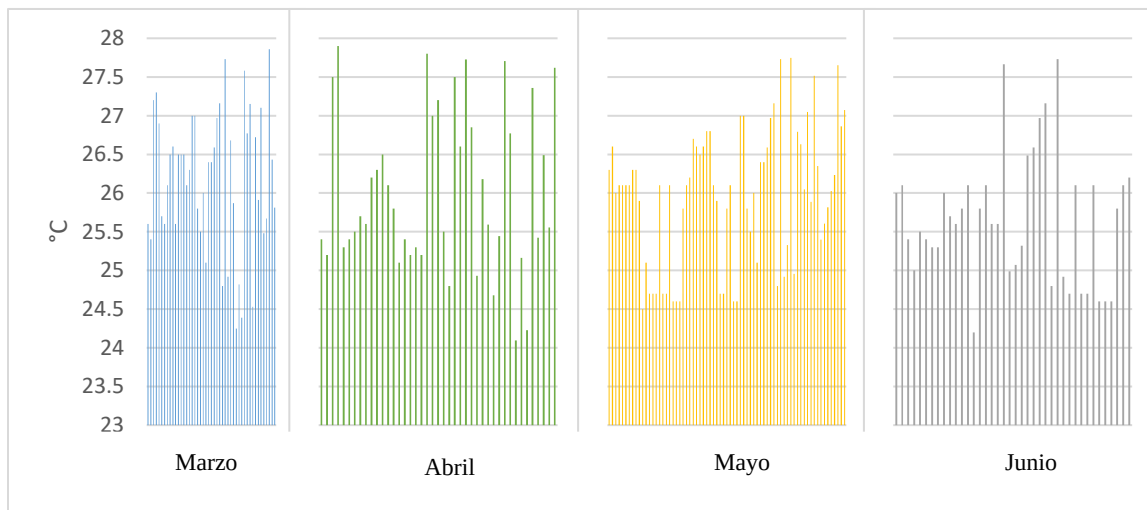


Según la normativa para agua potable la Resolución MPS 2115 de 2007, el intervalo de pH debe encontrarse entre 6,5 y 9, y para aguas de piscina la Resolución MPS 1618 de 2010, indica un rango de pH de 7 – 8. Teniendo en cuenta los reportes obtenidos (ver figura 5), se evidencia el cumplimiento de todas las muestras analizadas, ya que se puede observar que los rangos de las

muestras no se encuentran por debajo de 6,5 ni por encima de 8, rangos que cumplen con ambas normativas y por ende las muestras cumplen con este parámetro.

Figura 6

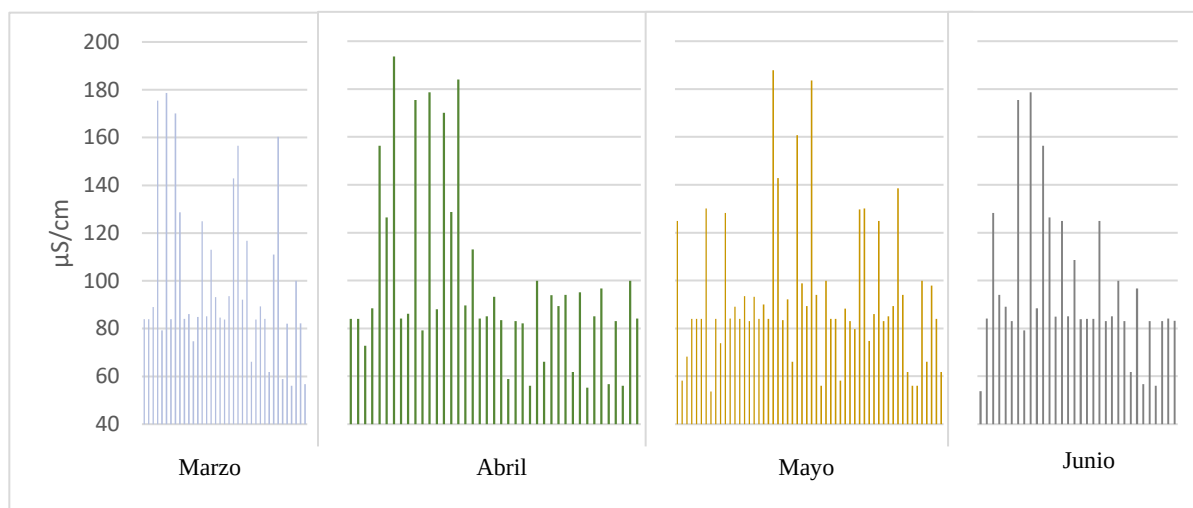
Reporte de temperatura en aguas potables y de piscina.



Acatando las normativas para aguas potables y aguas de piscina, la Resolución MPS 2115 de 2007 y la Resolución MPS 1618 de 2010, no indican un rango de temperatura límite para ninguna de las dos matrices. En este parámetro, y según los reportes presentados en la figura 6, se tienen en cuenta una de las reglas internas del laboratorio, la cual indica que las muestras deben ser atemperadas al ambiente rango que varía entre 24°C a 28°C. Por lo anterior, se puede observar que los reportes de las temperaturas varían entre 24°C y 27,9°C, valores que se encuentran dentro del rango de la temperatura ambiente del laboratorio.

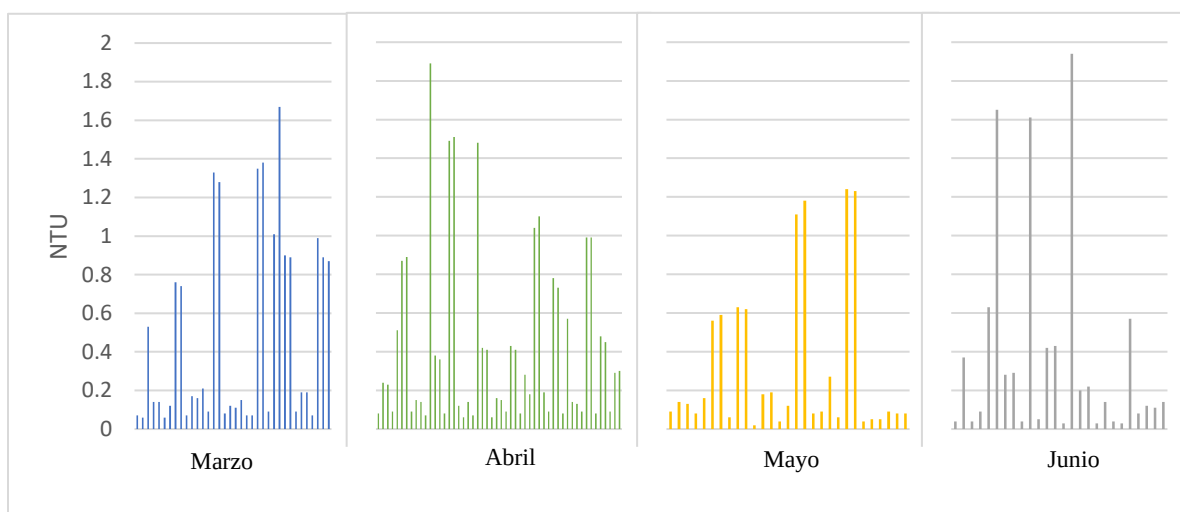
Figura 7

Reporte de conductividad eléctrica de aguas potables y de piscinas.



