



Revisión y acompañamiento integral para la fase de recopilación de requisitos documentales, que incluye un diagnóstico y la identificación de posible optimización en el sistema de acueducto y Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en 3 centros veredales rurales de Puerto Boyacá, Boyacá.

María Fernanda Álvarez Flórez

Proyecto de práctica para optar el título de Ingeniería Civil

Asesores

Wilber Humberto Vélez Gómez
Ingeniero Civil.

Vladimir Gómez Prieto
Ingeniero Sanitario.

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Ingeniería Civil
Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Álvarez, 2024)
Referencia	(Álvarez Flórez, M. 2024). <i>Revisión y acompañamiento integral para la fase de recopilación de requisitos documentales, que incluye un diagnóstico y la identificación de posible optimización en el sistema de acueducto y Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en 3 centros veredales rurales de Puerto Boyacá, Boyacá.</i> [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Quiero dedicar este logro a mi madre, un faro de amor y apoyo que ha iluminado cada paso de mi viaje. A mi hermano, compañero incansable en esta travesía, agradezco tu apoyo inquebrantable y aliento constante. Ambos han sido pilares fundamentales en esta etapa de mi vida, y este logro no solo es mío, sino también de ustedes, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración. Gracias por ser mi soporte y por compartir cada triunfo y desafío a lo largo de este camino.

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la empresa HIDROCOL S.A.S. por brindarme la oportunidad de llevar a cabo esta práctica, que ha sido fundamental para mi desarrollo profesional. Agradezco especialmente a Vladimir Gómez, ingeniero sanitario de la empresa, por su guía experta, paciencia y conocimientos compartidos, que han enriquecido mi experiencia. Mi gratitud se extiende a la Universidad de Antioquia, mi alma mater, por ser el hogar de este proceso educativo. También agradezco a Wilber Vélez por su asesoramiento constante y apoyo durante este trayecto, contribuyendo significativamente a la culminación exitosa de esta etapa en mi formación académica y profesional.

Tabla de contenido

1. Resumen	7
2. Abstract	8
3. Introducción	9
4. Planteamiento del problema	11
5. Justificación	12
6. Objetivos	14
6.1. Objetivo general	14
6.2. Objetivos específicos	14
7. Marco teórico	15
7.1. Etapas de funcionamiento generales de las PTAP.	18
8. Metodología	20
9. Resultados y análisis	23
9.1. Documentación:	23
9.2. Diagnóstico:	27
9.3. Análisis fisicoquímicos:	35
9.4. Pruebas de bombeo:	40
9.5. Diseño PTAP Puerto Niño:	47
10. Conclusiones	51
11. Referencias	54
12. Anexos	55

Lista de tablas

Tabla 1. Resultados de vigilancia de la calidad del agua en el municipio de Puerto Boyacá, 2018.	13
Tabla 2. Tabla de avance del proyecto.	23
Tabla 3. Encuesta número de habitantes y usuarios con georreferenciación del centro poblado Puerto Niño.	25
Tabla 4. Resultados análisis fisicoquímicos centro poblado Pto Romero.	37
Tabla 5. Resultados análisis fisicoquímicos centro poblado Puerto Niño.	38
Tabla 6. Resultados análisis fisicoquímicos centro poblado Km 11.	39
Tabla 7. Información pozo KM 11 durante la prueba.	41
Tabla 8. Tiempo respecto al nivel freático del pozo durante la prueba de bombeo.	42
Tabla 9. Tiempo respecto al nivel freático del pozo durante la prueba de bombeo.	44
Tabla 10. Calificación y comportamiento del pozo.	45
Tabla 11. Calificación y comportamiento del pozo.	46

Lista de figuras

Figura 1. Nivel de riesgo de la calidad del agua por municipios. Boyacá 2018.....	12
Figura 2. Comportamiento del IRCA consolidado. Boyacá 2007 - 2018.....	16
Figura 3. Etapas de funcionamiento de las PTAP.	18
Figura 4. Encuesta tipo censo del sector Pozo 2 de la vereda Puerto Niño.....	26
Figura 5. Índice IRCA.....	36
Figura 6. Índice IRCA en cada centro poblado.....	36
Figura 7. Esquema pozo subterráneo KM 11.	41
Figura 8. Diseño PTAP Puerto Niño transversal.	49
Figura 9. Diseño PTAP Puerto Niño longitudinal.	50

1. Resumen

Debido a la importancia crucial del acceso a agua potable en las comunidades, este proyecto tiene como objetivo principal proporcionar un acompañamiento integral en la fase de recopilación de requisitos documentales para iniciar un proceso ante Corpoboyacá de obtención de concesión de aguas subterráneas en 3 centros veredales rurales ubicados en Puerto Boyacá, Colombia. Los centros veredales incluyen Puerto Romero, Kilómetro 11, y Puerto Niño. Para lograrlo, se implementará una metodología mixta distribuida por 8 fases, con revisión y acompañamiento integral hasta la quinta fase; que involucra diagnóstico, diseño de optimización de los sistemas de captación, tratamiento y distribución de agua. Además, se enfatiza la participación de la comunidad en el proceso, promoviendo un enfoque colaborativo para la gestión responsable de los recursos hídricos.

Palabras Clave: Pozo, agua subterránea, concesión aguas, bombeo, caudal.

2. Abstract

Due to the crucial importance of access to drinking water in communities, the main objective of this project is to provide comprehensive support in the compilation phase of documentary requirements to initiate a process before Corpoboyacá to obtain a groundwater concession in 3 rural village centers. located in Puerto Boyacá, Colombia. The town centers include Puerto Romero, Kilómetro 11, and Puerto Niño. To achieve this, a mixed methodology distributed over 8 phases, with review and comprehensive support extended up to the fifth phase. This involves diagnosis, optimization design of water capture, treatment, and distribution systems. Additionally, community participation in the process is emphasized, promoting a collaborative approach for the responsible management of water resources.

Keywords: Well, groundwater, water concession, pumping, flow.

3. Introducción

En un mundo en constante transformación, la gestión sostenible de los recursos naturales es esencial para asegurar un futuro próspero. El proyecto está orientado a mejorar la calidad de vida de las comunidades en las veredas de Puerto Boyacá, ubicadas en el departamento de Boyacá. Mediante la obtención legal de concesiones de aguas, este proyecto busca no solo satisfacer las necesidades hídricas de las poblaciones locales, sino también establecer una regulación efectiva para el uso del recurso y recopilar datos precisos sobre su consumo y gasto.

En Colombia, según la Constitución Política, es un derecho fundamental el poder acceder al agua potable; por lo tanto, la Corte Constitucional la define como “el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal o doméstico” (Corte Constitucional de Colombia, sentencia T-740 de 2011).

Las veredas de Puerto Boyacá enfrentan retos significativos en la gestión de sus recursos hídricos. El acceso al agua de calidad y en cantidad suficiente es un factor clave para la calidad de vida de las comunidades, así como para el desarrollo sostenible de la región. La ausencia de un marco regulador y la falta de datos precisos sobre el uso y consumo del agua han generado desafíos en la distribución equitativa y sostenible del recurso.