La conductividad eléctrica para aguas potables, la Resolución MPS 2115 de 2007 indica un rango máximo de 1000 $\mu\text{S/cm}$, mientras que para piscina la Resolución MPS 1618 de 2010 indica un rango máximo de 2400 $\mu\text{S/cm}$. Teniendo en cuenta lo anterior y el reporte de la figura 7, se evidencia que todas las muestras cumplen con las normativas establecidas, dado que ninguna de estas supera los rangos máximos establecidos, siendo reportado el mayor valor en la muestra número 7 de abril con 194 $\mu\text{S/cm}$, sin embargo está dentro del rango permitido.

Figura 8
Reporte de turbidez en aguas potables y de piscina.



Para aguas potables, se aplica la Resolución MPS 2115 de 2007 y para aguas de piscina la Resolución MS 1618 de 2010, ambas normativas determinan un rango máximo de 2 NTU para las matrices. Teniendo en cuenta lo anterior y los reportes obtenidos (ver figura 8), se evidencia el cumplimiento de las normas en todas las muestras. Cabe resaltar que, que en el mes de abril la muestra número 12 con 1,8 NTU y en el mes de junio la muestra número 16 con 1,9 NTU, fueron las de mayor valor durante los 4 meses, pero aun así cumplen con ambas normativas.

Considerando los reportes realizados para las aguas potables y de piscinas, la presencia que hubo en algunas muestras de coliformes totales y fecales son índices de factores de contaminación ambiental y fecal, por tanto, las aguas donde se presenta esta deficiencia se debe realizar un tratamiento para la eliminación de estos microorganismos. Sin embargo, en revisiones bibliográficas se ha informado de la presencia de microorganismos indicadores en diferentes tipos de aguas, con enfoque principal en aguas potables, donde se indica que la presencia de coliformes se considera complementaria para conocer la calidad del agua más no confirma presencia de

patógenos (Richiardi et al., 2023). Por lo anterior, para la detección de patógenos se realizan análisis avanzados donde se pueden utilizar kits rápidos de presencia/ausencia o pruebas convencionales de caracterización del patógeno de interés. Un ejemplo es la amplificación isotérmica mediada por bucle, la cual se realiza en una plataforma colorimétrica para la detección del patógeno *E. coli* O157:H7 (Yang et al., 2024).

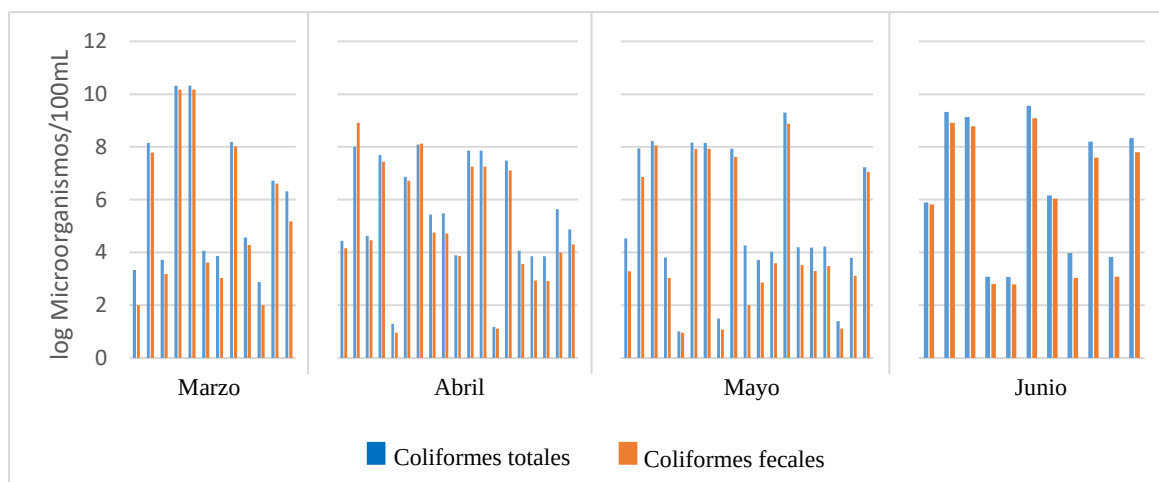
Casso-Hartmann et al. (2022) incluyeron análisis físicos en su investigación, con los cuales se guiaron para detectar falencias en los tratamientos de las aguas, así como contaminación por partículas suspendidas y químicos que pueden alterar el pH o la conductividad eléctrica de las aguas, mostrando valores cercanos o fuera de los rangos mínimos y máximos establecidos en las normativas.

9.2. Análisis microbiológicos y físico de aguas residuales:

Para llevar a cabo los análisis, se tuvo en cuenta los reportes por meses (marzo, abril, mayo y junio del año 2024) de las matrices de aguas residuales. En la figura 9, se evidencia el reporte de cada mes correspondiente a coliformes totales y fecales en aguas residuales.

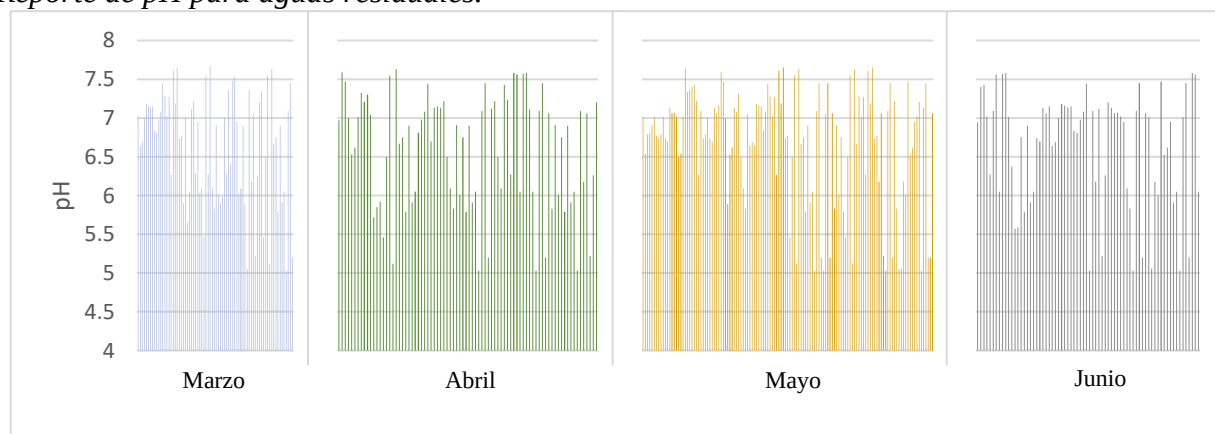
Figura 9

Reporte de coliformes totales y coliformes fecales en aguas residuales.