La disponibilidad de agua potable de calidad es un pilar fundamental para el bienestar y desarrollo de las comunidades. En este contexto, surge la necesidad de llevar a cabo un proyecto integral de optimización de sistemas de abastecimiento de agua potable en las veredas de Puerto Boyacá. Esta iniciativa tiene como objetivo principal obtener la concesión de aguas para tres zonas veredales (Puerto Romero, Kilómetro 11 y Puerto Niño), buscando asegurar un suministro confiable de agua potable para sus habitantes. El proyecto se centrará en un enfoque multidisciplinario, mediante un método mixto que consta de 8 fases, donde involucra el diagnóstico, diseño y optimización de los sistemas de captación, tratamiento y distribución de agua, abordando tanto el aspecto

técnico como la participación de la comunidad en el proceso. A través de la implementación de este proyecto, se busca no solo mejorar la infraestructura hídrica, sino también elevar la calidad de vida de las comunidades en Puerto Boyacá, promoviendo prácticas sostenibles y fortaleciendo la gestión responsable de los recursos hídricos.

El proyecto tiene como objetivo abordar la problemática del acceso al agua y la gestión insostenible del recurso en las veredas de Puerto Boyacá. Las poblaciones locales enfrentan dificultades para obtener agua de manera legal y eficiente, lo que impacta negativamente en su bienestar y en las actividades agrícolas y domésticas esenciales para la economía local. Además, la falta de información sobre el gasto y uso del agua dificulta la toma de decisiones informadas para una gestión más eficaz.

4. Planteamiento del problema

La calidad del agua en Puerto Boyacá, Boyacá, presenta desafíos sustanciales, con resultados de vigilancia que indican niveles de riesgo medio y alto en las zonas urbana y rural, respectivamente. Este problema se agudiza en la zona rural, afectando directamente a la salud y bienestar de la población. La falta de acceso a agua potable de calidad compromete la seguridad hídrica y se refleja en un Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) elevado.

La situación se acentúa al considerar la falta de optimización en los sistemas de abastecimiento de agua, especialmente en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y los procesos de captación. La ausencia de concesiones de aguas efectivas agrava la sobreexplotación y distribución desigual del recurso. Ante este contexto, surge la necesidad urgente de implementar estrategias integrales que optimicen estos sistemas y garanticen un suministro de agua seguro y de alta calidad, especialmente en las zonas rurales más vulnerables.

5. Justificación

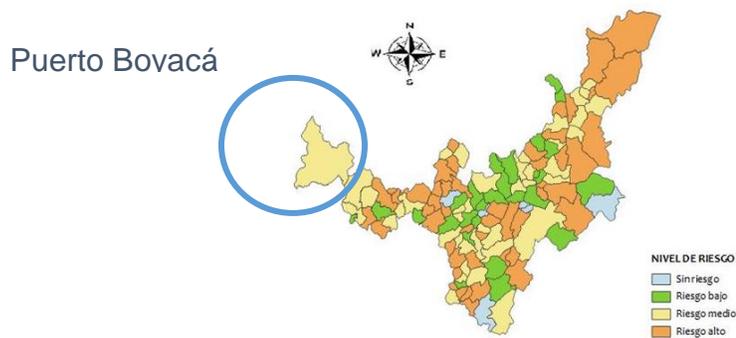
Las concesiones de aguas son un mecanismo para promover el uso sostenible de los recursos hídricos en Colombia, evitando su sobreexplotación y asegurando su distribución equitativa entre diferentes usuarios y actividades. Estas concesiones se otorgan con base en estudios técnicos y científicos que evalúan la disponibilidad de agua, los impactos ambientales y las necesidades de los solicitantes, contribuyendo así a la gestión integral y responsable del recurso hídrico en el país.

El departamento de Boyacá cuenta con 123 municipios y se registraron resultados de la vigilancia de la calidad del agua en el 100% de estos, fueron registradas 4007 muestras con un IRCA consolidado de 24.7% clasificado como riesgo medio, el 46.7% (1872) fueron registradas en zona urbana y el 53.3% (2135) en zona rural. (Instituto Nacional de Salud, 2019)

En la **figura 1** adjunta se presenta la representación cartográfica del municipio de Puerto Boyacá, claramente identificado mediante un círculo azul en el mapa correspondiente al departamento de Boyacá. Adicionalmente, se ha incorporado una codificación de niveles de riesgo asociados a la calidad del agua en la misma figura. En este contexto, se destaca que el municipio de Puerto Boyacá exhibe un nivel de riesgo medio con respecto a la calidad del agua.

Figura 1.

Nivel de riesgo de la calidad del agua por municipios. Boyacá 2018.



Fuente: SIVICAP-INS

Tabla 1.

Resultados de vigilancia de la calidad del agua en el municipio de Puerto Boyacá, 2018.

Municipio	N° muestras	IRCA	Nivel de riesgo	N° muestras urbano	IRCA
Puerto Boyacá	64	16	medio	42	14,73

Nivel de riesgo urbano	N° muestras rurales	IRCA	Nivel de riesgo rural	Agua tratada	Porcentaje agua tratada	Agua sin tratar	Porcentaje sin tratar
Medio	22	39	alto	52	81,3	12	18,8

Fuente: SIVICAP-INS

La evaluación de riesgo en Puerto Boyacá, reflejada en la Tabla 1, destaca un nivel de riesgo medio para el sector urbano, con un Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) de 14.73, mientras que en la zona rural se identifica un IRCA de 39, indicativo de un riesgo alto. Este panorama subraya una preocupante realidad: la calidad del agua en la zona rural está comprometida y se encuentra en un estado deficiente. Ante esta situación, es imperativo tomar medidas para mejorar la calidad del recurso hídrico.

La obtención de la concesión de aguas emerge como una estrategia esencial para asumir el control sobre el recurso y su gestión. Con este fin, se requiere diseñar una optimización integral del sistema, abordando la funcionalidad de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), los procesos de captación y la distribución del agua. La relevancia de esta iniciativa se amplifica en la zona rural, donde la calidad del agua es más precaria.

Mediante esta estrategia, se aspira no solo a asegurar el acceso al agua potable, sino también a elevar su calidad a niveles que satisfagan los estándares de bienestar y salud de la población.

6. Objetivos

6.1. Objetivo general

Proporcionar acompañamiento integral para la fase de recopilación de requisitos documentales, que incluye un diagnóstico y la identificación de posibles mejoras en el sistema de acueducto y Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en 3 centros veredales de Puerto Boyacá.

6.2. Objetivos específicos

Realizar un diagnóstico detallado de los sistemas de acueducto y PTAP en las 3 zonas veredales de Puerto Boyacá, identificando sus fortalezas, debilidades y necesidades de mejora, con el fin de establecer una base sólida para la optimización.

Determinar una posible optimización de los sistemas de acueducto y PTAP para las zonas veredales, que incluya mejoras en la captación, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua, con especial énfasis en la eficiencia operativa y calidad del agua potable.

Realizar encuestas veredales y georreferenciar las viviendas en cada una de las zonas, identificando sus necesidades para la mejora del servicio del agua.

7. Marco teórico

En Colombia, una concesión de aguas es un acto administrativo otorgado por la autoridad competente que otorga el derecho legal a una persona o entidad para aprovechar, usar y disponer de aguas superficiales o subterráneas, de acuerdo con las condiciones y términos establecidos en el otorgamiento. Esta concesión busca regular y controlar el acceso y uso de los recursos hídricos del país, asegurando su uso sostenible y equitativo, así como la protección del medio ambiente y la calidad del agua. (Minambiente, Uso y Aprovechamiento, 2023)

Según Corpoboyacá, los requisitos que se requieren para obtener una concesión de agua son: documentación de existencia y representación legal, en este caso son las juntas de acción comunal, documentos que acrediten el derecho que tiene el solicitante sobre el predio a beneficiar: Certificado de tradición y libertad, documentos que acrediten el derecho que tiene el solicitante sobre el predio en el que se ubica el pozo, certificado sanitario favorable expedido por la Secretaría de Salud, ubicación del pozo perforado y de otros que existan dentro del área de exploración o próximos a ésta, pruebas de bombeo donde se describa profundidad y método de perforación, perfil estratigráfico de todos los pozos perforados, tengan o no agua; descripción y análisis las formaciones geológicas, espesor, composición, permeabilidad, almacenaje y rendimiento real del pozo si fuere productivo, y técnicas empleadas en las distintas fases. El titular del permiso deberá entregar, cuando la entidad lo exija, muestras de cada formación geológica atravesada, indicando la cota del nivel superior e inferior a que corresponde, calidad de las aguas; análisis físico-químico y bacteriológico y programa de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA), Corpoboyacá (2023).

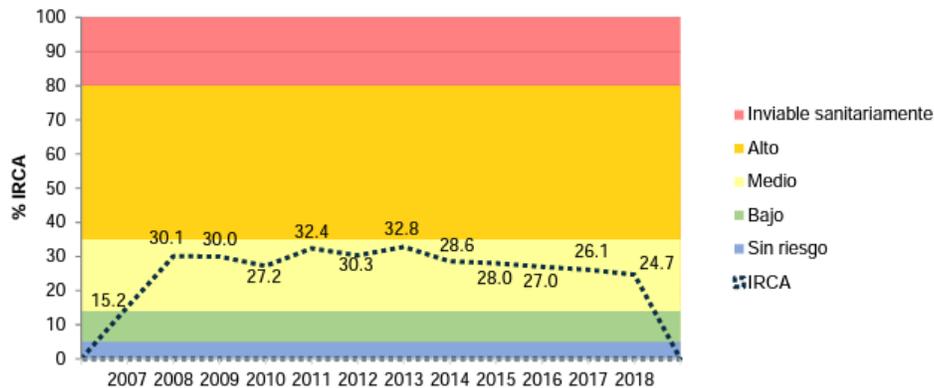
El fundamento legal de las concesiones de aguas en Colombia se encuentra principalmente en la Ley 99 de 1993, que establece el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y crea el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, entidad encargada de administrar los recursos naturales y del medio ambiente. Además, la Ley 373 de 1997

establece las normas sobre el uso y la explotación de los recursos naturales renovables, incluyendo las aguas superficiales y subterráneas. (Minambiente, Uso y Aprovechamiento, 2023)

El Decreto 1076 de 2015, por su parte, reglamenta los aspectos relacionados con las concesiones de aguas y establece los procedimientos y requisitos para su otorgamiento. Este decreto especifica los términos y condiciones que deben cumplir los solicitantes de una concesión de aguas, así como los criterios de priorización y las modalidades de otorgamiento. (Corte Constitucional de Colombia, Decreto 1076 de 2015).

Teniendo en cuenta el comportamiento del IRCA desde el año 2007 – 2018 se puede evidenciar que el nivel de calidad del agua de Boyacá se ha mantenido constantes como riesgo medio (Figura 2). (Instituto Nacional de Salud, 2019)

Figura 2.
Comportamiento del IRCA consolidado. Boyacá 2007 - 2018.



Fuente: SIVICAP-INS

El municipio de Puerto Boyacá, ubicado en el departamento de Boyacá, Colombia, se caracteriza por su diversidad hidrológica, donde predominan acuíferos subterráneos de gran importancia para el abastecimiento hídrico. La zona se encuentra en una región de transición entre la cordillera Oriental y la llanura, lo que resulta en una variada

composición geológica. Los acuíferos presentes en Puerto Boyacá se asocian principalmente con formaciones sedimentarias y metamórficas. Estos acuíferos, en su mayoría, son del tipo libre o confinado y suelen presentar buena permeabilidad y capacidad de almacenamiento. La hidrogeología de la zona se ve influida por la presencia de ríos y cuerpos de agua superficiales que interactúan con los acuíferos subterráneos, creando un sistema hidrogeológico dinámico y complejo. La comprensión de estas características es esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos y para el diseño adecuado de los sistemas de captación y distribución de agua potable en la región.

El proceso para establecer un pozo de captación implica la perforación de un agujero en una fuente de agua subterránea, del cual se extrae el agua infiltrada mediante bombas manuales o mecanizadas. En comparación con los pozos excavados, los pozos perforados poseen diámetros considerablemente más pequeños. En contextos rurales, los diámetros suelen rondar los 50 mm, mientras que, en áreas urbanas de mayor complejidad, los agujeros pueden alcanzar hasta 300 mm de diámetro. En términos de longitud, los pozos perforados manualmente pueden extenderse técnicamente hasta 200 metros, aunque es más común encontrar una longitud máxima de 35 metros. En el caso de pozos con profundidades superiores a 50 metros, la perforación manual suele ser impracticable, lo que hace necesario recurrir a la perforación mecánica. (Bellido, 2004)

La capacidad de extracción del pozo, en términos de cantidad de agua, está determinada por su profundidad y diámetro, además de la capacidad de recarga del acuífero y el grado de desarrollo del pozo. Dado que las aguas subterráneas suelen presentar una calidad adecuada para el consumo humano, con frecuencia no es necesario someterlas a procesos de purificación. No obstante, los pozos perforados pueden estar expuestos a la contaminación si no se operan, mantienen y protegen de manera adecuada.