Para aguas residuales se tienen en cuenta dos normativas: la Resolución MADS 0631 del 2015, la cual establece los rangos para aguas residuales que van a vertimientos superficiales y alcantarillados, y la Resolución MADS 0699 de 2021, establece los rangos permitidos para las aguas residuales domésticas tratadas vertidas al suelo, ninguna de las dos normativas indica un rango mínimo o máximo para coliformes totales ni fecales. Sin embargo, el Decreto 1594 de 1984 emitido por el MADS, establece para las aguas servidas o residuales un rango máximo de 20.000 microorganismos/100mL para coliformes totales y 2.000 microorganismos/100mL para coliformes fecales. Observando los recuentos registrados en logaritmo base 10 en la figura 9, se evidencia en todas las muestras presencia de coliformes totales y fecales, donde las que se encuentran por encima de la tercera unidad logarítmica no cumplen con los rangos normativos establecidos para coliformes totales, y para coliformes fecales las muestras que se encuentran por encima de la segunda unidad. Se debe aclarar que este tipo de aguas contienen desechos ambientales y excrementos, esto hace normal la presencia de este tipo de microorganismos en estas matrices de aguas. Teniendo en cuenta la contaminación que pueden ocasionar este tipo de aguas en las fuentes hídricas o en el suelo, el Decreto 1594 de 1984 emitido por el MADS indica el proceso a seguir para las tasas retributivas, las cuales son cobradas a usuarios que vierten aguas negras o servidas a ríos, arroyos, lagos y aguas subterráneas.

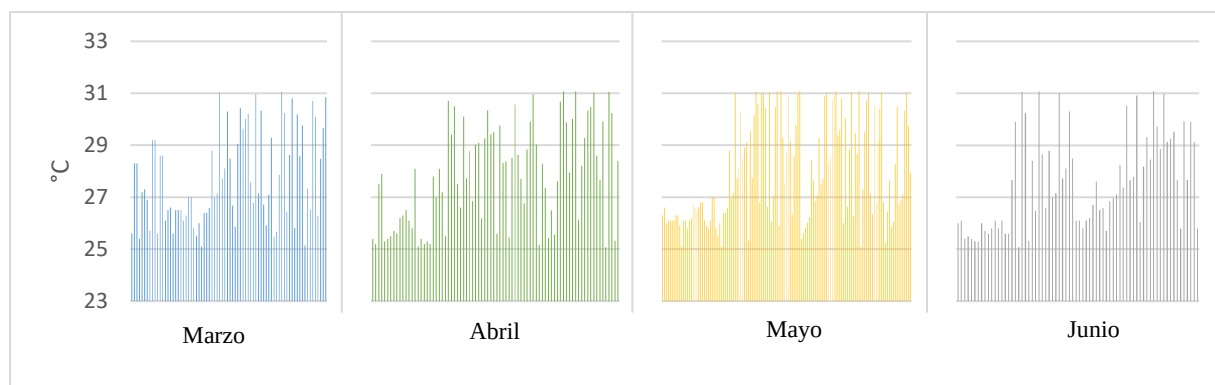
Figura 10
Reporte de pH para aguas residuales.



La Resolución MADS 0631 del 2015, indica que el rango de pH para aguas de vertimiento superficial y alcantarillado debe ser de 6 a 9, y la Resolución MADS 0699 de 2021, indica un pH de 6,5 – 8,5 para aguas residuales domésticas que son tratadas y van al suelo. Teniendo en cuenta el comportamiento de las muestras de aguas residuales en la figura 10, y lo estipulado en ambas normativas, se evidencia que el pH es inferior a 9 en todas las matrices. Sin embargo, en todos los meses se observa que hay muestras con pH por debajo de 6, lo que indica, incumplimiento de la norma para el parámetro de pH en varias muestras de aguas residuales durante los meses de marzo, abril, mayo y junio.

Figura 11

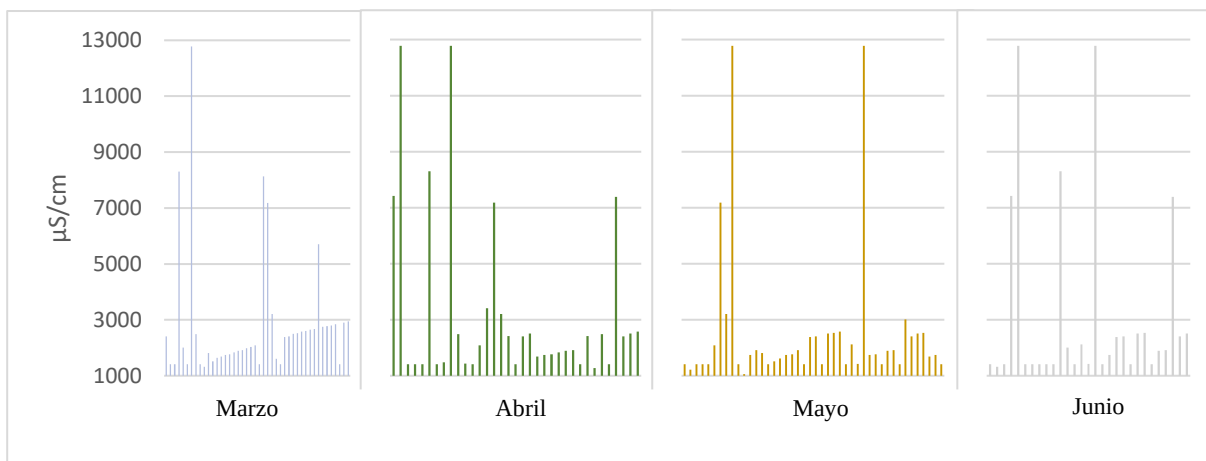
Reporte de temperatura en aguas residuales.



La Resolución MADS 0631 de 2015 indica, que la temperatura máxima para aguas residuales es de 40°C, mientras que la Resolución MADS 0699 de 2021, no indica un límite como tal, pero si establece un proceso de climatización del agua. Por lo tanto, observando el comportamiento de la temperatura en aguas residuales (ver figura 11), se observa, que las muestras se mantienen en un rango por encima de 20°C y por debajo de 31°C. Por lo anterior, se da cumplimiento en todas las muestras para la Resolución MADS 0631 de 2015, en el caso de la Resolución MADS 0699 de

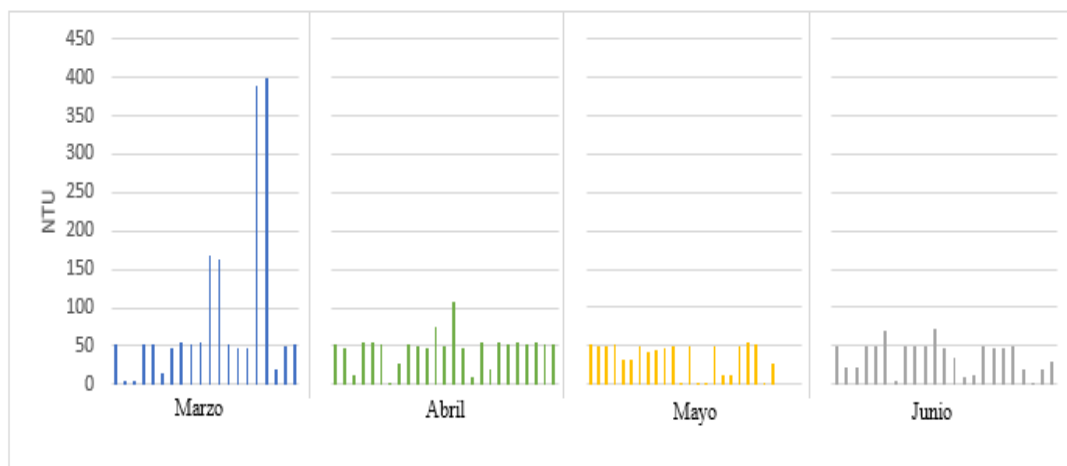
2021 donde se indica la climatización, se observa cumplimiento ya que el rango de temperatura ambiental que maneja el interior del laboratorio fisicoquímico es de 24°C a 26,5°C.