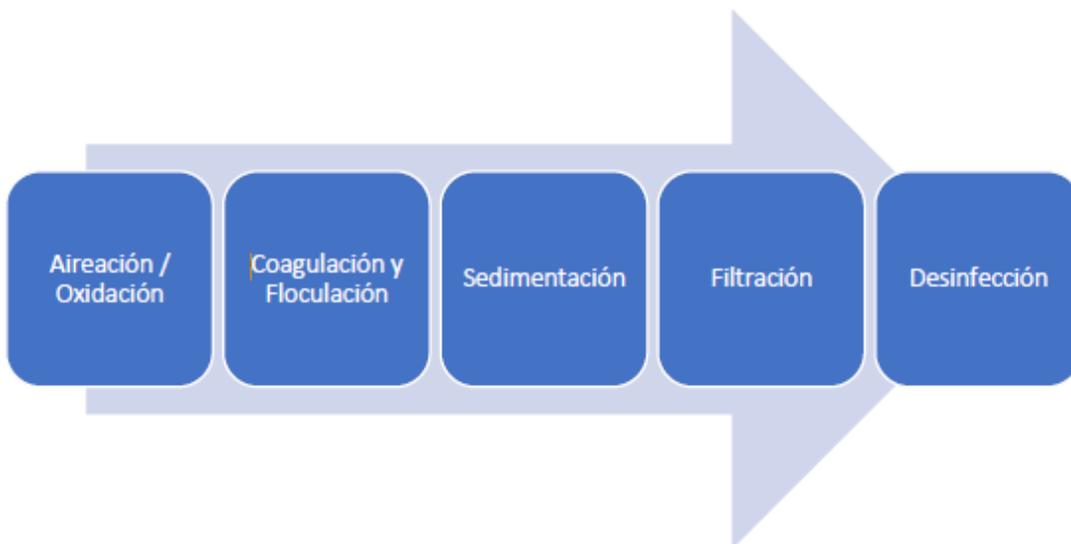
Es esencial prestar especial atención a la tasa de extracción del agua, ya que, si es demasiado alta, puede resultar en diversos impactos ambientales. Estos pueden

incluir la disminución del nivel freático más allá del alcance de los pozos existentes, la desecación de humedales, la intrusión de agua de mar en zonas costeras y la afectación del uso agrícola debido a la formación de cráteres o el colapso del suelo.

7.1. Etapas de funcionamiento generales de las PTAP.

El sistema de tratamiento de agua potable de las zonas rurales en Puerto Boyacá se caracteriza algunos por contener las siguientes etapas:

Figura 3.
Etapas de funcionamiento de las PTAP.



Fuente: *Propia*

- **Aireación/Oxidación:** En esta etapa, el agua cruda ingresa a un tanque o canal donde se expone al aire o a agentes oxidantes, por ejemplo, con carbón activado. Esto tiene varios propósitos: ayuda a eliminar compuestos orgánicos volátiles, como algunos gases y sustancias que pueden afectar el sabor y el olor del agua. Además, la aireación permite la oxidación de metales ferrosos y manganeso

presentes en el agua cruda, convirtiéndolos en partículas sólidas que se pueden eliminar más adelante.

- **Coagulación y Floculación:** En esta etapa, se añade un coagulante, como sulfato de aluminio o cloruro férrico, al agua aireada. Los coagulantes neutralizan las cargas eléctricas de las partículas suspendidas en el agua, lo que provoca que estas partículas se agrupen y formen flóculos más grandes. Luego, en la etapa de floculación, se agitan suavemente los flóculos para que colisionen y se unan, creando aglomerados más grandes y pesados que serán más fáciles de separar en las etapas siguientes.
- **Sedimentación:** El agua coagulada y floculada ingresa a un sedimentador o clarificador. En este tanque, los flóculos formados en las etapas anteriores se asientan por gravedad. Las partículas más pesadas y los flóculos sedimentan en el fondo, formando un lodo que se retira periódicamente. El agua clarificada en la parte superior del sedimentador es la que pasa a la siguiente etapa.
- **Filtración:** Después de la sedimentación, el agua pasa a través de filtros de arena u otros medios filtrantes. Estos filtros retienen las partículas más pequeñas y sólidos suspendidos que aún puedan estar presentes. La filtración es esencial para mejorar la claridad y la calidad del agua antes de la desinfección.
- **Desinfección:** En la última etapa del proceso, se añade un desinfectante, como cloro, cloramina o dióxido de cloro, al agua filtrada. La desinfección es crucial para eliminar microorganismos patógenos, como bacterias, virus y protozoos, que podrían estar presentes en el agua. El desinfectante elimina cualquier amenaza microbiológica y asegura que el agua sea segura para el consumo humano.

8. Metodología

La metodología para el proyecto de concesión de aguas en las 3 veredas (Puerto Romero, Kilómetro 11 y Puerto Niño) de Puerto Boyacá, se desarrolla en ocho fases secuenciales, el alcance del acompañamiento integral de este proyecto abarca hasta la quinta fase; integrando enfoques cualitativos y cuantitativos en un método general mixto que garantiza una aproximación completa a la obtención de la concesión de aguas. Las fases son las siguientes:

1. Documentación:

En esta etapa inicial, se lleva a cabo la recopilación exhaustiva de toda la documentación pertinente. Esto incluye obtener registros de las juntas de acción comunal para legalización de la concesión. Además, se obtienen los certificados de propiedad y tradición de los terrenos donde se encuentran los pozos de captación y las PTAP de las veredas. Esta documentación es crucial para establecer una base sólida y legal para el proceso de concesión.

2. Diagnóstico:

En esta fase, se realiza un acercamiento directo a las 3 veredas a través de visitas in situ. Se aplican encuestas para obtener datos precisos sobre la cantidad de usuarios y habitantes de cada zona. La georreferenciación de viviendas ayuda a comprender mejor la distribución de la población. Además, se realiza una evaluación exhaustiva del estado de los sistemas de acueducto, los pozos de captación y las PTAP en cada vereda. Se identifican posibles daños, problemas operativos y se determina por qué ciertos sistemas no están funcionales, si es el caso.

3. Solicitud Autorización Sanitaria:

Una vez recopilados los datos y la documentación del diagnóstico, se procede a solicitar la autorización sanitaria a la secretaría de salud. Esta fase implica preparar y enviar la documentación correspondiente a través de correo electrónico, con el objetivo de coordinar una visita de inspección. La aprobación de la autoridad sanitaria es esencial para garantizar que el proyecto cumpla con los estándares de salud y seguridad.

4. Análisis Físicoquímicos del Agua:

Se lleva a cabo el acompañamiento directo al análisis físicoquímico del agua en laboratorios avalados. Este análisis es esencial para verificar la calidad del agua en términos de componentes físicos y químicos, asegurando que sea apta para el consumo humano.

5. Pruebas de Bombeo:

Se procede a realizar pruebas de bombeo en cada uno de los pozos de las veredas utilizando sondas de medición especializadas. Estas pruebas tienen múltiples objetivos, como proporcionar datos precisos sobre la calidad y capacidad de los pozos, así como identificar las pérdidas de carga debido al rozamiento del agua en la formación del acuífero. Además, se verifica la ubicación óptima de las bombas para garantizar un suministro constante de agua. La metodología para realizar estas pruebas implica mantener un caudal constante durante un período específico, generalmente 240 minutos o hasta que se observe un cambio en el nivel de abatimiento del pozo que impida continuar con la prueba. Posteriormente, se registra el proceso de recuperación del nivel freático inicial y se ejecuta una prueba de llenado de un tanque de 1000 litros para medir el tiempo requerido para llenarlo.

6. Determinación de Optimización:

Basado en los resultados obtenidos en las fases anteriores, se procede a determinar una posible optimización para los sistemas de captación y PTAP de cada una de las veredas. Si es necesario, se elabora un diseño para la construcción de una nueva PTAP con el propósito de mejorar el tratamiento del agua y garantizar su calidad y disponibilidad.

7. Planes de Uso Eficiente del Agua (PUEAA):

Esta etapa involucra la creación de planes de uso y eficiencia del agua en cada vereda. Estos planes son adaptados a las condiciones y necesidades específicas de cada zona, considerando los parámetros proporcionados por CORPOBOYACA y el caudal de captación de los pozos. Los PUEAA son esenciales para asegurar una gestión sostenible y responsable de los recursos hídricos.

8. Solicitud de Concesión de Aguas:

Finalmente, se procede a presentar la solicitud formal de concesión de aguas para las 3 veredas. Esta solicitud incluye toda la documentación recopilada, los resultados del diagnóstico, los análisis fisicoquímicos del agua, los diseños de optimización y los planes de uso eficiente del agua. Se espera la aprobación de las autoridades competentes, lo que permitirá avanzar hacia la obtención de la concesión de aguas para las comunidades de las veredas mencionadas.

9. Resultados y análisis

A continuación, se presenta una tabla de resumen del avance documental del proyecto de obtención de concesiones de aguas para los centros veredales en Puerto Boyacá. Se ha elaborado una tabla que detalla los documentos requeridos para cada uno de los centros poblados veredales, que incluyen Puerto Romero, Kilómetro 11 y Puerto Niño. Los cuadros pintados de verde indican que la actividad ya se realizó y se cuenta con la documentación pertinente.

Tabla 2.

Tabla de avance del proyecto.

CONTRATACIÓN DE LA CONSULTORÍA PARA LA ADJUDICACIÓN DE LA CONCESIÓN DE AGUAS DE TRES CENTROS POBLADOS (PUERTO NIÑO, PUERTO ROMERO Y KILOMETRO 11) EN EL CUMPLIMIENTO DE LA LEY 99 DE 93 DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ.							
	Documentación	Diagnóstico	Solicitud autorización sanitaria secretaria de salud	Visita secretaria de salud	Análisis fisicoquímicos	Pruebas de bombeo	PUEAA
Puerto Romero	Realizado	Realizado	Realizado	En proceso	No realizado	En proceso	En proceso
Kilómetro 11	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	En proceso
Puerto Niño	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	En proceso

Realizado	Realizado
No realizado	No realizado
En proceso	En proceso

Fuente: Propia

9.1. Documentación:

En el contexto del proyecto en curso, en varios centros poblados de Puerto Boyacá, se ha alcanzado un progreso significativo en la recopilación de documentación

esencial y en la ejecución de actividades de campo para comprender mejor las condiciones y necesidades de las comunidades locales.

Uno de los hitos importantes es la recopilación de documentos relacionados con las Juntas de Acción Comunal y los estatutos de las organizaciones de alcantarillado en varios de estos centros poblados.

Paralelamente, se ha llevado a cabo un importante trabajo de campo mediante encuestas en varios de estos centros poblados, incluyendo Puerto Niño y Kilómetro 11. Estas encuestas contienen información sobre el número de usuarios y habitantes del sector, para así determinar la demanda del recurso hídrico en la zona. Además, se ha avanzado en la georreferenciación de viviendas en algunos de estos centros poblados. Esta información geoespacial es esencial, ya que proporciona datos precisos sobre la ubicación de las viviendas y su relación con la infraestructura de suministro de agua. Esto, a su vez, facilita la planificación y la gestión efectiva de la infraestructura de distribución de agua, asegurando una distribución equitativa y eficiente del recurso hídrico.

Respecto a la documentación que refiere a los predios donde se ubican los pozos de captación subterránea, se realizó una petición a la Alcaldía Municipal de Puerto Boyacá el día 14 de septiembre a la Secretaría de Planeación, para conocer el registro de matrícula y así mismo iniciar con el proceso de trámite del documento de libertad y tradición de cada predio.

La información recolectada en estas encuestas incluye datos relevantes como el número de habitantes y usuarios del sistema de agua potable en esta comunidad específica. Es importante señalar que, debido a la necesidad de mantener la confidencialidad de ciertos detalles sensibles, la información específica recopilada en estas encuestas no se comparte en su totalidad. Estos datos son fundamentales para dimensionar de manera aproximada la demanda de recursos hídricos en cada uno de los centros poblados.

Tabla 3.

Encuesta número de habitantes y usuarios con georreferenciación del centro poblado Puerto Niño.

Ítem	Nombre Suscriptor	Personas			Vereda	Latitud			Longitud		
		Permanentes	Transitorias	Total		Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos
1	CASA 1	1	0	1	PUERTO NIÑO	6°	9'	26,512"	74°	28'	43,262"
2	CASA 2	2	2	4	PUERTO NIÑO	6°	9'	26,209"	74°	28'	43,807"
3	CASA 3	4	4	8	PUERTO NIÑO	6°	9'	26,009"	74°	28'	44,024"
4	CASA 4	1	0	1	PUERTO NIÑO	6°	9'	25,770"	74°	28'	44,223"
5	CASA 5	2	0	2	PUERTO NIÑO	6°	9'	25,543"	74°	28'	44,446"
6	CASA 6	4	0	4	PUERTO NIÑO	6°	9'	24,966"	74°	28'	45,012"
7	CASA 7	3	2	5	PUERTO NIÑO	6°	9'	21,304"	74°	28'	48,027"
8	CASA 8	0	0	0	PUERTO NIÑO	6°	9'	21,130"	74°	28'	48,247"
9	CASA 9	4	0	4	PUERTO NIÑO	6°	9'	20,825"	74°	28'	48,540"
10	CASA 10	4	0	4	PUERTO NIÑO	6°	9'	20,646"	74°	28'	48,949"
11	CASA 11	2	0	2	PUERTO NIÑO	6°	9'	20,373"	74°	28'	49,393"
12	CASA 12	2	0	2	PUERTO NIÑO	6°	9'	20,113"	74°	28'	49,692"
13	CASA 13	3	1	4	PUERTO NIÑO	6°	9'	19,601"	74°	28'	50,213"
14	CASA 14	2	0	2	PUERTO NIÑO	6°	9'	18,506"	74°	28'	51,049"
15	CASA 15	2	0	2	PUERTO NIÑO	6°	9'	18,146"	74°	28'	51,373"
16	CASA 16	5	1	6	PUERTO NIÑO	6°	9'	17,927"	74°	28'	51,597"

Fuente: Propia

Los estatutos constituyen un componente jurídico y organizativo fundamental en la gestión del suministro de agua potable en la presente comunidad. Representan una estructura normativa detallada que define la configuración de la asociación, sus objetivos institucionales, así como los roles y responsabilidades de sus miembros. Además, delimitan exhaustivamente los procedimientos para la toma de decisiones y la administración eficiente de los recursos asociados al suministro de agua potable.