Figura 12
Reporte de conductividad eléctrica de aguas residuales.



En la Resolución MADS 0699 de 2021, se establece que el valor máximo para la conductividad eléctrica de aguas residuales domésticas tratadas y que vierten al suelo es de 1000 $\mu\text{S/cm}$, y en la Resolución MADS 0631 de 2015, no se establece ningún rango para este parámetro. En los reportes presentados en la figura 12, se evidencia en todos los meses la variabilidad de las lecturas realizadas en este tipo de matriz, donde hay muestras que sobrepasan los 1000 $\mu\text{S/cm}$ establecidos en la Resolución MADS 0699 de 2021. Sin embargo, al no haber un límite ni mínimo ni máximo en la Resolución MADS 0631 de 2015, se realiza análisis y reporte por parte del laboratorio en el área de análisis físico.

Figura 13
Reporte de turbidez de aguas residuales.



Para este parámetro, ni la Resolución MADS 0631 de 2015 ni la Resolución MADS 0699 de 2021, establecen un rango específico a tener en cuenta. Por lo anterior, al observar los reportes de la figura 13, se evidencia alta variación en el mes de marzo, ya que se presentaron picos altos de turbidez con reportes de 169 NTU para la muestra 11, de 164 NTU para la muestra 12, en la muestra 16 de 388 NTU y para la muestra número 17 de 400 NTU, en comparación con los otros meses, estos datos altos estuvieron en un intervalo los 150,00 NTU – 400,00 NTU, las demás muestras del mes de marzo se mantuvieron en el rango de 0.1 NTU a 53 NTU, para el mes de abril se observa que la muestra número 12 reporta 74,31 NTU, la muestra 14 con 108 NTU y las demás con rangos por debajo de 54 NTU. En el mes de mayo, se evidencia que todas las muestras se encuentran por debajo de 53 NTU y en el mes de junio, todas las muestras se encuentran por debajo de los 80 NTU. Sin embargo, al no tener límites establecidos en ninguna de las normas, no se puede determinar un cumplimiento, solamente se realiza el respectivo análisis y reporte de los resultados.

Las aguas residuales se encuentran contaminadas con materia biológica, química y física, por ende, la presencia de coliformes en este tipo de agua es frecuente. En la literatura se ha evidenciado en

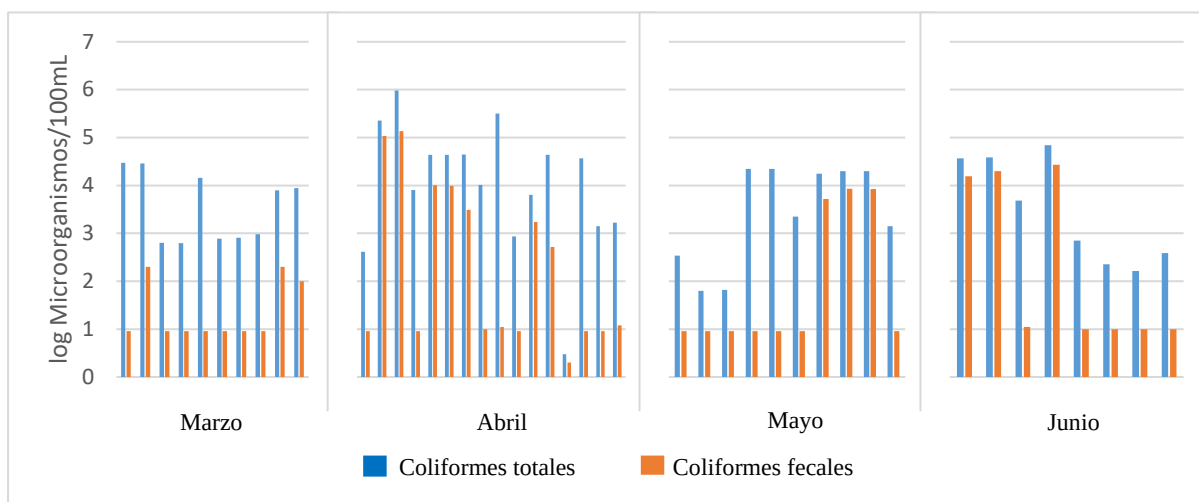
este tipo de aguas microorganismos de origen entéricos como: *Campylobacter*, *Entamoeba hystolitica*, *Salmonella*, *Giardia intestinalis*, virus entéricos y parásitos como: *Cryptosporidium* y *Giardia*, responsables de enfermedades gastrointestinales, adquiridas por la deficiencia de los tratamientos realizados a las aguas residuales que terminan vertidas en fuentes hídricas o en el suelo (Richiardi et al., 2023). Por el grado de contaminación y riesgo para la salud humana que presenta este tipo de agua, el Decreto 1594 de 1984 emitido por el MADS establece rangos microbiológicos y fisicoquímicos que deben cumplir este tipo de matrices, así como el proceso de las tasas retributivas con el fin de minimizar la contaminación ambiental.

Los análisis físicos en las aguas residuales varían según la contaminación que se encuentre presente en esta. Según la revisión realizada por (Giri et al., 2020) la calidad del agua disminuye por procesos de disolución de sales y de lixiviación, dato que soporta la importancia de realizar seguimientos y tratamientos óptimos antes del vertimiento de las aguas residuales, todo esto con el fin de minimizar la contaminación y por ende los riesgos en la salud humana.

9.3. Análisis microbiológicos y físico de aguas de pozos:

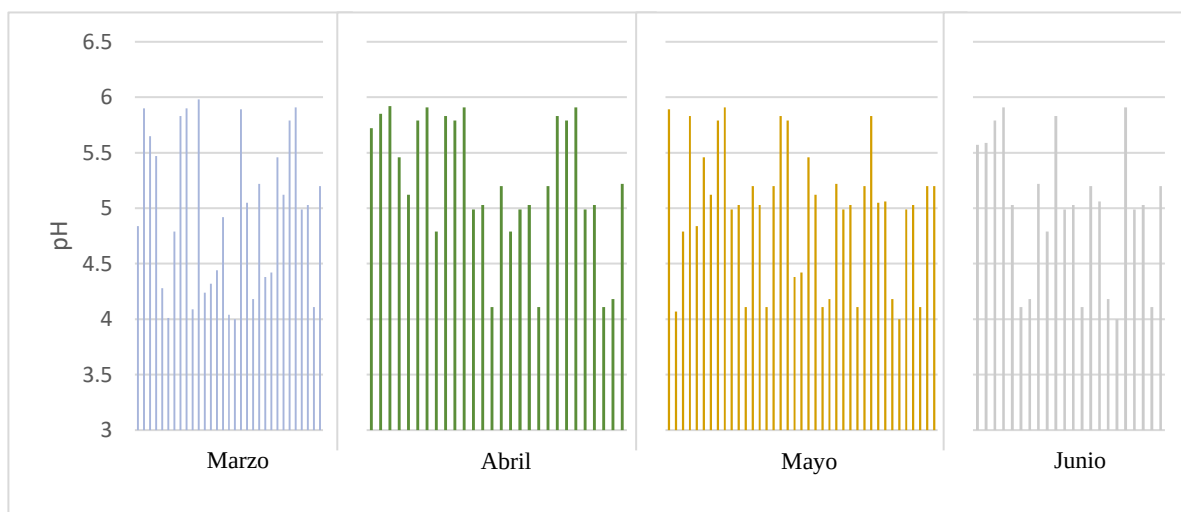
Los reportes de estos análisis, se llevaron a cabo por meses (marzo, abril, mayo y junio del año 2024) en las matrices de aguas de pozos. En la figura 14 se observa el reporte de la presencia de coliformes totales y fecales en los diferentes meses.