Cabe destacar que la existencia y cumplimiento de estos estatutos resultan indispensables para la obtención de una concesión de aguas. Esta concesión reviste una importancia capital, ya que determina la entidad legalmente autorizada para la gestión de la concesión. En este contexto, la asociación se erige como los solicitantes primarios y, en última instancia, como los responsables legales y operativos del manejo de la concesión de agua potable en la comunidad.

En la figura 4 se exponen los perfiles de dos usuarios, quienes han sido sometidos a encuestas de tipo censo. Este enfoque metodológico se ha implementado con el objetivo de obtener información detallada sobre la composición de los usuarios, incluyendo aspectos como la cantidad específica de individuos que cohabitan en cada unidad residencial. La ejecución de estas encuestas se considera imperativa para recopilar datos precisos relativos a la cantidad de usuarios y la distribución poblacional en los hogares, aspectos esenciales para realizar una estimación certera de las necesidades hídricas en el centro veredal.

La aplicación de encuestas tipo censo representa una herramienta estratégica en la planificación del suministro de agua, ya que posibilita la obtención de información cuantitativa clave. La identificación precisa del número de usuarios y la demografía residencial se erige como un fundamento esencial para calcular de manera efectiva la demanda de agua en el centro veredal.

Figura 4.
Encuesta tipo censo del sector Pozo 2 de la vereda Puerto Niño.

FICHA DE CENSO FAMILIAR		MUNICIPIO	SECTOR	DIRECCION
		Puerto Boyacá	Pozo 2	Casa # 15
DATOR PERSONALES DEL RESPONSABLE DEL GRUPO FAMILIAR	APELLIDOS	IDENTIFICACION		
	NOMBRES	TELEFONO		
CORREO ELECTRONICO				
N° DE PERSONAS QUE FORMAN EL NUCLEO FAMILIAR				
1	2	3	APELLIDO	
	X		NOMBRES	
4	5	6	IDENTIFICACION	
7	8	9		
10	11	12		
FICHA DE CENSO DE SERVICIOS PUBLICOS				
TIENE SERVICIO DE ENERGIA?	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE CAJA PROTECTORA DE MEDIDOR DE ENERGIA?	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE MEDIDOR DE ENERGIA?	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE SERVICIO DE GAS NATURAL?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE CAJA DE MEDIDOR DE GAS NATURAL?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	LLEGA
TIENE MEDIDOR DE GAS NATURAL?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	LLEGA
TIENE MANGUERA DE GAS NATURAL?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	LLEGA
TIENE SERVICIO DE ALCANTARILLADO?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE CAJA DE INSPECCION DE ALCANTARILLADO?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE SERVICIO DE ACUEDUCTO?	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE MICROMEDIDOR DE ACUEDUTO?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE LLAVE DE CORTE?	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE TANQUE DE ALMACENAMIENTO?	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE ANDEN?	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE ANDEN EN BALDOSA?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	N/A
TIENE ANDEN EN CONCRETO?	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	N/A
Preción Buena Regular Mala				

Revisión y acompañamiento integral para la fase de recopilación de requisitos documentales, que incluye un diagnóstico y la identificación de posible optimización en el sistema de acueducto y Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en 3 centros veredales rurales de Puerto Boyacá, Boyacá.

FICHA DE CENSO FAMILIAR		MUNICIPIO	Vto Boyaca	
		SECTOR	Voto 2	
		DIRECCION	Caba # 17	
DATOS PERSONALES DEL RESPONSABLE DEL GRUPO FAMILIAR		APELLIDOS	IDENTIFICACION	
CORREO ELECTRONICO		NOMBRES	TELEFONO	
N° DE PERSONAS QUE FORMAN EL NUCLEO FAMILIAR		APELLIDO	NOMBRES	IDENTIFICACION
1	2			
3	4			
5	6			
7	8			
9	10			
11	12			

FICHA DE CENSO DE SERVICIOS PUBLICOS				
	SI	NO		
TIENE SERVICIO DE ENERGIA?	X			N/A
TIENE CAJA PROTECTORA DE MEDIDOR DE ENERGIA?	X			N/A
TIENE MEDIDOR DE ENERGIA?	X			N/A
TIENE SERVICIO DE GAS NATURAL?				N/A
TIENE CAJA DE MEDIDOR DE GAS NATURAL?				N/A
TIENE MEDIDOR DE GAS NATURAL?				LLEGA
TIENE MANGUERA DE GAS NATURAL?				LLEGA
TIENE SERVICIO DE ALCANTARILLADO?				LLEGA
TIENE CAJA DE INSPECCION DE ALCANTARILLADO?				N/A
TIENE SERVICIO DE ACUEDUCTO?	X			N/A
TIENE MICROMEDIDOR DE ACUEDUTO?				N/A
TIENE LLAVE DE CORTE?	X			N/A
TIENE TANQUE DE ALMACENAMIENTO?	X			N/A
TIENE ANDEN?				N/A
TIENE ANDEN EN BALDOSA?				N/A
TIENE ANDEN EN CONCRETO?				N/A

Piesión: Buena, Regular, Mala

Fuente: HIDROCOL S.A.S.

9.2. Diagnóstico:

A continuación, se presenta el diagnóstico de cada centro veredal que delinea los aspectos que se deben evaluar en el sistema de acueducto para cada centro poblado. Está organizado en varias categorías clave que incluyen la captación de agua, la línea de aducción, el sistema de tratamiento de agua, la línea de conducción, almacenamiento, la red de distribución y los dispositivos de medición (macromedidores /micromedidores).

9.2.1. Puerto Romero:

9.2.1.1. Captación:

El centro poblado Puerto Romero obtiene su suministro de agua de fuentes superficiales, aunque es importante señalar que actualmente no dispone de un desarenador en su sistema de tratamiento. La falta de un desarenador puede llevar a la acumulación de partículas sólidas en el agua, lo que podría afectar la calidad del agua y el rendimiento del sistema. Es esencial considerar la posible implementación de un

desarenador como una medida para mejorar la calidad y eficiencia del tratamiento del agua en este centro poblado. El centro poblado Puerto Romero se abastece de agua mediante la captación de fuentes superficiales, utilizando una bocatoma en concreto con dimensiones aproximadas de 4 metros de ancho y una altura de 0.60 metros. Esta fuente hídrica, que proviene de una quebrada, constituye la principal fuente de suministro para la comunidad y es la que abastece por completo las necesidades de agua en esta localidad. La gestión adecuada y la preservación de esta fuente de agua son fundamentales para garantizar un suministro constante y de calidad para los habitantes de Puerto Romero.