Figura 14
Reporte de coliformes totales y fecales en aguas de pozos.



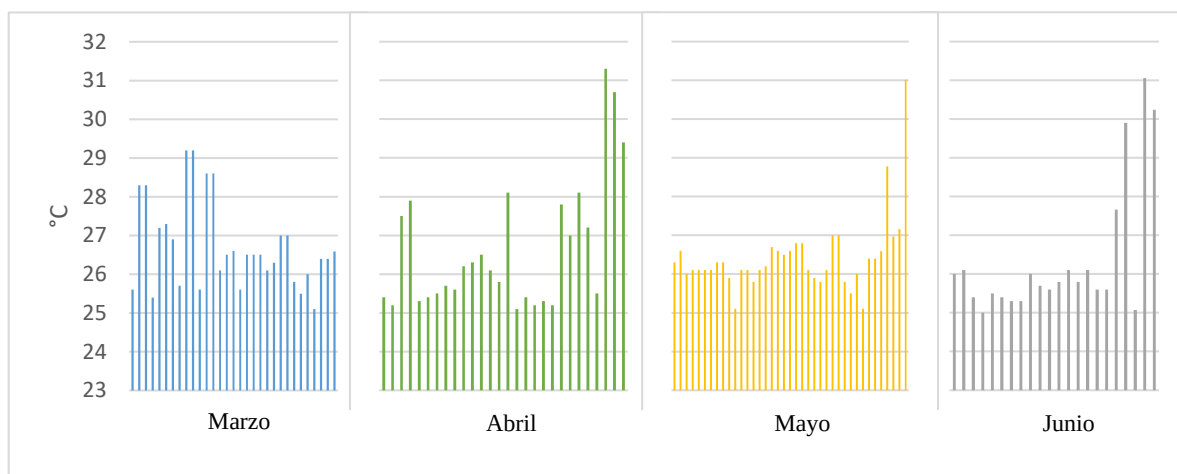
Para las aguas de pozos se tendrá en cuenta el Decreto MADS 1076 de 2015, este indica un rango máximo de 20.000 microorganismos/100mL para coliformes totales y 2.000 microorganismos/100 mL para coliformes fecales, sin embargo, para aguas de riego (agricultura) el rango máximo es de 5.000 microorganismos/100mL para coliformes totales y de 1.000 microorganismos/100mL para coliformes fecales. Teniendo en cuenta los reportes obtenidos en logaritmo base 10 (ver figura 14), se observan muestras por encima de la tercera unidad logarítmica no cumplen con los rangos normativos establecidos para coliformes totales, y para coliformes fecales las que se encuentran por encima de la segunda unidad, indicando que todas las muestras analizadas por encima de esta unidad no cumplen con lo establecido en el Decreto MADS 1076 de 2015. En el mes de marzo, se observan muestras reportadas por encima de la 3 unidad logarítmica pertenecientes a coliformes totales, mientras en los demás meses, se evidencian muestras con valores por encima de esta unidad para coliformes totales y por encima de la segunda unidad para coliformes fecales.

Figura 15
Reporte de pH en aguas de pozos.



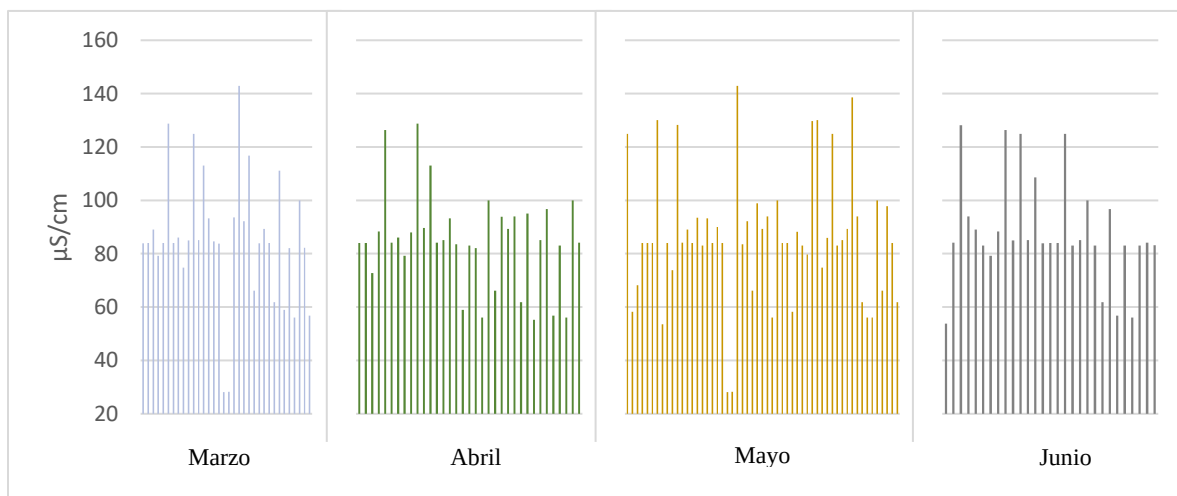
Según lo establecido en el Decreto MADS 1076 de 2015, el pH para aguas de pozo va de 5 a 9, pero para aguas destinadas a riego (agricultura) varía entre 4,5 a 9. Teniendo en cuenta lo establecido por la norma y observando los reportes (ver figura 15), se observa que ninguna de las muestras sobrepasa el pH de 6. Sin embargo, en todos los meses evaluados se evidencian muestras que se encuentran con pH por debajo de 4,5, indicando incumplimiento de este parámetro en aguas de pozos. La variación del pH en este tipo de matriz, se puede deber en gran parte al nivel subterráneo donde son recolectadas las muestras, por otro lado, las muestras que pertenecen a esta matriz también son recolectadas de fuentes superficiales consideradas en la misma normativa, donde se desechan contaminantes químicos o biológicos causantes de la variación de dicho parámetro.

Figura 16
Reporte de temperatura en aguas de pozos.



Teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto MADS 1076 de 2015, el cual indica que las aguas de pozos tienen un rango máximo de temperatura de 40°C, y observando los reportes obtenidos en la figura 16, se puede observar que todas las muestras cumplen con la normativa establecida, dado que ninguna sobrepasa los 32°C. El valor máximo reportado se ubica en el mes de abril con 31,08 °C y el mínimo en el mes de junio con 25 °C.