Según la información proporcionada por el fontanero, el caudal aportado a la bocatoma es adecuado tanto en épocas secas como en períodos lluviosos para satisfacer las necesidades diarias de la comunidad de Puerto Romero. Este sistema opera de manera continua, brindando un suministro constante de agua a lo largo de las 24 horas del día. Fuente de agua clasificada como SUPERFICIAL.

9.2.1.2. Línea de aducción:

Para la línea de aducción se usan tuberías de PVC con un diámetro de aproximadamente 4 pulgadas (alrededor de 10 centímetros). La longitud de la línea de aducción 2200 metros según la distancia entre la bocatoma y la planta de tratamiento de agua- tanque de almacenamiento, para garantizar un flujo constante y eficiente.

9.2.1.3. Sistema de Tratamiento de Agua Potable:

La comunidad del centro poblado ha expresado su preocupación sobre el estado de la planta de tratamiento de agua, indicando que fue construida aproximadamente en el año 2010 pero nunca se puso en funcionamiento y se encuentra en total abandono. Esta falta de operación y mantenimiento ha llevado al deterioro significativo de los elementos y componentes de la planta. Además, han señalado que la red de acueducto instalada hace más de 20 años no ha recibido mantenimiento alguno, lo que ha resultado en problemas como la exposición de la tubería al aire libre, pérdidas de presión y deterioro

general. La situación resalta la necesidad urgente de intervenir y rehabilitar tanto la planta de tratamiento como la red de distribución de agua en el centro poblado.

9.2.1.4. Línea de conducción:

La línea de conducción existente en el proyecto de abastecimiento de agua en la vereda de Puerto Romero ha sido diseñada y construida para transportar el agua cruda desde la bocatoma hasta la planta de tratamiento. Esta línea de conducción consta de una serie de tuberías que garantizan un flujo constante y eficiente del agua a lo largo de la distancia establecida.

Las tuberías de la línea de conducción están dimensionadas adecuadamente para satisfacer la demanda de agua. Está conformado de materiales resistentes y duraderos, tubería ½" PVC, para asegurar la integridad estructural y evitar fugas o roturas a lo largo de la línea.

9.2.1.5. Almacenamiento:

El sistema cuenta con un tanque de almacenamiento de aproximadamente 84 m^3 . Su infraestructura, construida en concreto, presenta fisuras evidentes, lo cual indica una clara falta de mantenimiento preventivo y correctivo a lo largo del tiempo. Estas fisuras, que han progresado gradualmente debido a la ausencia de un mantenimiento adecuado, contribuyen a considerar que el estado físico de la infraestructura es catalogado como "regular". Es fundamental tomar medidas de rehabilitación y mantenimiento para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

9.2.1.6. Red de Distribución:

El sistema de las redes de distribución se compone por tubería en PVC, la longitud total se divide en dos diámetros de la siguiente manera:

- 1100 metros de 2".
- 1023 metros de 3".

El sistema posee válvulas de regulación y control de fluido, no posee equipos para medición del caudal distribuido, igualmente no se han realizado operaciones de mantenimiento de la red de distribución.

9.2.1.7. Macromedidores/Micromedidores:

No cuenta con sistema de macro medición ni micro medición.

9.2.2. KM 11:

9.2.2.1. Captación:

La captación del sistema se realiza mediante pozos perforados (aguas subterráneas). El sistema no presenta macro medición del caudal. De acuerdo con el catastro de usuarios realizado en campo y el levantamiento topográfico realizado, se determina que el sistema atiende a 108 usuarios. La población que atiende el sistema es de 311 habitantes.

Con la información recolectada en campo se determina que la población utiliza el agua del sistema para consumo humano y doméstico, por tal razón la captación se realiza para ser distribuidas por las redes. De acuerdo a la visita de campo se pudo observar que el sistema de captación no presenta daños en su estructura; el personal operativo indica que la operación del sistema de bombeo se realiza en dos ocasiones durante el día, con el fin de disminuir el consumo de energía, por lo anterior se concluye que el estado físico de la infraestructura de captación es bueno. Fuente de agua clasificada como SUBTERRANEA.

9.2.2.2. Línea de aducción:

El sistema se compone por una línea de conducción por ductos, con una longitud de 50ml y un diámetro del ducto de 3" en PVC, su construcción fue en el año 2003 y hasta la fecha no se han realizado reparaciones, el personal operativo revisa la línea de conducción eventualmente, no se han presentado afectaciones en su sistema. De acuerdo con la visita de campo y a los procesos de tratamiento de la PTAP, se puede concluir que el agua extraída de los pozos profundos presenta concentraciones altas de hierro y manganeso, adicionalmente de acuerdo al análisis físicoquímicos, emitidos por la secretaria de salud de Boyacá, demuestra que el agua contiene concentraciones de hierro.

9.2.2.3. Sistema de Tratamiento de Agua Potable:

El sistema de tratamiento de agua potable se tienen varios procesos aireación/oxidación, coagulación y floculación, sedimentación, filtración y desinfección. En el sistema y en el centro poblado se registran cortes de energía, lo que causa el daño, deterioro de los equipos, al no haber una dosificación adecuada se presenta obstrucciones en los ductos, también se observa la falta de equipos de protección para el personal operativo de la PTAP.

Durante la inspección a la PTAP se pudo evidenciar el deterioro de esta por el uso inadecuado y el tiempo sin mantenimiento, se presentan daños en el canal del tanque que compromete el funcionamiento de la misma, aunque la estructura tiene una antigüedad de 16 años, presenta deterioro por falta de mantenimiento y el uso inadecuado de productos químicos.

9.2.2.4. Línea de conducción:

La línea de conducción existente para los pozos subterráneos en el proyecto de abastecimiento de agua en la vereda de KM 11ha sido diseñada y construida para transportar el agua cruda desde los pozos hasta la planta de tratamiento. Esta línea de conducción consta de una serie de tuberías que garantizan un flujo constante y eficiente del agua a lo largo de la distancia establecida.

9.2.2.5. Almacenamiento:

El sistema cuenta con un tanque de almacenamiento de 30m³, con una antigüedad de 35 años, al cual se realiza un mantenimiento 2 veces semestralmente, su última limpieza se realizó el 17 de abril de 2020, el agua permanece almacenada aproximadamente 1 día. El sistema de almacenamiento visualmente en su exterior no se observa presencia de fisuras o algún tipo de deterioro, este se encuentra totalmente aislado de focos de contaminación.

Se presenta deterioro por uso en los panales del tanque de sedimentación, no se observan daños exteriores, no obstante, la falta de mantenimiento puede generar deterioro y afectaciones al sistema.

9.2.2.6. Red de Distribución:

El sistema de las redes de distribución se compone por tubería en PVC, la longitud total se divide en dos diámetros de la siguiente manera: 870 metros de 2", 600 metros de 3". El sistema posee válvulas de regulación y control de fluido, no posee equipos para medición del caudal distribuido, igualmente no se han realizado operaciones de mantenimiento de la red de distribución.

9.2.2.7. Macromedidores/Micromedidores:

No cuenta con sistema de macro medición ni micro medición.