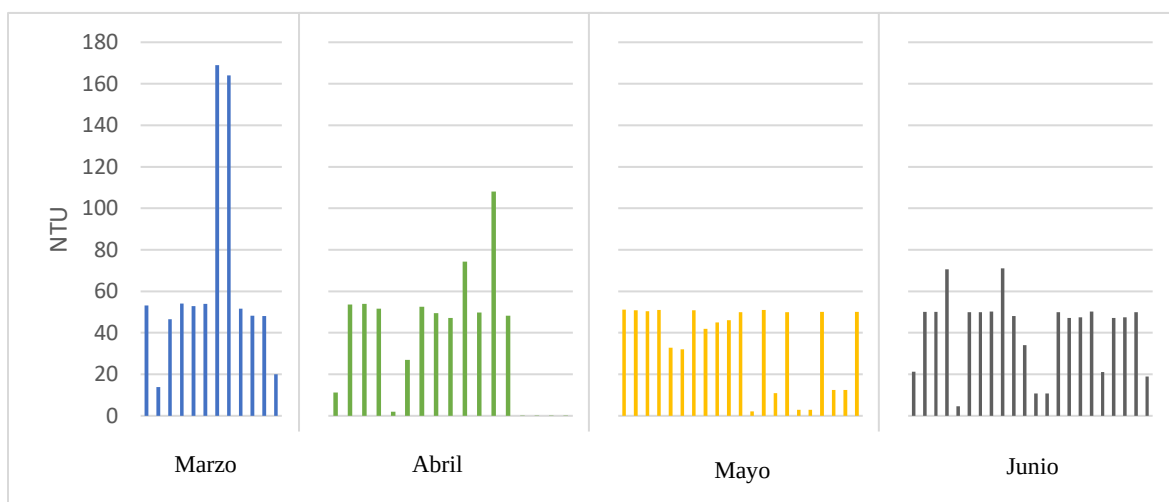
Figura 17
Reporte de la conductividad eléctrica de las aguas de pozos.



El Decreto MADS 1076 del 2015 no establece rangos para este parámetro. A pesar de ello, se reporta por meses observándose la variedad en unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ver figura 17), donde se evidencian los valores más bajos al igual que los más altos en los meses de marzo y mayo, esta variación puede deberse a la época de invierno que empezó en marzo con días de fuertes lluvias y en mayo con lluvias constantes, la afectación del clima en la conductividad eléctrica empieza en la creciente de las aguas donde se aumentan o disminuyen los iones causantes de dicha conductividad. La variación de dicho parámetro al igual que el pH, se puede deber en gran parte al nivel subterráneo donde son recolectadas las muestras, o a las condiciones ambientales de las fuentes superficiales consideradas en la misma normativa.

Figura 18

Reporte de turbidez en aguas de pozos.



En el Decreto MADS 1076 de 2015, se determina que para la turbidez de las aguas de pozos el valor máximo es de 190 NTU. Al basarse en lo reglamentado por la normativa y por los reportes realizados (ver figura 18), se evidencia que todas las muestras en los diferentes meses cumplen con el requerimiento de la norma ya que todas son inferiores a 190 NUT. Dado que, este tipo de

matrices se utilizan para diferentes actividades como puede ser abastecimiento humano en poblaciones rurales o para riegos, la calidad de esta a nivel normativo es más estricta que la residual ya que esta última en las zonas urbanas vierten en los alcantarillados y en la zona rural vierten por lo general al suelo, por ende, la matriz de pozos requiere un seguimiento mayor que las aguas residuales pero menor a las aguas potables.

Las aguas de pozos y superficiales son utilizadas frecuentemente sin previo tratamiento por habitantes de las zonas rurales. En un estudio realizado en el Valle Medio del Magdalena – Colombia, se evidenció presencia de coliformes totales en un 89 % de las muestras analizadas y coliformes fecales en el 58% de las aguas subterráneas evaluadas, el 31,02% de las muestras en el parámetro de pH se encontraron fuera de los rangos establecidos por la normativa colombiana, en los resultados de este estudio se observa una clasificación del 84% de riesgo alto para la salud humana, 4,6% de riesgo medio y 5,5% de riesgo bajo correspondientes a las aguas subterráneas evaluadas (Lora-Ariza et al., 2024). Por lo anterior y teniendo en cuenta los reportes obtenidos en el presente estudio, se observa la importancia de la implementación de un sistema de potabilización óptimo principalmente en las zonas rurales, esto con el fin de minimizar enfermedades en la salud humana causadas por aguas con contaminación biológica y química.

10. Conclusiones.

En aguas potables y de piscina en los análisis microbiológicos, se reportaron muestras con presencia de coliformes totales y fecales, siendo en agua potable un total de 169 (100 %) muestras analizadas, de la cuales 14 (8.3 %) tienen presencia de coliformes totales y 3 (1.8 %) de coliformes fecales. Para piscinas, se reportó presencia de coliformes totales en 9 (17.3 %) muestras de un total de 52 (100 %). Las muestras mencionadas anteriormente, incumplen con las normativas vigentes para estas matrices, ya que la detección de este tipo de microorganismos son una alerta para la salud pública en el departamento. Sin embargo, se observa el cumplimiento para aguas potables de un 91.7 % de las muestras y para piscina un 82.7 %, datos que evidencian las óptimas condiciones microbiológicas en más de la mitad de las muestras, lo que indica, un buen tratamiento de estas aguas y la importancia de realizar seguimientos y verificaciones de la calidad del agua, con el fin de minimizar problemas a los consumidores y personas que tienen contacto directo con este tipo de aguas.

Para los parámetros físicos de aguas potables y de piscina, se reporta cumplimiento en los parámetros de pH, conductividad eléctrica y turbidez, mientras que para temperatura se sigue el protocolo estandarizado al interior del laboratorio dado que, las normativas no establecen rangos para este parámetro.

Por otra parte, en las aguas residuales a nivel microbiológico se observa incumplimiento del Decreto 1594 de 1984 emitido por el MADS, con valores por encima de lo reglamentado para coliformes totales y fecales. Por otro lado, se tienen los reportes de los análisis físico, donde se evidencia el incumplimiento de algunas muestras en el parámetro de pH, el cumplimiento del

parámetro de temperatura, para la conductividad eléctrica se observa variación en los valores donde hay muestras que cumplen con lo establecido en la Resolución 0699 de 2021 del MADS, las muestras con valores mayores a los establecidos en la norma mencionada anteriormente, se evalúan con la Resolución 0631 de 2015 del MADS la cual no establece ningún valor para este parámetro solo indica análisis y reporte. Para turbidez, ninguna de las dos normativas establece un valor, por ende, se sigue el protocolo de análisis y reporte en el análisis.

Por último, en las aguas de pozos se evidencia incumplimiento en los análisis microbiológicos, dado que hay muestras que sobrepasan el límite máximo establecido por la norma (Decreto 1076 de 2015). En los análisis fisicoquímicos de la matriz de pozos, se evidencia cumplimiento de la temperatura y la turbidez, en pH reporta incumplimiento de algunas muestras y en la conductividad eléctrica la normativa no establece rangos para este último parámetro.

11. Recomendaciones y sugerencias

A la comunidad se le recomienda realizar seguimientos de la calidad de las aguas, ya que siempre se está en contacto con este líquido de forma directa o indirecta (por el ambiente). Así mismo, tener a la mano cintas de pH como método rápido de análisis físico, pastillas de cloro y realizar la correcta limpieza y desinfección de los tanques de almacenamiento de aguas, esto puede ser una de las soluciones sencillas para disminuir riesgos en la salud humana causado por el contacto o consumo de aguas.

De forma interna al laboratorio, se sugiere implementar un sistema de almacenamiento de las muestras fisicoquímicas, donde se especifique de manera ordenada su ubicación según la rotulación y matriz a las cuales pertenezcan, así mismo, modificar el formato de recepción de muestras en el apartado de inspección, con el fin que este incluya el valor real de temperatura de refrigeración en el momento del ingreso de las muestras, ya que este solamente registra si cumple o no con la temperatura para las muestras microbiológicas (6°C a 10°C) y fisicoquímicas (0°C – 6°C).

12. Referencias.

Acosta, E. (2023, 23 agosto). Temperatura del agua según la piscina - Fluidra. Fluidra.

<https://www.fluidra.com/projects/es/control-de-temperatura-del-agua/#:~:text=La%20Federaci%C3%B3n%20Internacional%20de%20Nataci%C3%B3n,del%20agua%20es%2027%20%C2%BAC>.

Aguas subterráneas y acuíferos. (2021, 19 junio). <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/aguas-subterraneas-y-acuiferos/>

Ambitest. (s. f.). <https://www.ambitest.com.co/>

ANÁLISIS DE AGUAS. (s.f). Universidad Politécnica de Cartagena. https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf

Anduro Jordan, J. A., Cantú Soto Ernesto Uriel, E. U., Campas Baypoli, O. N., López Cervantes, J., Sánchez Machado, D. I., & Félix Fuentes, A. (2017). Diagnóstico de la calidad sanitaria del agua de pozo en comunidades del sur de sonora, México. RESPIN Revista Salud Pública Y Nutrición, 16(1), 1–8. <https://doi.org/10.29105/respyn16.1-1>

Aurelio, H. M. (2014). Investigación sobre reutilización de aguas residuales para fines urbanos (recreativos y limpieza viaria), con vistas a justificar una propuesta de normativa | Archivo Digital UPM. <https://oa.upm.es/1288/>

Balfour-Lynn, I. (2021). Environmental risks of *Pseudomonas aeruginosa*—What to advise patients and parents. ScenceDirect. Recuperado 25 de julio de 2024, de [https://www.sciencedirect-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/science/article/pii/S1569199320309371](https://www.sciencedirect.com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/science/article/pii/S1569199320309371)

Becerra, P. F. (2021). El suministro continuo de agua potable en el municipio de Yopal ¿Un problema sin solución?. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/57604>.

Cabrera, A. Kanashiro, C. (2021). Vista de Efecto del pH del agua de piscina en esmalte de dientes deciduos humanos. Estudio con microscopía electrónica de barrido. Revistas UPCH. Recuperado 8 de julio de 2024, de <https://revistas.upch.edu.pe/index.php/REH/article/view/2013/2010>

Calderón, J., & Pulgar, A. (2023). Efecto de la conductividad eléctrica a partir de la salinidad y sólidos disueltos en los procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación para la remoción de compuestos nitrogenados en aguas residuales domésticas. Universidad de la Costa CUC. Recuperado 8 de julio de 2024, de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/10205/Proyecto%20de%20grado%20juana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Captación de ríos, lagos y embalses (reservorios). (s. f.). SSWM - Find Tools For Sustainable Sanitation And Water Management!. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captacion/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos%2C-lagos-y-embalses-%28reservorios%29>

Casso-Hartmann, L., Rojas-Lamos, P., McCourt, K., Vélez-Torres, I., Barba-Ho, L. E., Bolaños, B. W., Montes, C. L., Mosquera, J., & Vanegas, D. (2022). Water pollution and environmental policy in artisanal gold mining frontiers: The case of La Toma, Colombia. *Science Of The Total Environment*, 852, 158417. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158417>

Colilert - IDEXX Latin America. (s. f.). IDEXX Latin America (LAO). <https://al.idexx.com/es-xl/water/water-products-services/colilert/#:~:text=La%20prueba%20Colilert%20utiliza%20tecnolog%C3%ADa,g alactosidasa%20y%20la%20enzima%20E.>

Decreto 50 de 2018. (2018). Función Pública. Recuperado 2 de junio de 2024, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85084>

Decreto 1575 de 2007. (2007). Función Pública. Recuperado 2 de junio de 2024, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>

Dedić, S., Jukić, H., Rodić, M., Jusufhodžić, Z., Džaferović, A. (2020). Evaluación de los parámetros microbiológicos del agua potable del sistema de suministro de agua de Dobrenica en Ostrožac na Uni. En: Brka, M., Omanović-Miklićanin, E., Karić, L., Falan, V., Toroman, A. (eds) 30ª Conferencia de científicos y expertos en agricultura e industria alimentaria. AgriConf 2019. Actas IFMBE, vol 78. Springer, Cham. https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1007/978-3-030-40049-1_36

Duarte-Jaramillo, L., Mendoza-Atencio, M. A., Jaramillo-Colorado, B. E., & Álvarez, Á. G. (2021). Water quality in the municipalities of Sincerín and Gambote, Bolívar, Colombia (2017-2018). Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210217>

FAO. (s. f.). 2. Mejora de la calidad de agua en los estanques. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm

FAO. (2015). Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición. Recuperado el 8 de mayo de 2024, de https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_S_and_R/HLPE_2015_Water_for_FSN_Summary-and-Recommendations_ES.pdf

Giri, A., Bharti, V. K., Kalia, S., Arora, A., Balaje, S. S., & Chaurasia, O. P. (2020). A review on water quality and dairy cattle health: a special emphasis on high-altitude region. Applied Water Science, 10(3). <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1160-0>

Gobernación del Casanare. (2024, abril). Alerta de Riesgo en Calidad de Agua en Municipios de Casanare. Recuperado 23 de julio de 2024, de <https://www.casanare.gov.co/Prensa/saladeprensa/Paginas/Alerta-de-Riesgo-en-Calidad-de-Agua-en-Municipios-de-Casanare.aspx>

Haldar, K., Kujawa-Roeleveld, K., Hofstra, N., Datta, D. K., & Rijnaarts, H. (2022). Microbial contamination in surface water and potential health risks for peri-urban farmers of the Bengal delta. *International Journal Of Hygiene And Environmental Health*, 244, 114002. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114002>

HI 700304P Estándar de conductividad 12880 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Sachet (20 mL x 25) | HANNA Instruments Colombia. (s. f.). <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-700304p-estandar-de-conductividad-12880-mscm-sachet-20-ml-x-25>

IDEAM. (2007). Coliformes totales y *E. coli* por el método NMP. IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+agua+NMP+M%C3%A9todo+Colilert.pdf/463a6c8d-122c-4f75-8572-81bd64baa2d2>

Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano. (2020). Ministerio de Salud y Protección Social. Recuperado 21 de julio de 2024, de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-consumo-calidad-agua-2020.pdf>

INS. (2023, abril). Predicción de la incidencia de enfermedad diarreica aguda relacionada con riesgos microbiológicos en agua para consumo dietario en Colombia para el 2022 mediante

- la aplicación de dos modelos de estimación probabilística. Informe preliminar. Instituto Nacional de Salud. Recuperado 20 de julio de 2024, de https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2023_Bolet%C3%ADn_epidemiologico_semana_16.pdf
- INS. (2024, abril). Boletín de vigilancia de la calidad del agua para el consumo humano. Instituto Nacional de Salud. Recuperado 20 de julio de 2024, de <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/boletin-vigilancia-de-la-calidad-del-agua-abril-2024.pdf>
- Kyle, A. (2019). Tratamiento de Agua con Turbidez. Pure Aqua Inc. Recuperado 8 de julio de 2024, de <https://es.pureaqua.com/tratamiento-de-agua-con-turbidez/>
- Lora-Ariza, B., Piña, A., & Donado, L. D. (2024). Assessment of groundwater quality for human consumption and its health risks in the Middle Magdalena Valley, Colombia. Scientific Reports, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61259-0>
- Marín Galvín, R. (2020). Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas. Díaz de Santos. <https://www-ebooks7-24-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/?il=10101>
- Martínez, M., Mendoza, J., Medrano, B., Gómez, L., & Zafra, C. (2019). Evaluación de Laturbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora

municipal. Revistas UIS. Recuperado 8 de julio de 2024, de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/9929/10063>

Merck Microbiology Manual 12th. (s/f). Scribd. Recuperado el 23 de mayo de 2024, de <https://es.scribd.com/doc/94454909/Merck-Microbiology-Manual-12th>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1984). Decreto 1594 de 1984 nivel nacional. Función Pública. Recuperado 23 de julio de 2024, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=18617>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto 1076 de 2015. Recuperado 30 de mayo de 2024, de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631 de 2015. Recuperado 30 de mayo de 2024, de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Resolución 0699 de 2021. Recuperado 1 de junio de 2024, de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-0699-de-2021.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social.

(2007). Resolución Número (2115). Recuperado 5 de julio de 2024, de <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2010). Resolución 1618 de 2010. Recuperado 31 de mayo de 2024, de

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n%201618%20DE%202010.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2024, enero). Circular externa No. 000.00002 de 2024.

Recuperado 20 de julio de 2024, de https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Circular%20Externa%20No%20002%20de%202024.pdf

Miranda, M. (2009). Turbiedad. DSpace. Recuperado 8 de julio de 2024, de

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6164/1/Turbiedad%20final%20Michelle%20Miranda.pdf>

Moreno Méndez, J. O. (2020). Los retos del acceso a agua potable y saneamiento básico de las

zonas rurales en Colombia. Revista De Ingeniería, 1(49), 28-37. <https://doi.org/10.16924/revinge.49.5>

Mundial, B. (2020, 20 marzo). El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>

ONU. (2014). El Derecho Humano Al Agua y Al Saneamiento | Decenio Internacional Para la Acción «el Agua, Fuente de Vida» 2005-2015. Recuperado 4 de junio de 2024, de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml

Peláez, D., Guzmán, B. L., Rodríguez, J., Acero, F., & Nava, G. (2016). Presencia de virus entéricos en muestras de agua para el consumo humano en Colombia: desafíos de los sistemas de abastecimiento. Biomédica/Biomedica, 36, 169. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v36i0.2987>

Plataforma Colaborativa 8 Río Cravo Sur -. (2022, 20 octubre). <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/plataformas-colaborativas/plataforma-colaborativa-8-rio-cravo-sur/>

Ramírez, D. (2021). Sistema de medición y control de temperatura para un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales. Revistas Científicas Universidad Simón Bolívar. Recuperado 8 de julio de 2024, de <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/innovacioning/article/view/4305/5107>

- Riazalhosseini, B., Anvar, SAA, Ataee, M. et al. Investigación de indicadores de salud ambiental en piscinas ubicadas en el este de Teherán, Irán. En t. J. Medio Ambiente. Ciencia. Tecnología. 19, 5217–5226 (2022). <https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1007/s13762-021-03726-z>
- Richiardi, L., Pignata, C., Fea, E., Bonetta, S., & Carraro, E. (2023). Are Indicator Microorganisms Predictive of Pathogens in Water? Water, 15(16), 2964. <https://doi.org/10.3390/w15162964>
- Rodríguez, L., & Tunaroza, M. (2019). Calidad bacteriológica pH y turbidez del agua potable para el consumo humano en la red de distribución del acueducto del municipio de Une - Cundinamarca (2018). Repositorio Unicolmayor. Recuperado 23 de julio de 2024, de <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/bitstream/handle/unicolmayor/3606/CALIDAD%20BACTERIOL%C3%93GICA%2C%20PH%20Y%20TURBIDEZ%20DEL%20AGUA%20POTABLE%20PARA%20EL%20CONSUMO%20HUMANO%20EN%20LA%20RED%20DE%20DISTRIBUCI%C3%93N%20DEL%20ACUEDUCTO%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20UNE%20-%20CUNDINAMARCA%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L.A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. Tecnología En Marcha, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>

Subdirección de Salud Ambiental. (2022). Agua, saneamiento básico, y gestión integral de residuos generados en la atención en salud y otras actividades. Ministerio De Salud y Protección Social.

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/abece-agua-saneamiento.pdf>

Torres-Pineda, S. N., Patacón-Pedraza, M., & Agudelo-Ariza, G. R. (2020). Evaluación de la calidad del agua de la zona media del río Cravo Sur. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 15(2), 117-127. <https://doi.org/10.18359/rfcb.4004>

User, S. (s. f.). Tasa Retributiva por vertimientos puntuales | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/negocios-verdes-y-sostenibles/instrumentos-economicos/tasa-retributiva-por-vertimientos-puntuales#:~:text=Es%20un%20instrumento%20econ%C3%B3mico%20que,contaminante%20descargada%20al%20recurso%20h%C3%ADrico.>

Uso y aprovechamiento. (2022, 18 enero). <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/uso-y-aprovechamiento/>

Vélez, M. (2011). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado 8 de julio de 2024, de https://minas.medellin.unal.edu.co/images/Centro-Editorial/Hidraulica_de_aguas_subterraneas.pdf

World Health Organization: WHO. (2023, 13 septiembre). Agua para consumo humano.

Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Yang, X., Qi, Y., Feng, J., Han, F., Zhang, P., Luo, L., Zheng, Z., Zhang, W., Li, Z., & Tang, W.

(2024). On-site monitoring of *Escherichia coli* O157:H7 in drinking water based on rapid detection of the rfbE gene at the single copy level. Sensors And Actuators. B, Chemical, 401, 135069. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2023.135069>

13. Anexos.

13.1. Anexo 1. Diferencia de coliformes totales (izquierda) y coliformes fecales (derecha) por NMP.



13.2. Anexo 2. Montaje en el multiparámetro para el reporte de pH y temperatura (izquierda), y conductividad (derecha).



13.3. Anexo 3. Medición de turbidez en el equipo.