9.2.3. Puerto Niño:

9.2.3.1. Captación:

La captación del sistema se realiza mediante pozos perforados (aguas subterráneas). El sistema no presenta macro medición del caudal. De acuerdo con el catastro de usuarios realizado en campo y el levantamiento topográfico realizado, se determina que el sistema atiende a 327 usuarios. La población que atiende el sistema es de 1102 habitantes. El pozo subterráneo existente tiene una profundidad de 100 metros y un diámetro de encamisado de 4". Está equipado con una bomba de capacidad adecuada para extraer agua del pozo y elevarla a un tanque de almacenamiento. De acuerdo con la visita de campo se pudo observar que el sistema de captación no presenta daños en su estructura, el sistema de almacenamiento sí se le deben realizar a un tanque, ya que presenta filtraciones; el personal operativo indica que la operación del sistema de bombeo se realiza una vez durante el día, con el fin de disminuir el consumo de energía. Fuente de agua clasificada como SUBTERRANEA.

9.2.3.2. Línea de aducción:

Para la línea de aducción se usan tuberías de PVC con un diámetro de aproximadamente 4 pulgadas (alrededor de 10 centímetros). La longitud de la línea de aducción 139.5 metros según la distancia entre el pozo subterráneo y la planta de tratamiento de agua, para garantizar un flujo constante y eficiente. No se han realizado reparaciones desde su instalación y se encuentra en buen estado.

9.2.3.3. Sistema de Tratamiento de Agua Potable:

El sistema de tratamiento de agua potable se tienen varios procesos aireación/oxidación, coagulación y floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El sistema de tratamiento se monitorea por inspección visual, igualmente no cuenta con un manual de operación, del mismo modo no hay instrumentos de medición del caudal por lo que no hay datos de mediciones, no cuenta con laboratorio para verificación de pruebas.

En el último año de operación no se han realizado labores de mantenimiento, el sistema de desinfección se realiza por medio de cloro al 70%, en el cual se aplica 5 Kg al sistema. En el sistema y en el centro poblado se registran cortes de energía, lo que causa el daño, deterioro de los equipos, al no haber una dosificación adecuada se presenta obstrucciones en los ductos, también se observa la falta de equipos de protección para el personal operativo de la PTAP.

Durante la inspección a la PTAP se pudo evidenciar el deterioro de esta por el uso inadecuado y el tiempo sin mantenimiento, se presentan daños en el canal del tanque que compromete el funcionamiento de la misma, esta estructura presenta deterioro por falta de mantenimiento y el uso inadecuado de productos químicos. Por la intolerabilidad y falta de mantenimiento la PTAP no tiene las mejores condiciones para brindar un recurso de calidad, Debido a ello se piensa realizar un diseño sobre la PTAP.

9.2.3.4. Línea de conducción:

La línea de conducción existente para los pozos subterráneos en el proyecto de abastecimiento de agua en la vereda de Puerto Niño ha sido diseñada y construida para transportar el agua cruda desde los pozos hasta la planta de tratamiento. Esta línea de conducción consta de una serie de tuberías que garantizan un flujo constante y eficiente del agua a lo largo de la distancia establecida.

Las tuberías de la línea de conducción están dimensionadas adecuadamente para satisfacer la demanda de agua. Está conformado de materiales resistentes y duraderos, como PVC o hierro fundido, para asegurar la integridad estructural y evitar fugas o roturas a lo largo de la línea.

9.2.3.5. Almacenamiento:

Cada tanque de almacenamiento tiene una capacidad aproximada de 160.000 litros, y cuenta con 2 tanques; su ubicación estratégica permite que el agua fluya por gravedad hacia los hogares y puntos de consumo en la vereda. El tanque está construido en concreto y tiene una altura de 3.45 metros y un ancho de 8.78 metros, y de profundidad 5.32 metros. El sistema de almacenamiento visualmente en su exterior presenta filtraciones y uno de ellos se encuentra fuera de funcionamiento, este se encuentra totalmente aislado de focos de contaminación. La escalera le falta aplicación de pintura anticorrosiva, ajuste de soportes y suministro de pasamanos, en las instalaciones eléctricas de las bombas dosificadoras se observa un gran deterioro.

Se presenta deterioro por uso en los panales del tanque de sedimentación, no se observan daños exteriores, no obstante, la falta de mantenimiento puede generar deterioro y afectaciones al sistema.

Por lo anterior se concluye que: debido al daño interno en el tanque de sedimentación y la falta de mantenimiento. Con las proyecciones de población, se determina que el tanque de almacenamiento cumple con su capacidad de diseño, sin embargo, se recomienda realizar un mantenimiento al mismo, realizando impermeabilizaciones y demás con el fin de mejorar las condiciones físicas del mismo.

9.2.3.6. Red de Distribución:

El sistema de las redes de distribución se compone por tubería en PVC, la longitud total se divide en dos diámetros de la siguiente manera: 870 metros de 2", 600 metros de 3". El sistema, hasta el momento del presente informe no ha sufrido afectaciones por cambios en la presión de distribución, ya que la distribución se realiza por gravedad, en la red de distribución se están presentando problemas de corrosión superficial, debido a

las condiciones a las que está expuesta, ya que el terreno es destapado y no hay una protección para eventos de origen climático.

9.2.3.7. Macromedidores/Micromedidores:

No cuenta con sistema de macro medición ni micro medición.

9.3. Análisis fisicoquímicos:

A continuación, se presentan los análisis fisicoquímicos realizados en el agua de algunos centros veredales, junto con los resultados correspondientes. Estos análisis son fundamentales para evaluar la calidad del agua y garantizar su idoneidad para el consumo humano y otros usos. Estos análisis fisicoquímicos proporcionan una visión detallada de la composición del agua en cada centro veredal. Los parámetros evaluados incluyen el pH, la concentración de sólidos totales disueltos (TDS), el cloro residual, la presencia de hierro, manganeso, nitratos y fluoruros. Estos resultados son esenciales para determinar la calidad del agua y tomar medidas correctivas si es necesario para garantizar que el suministro de agua cumpla con los estándares de calidad y seguridad requeridos para el consumo humano y otros usos.

El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) es una herramienta técnica fundamental en la gestión de recursos hídricos que se utiliza para evaluar la calidad del agua en diversas fuentes, como ríos, lagos y embalses. Su importancia radica en su capacidad para proporcionar una evaluación cuantitativa y objetiva de la calidad del agua, lo que resulta crucial en varios aspectos técnicos.

La principal importancia del IRCA radica en su capacidad para garantizar la seguridad del agua potable para el consumo humano. Esto se logra mediante la evaluación de una serie de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, como la concentración de contaminantes,

microorganismos patógenos y sustancias que pueden ser perjudiciales para la salud. El enfoque técnico del IRCA asegura que el agua destinada al consumo cumpla con los estándares de calidad establecidos, protegiendo así la salud pública. Además, el IRCA permite un monitoreo continuo de la calidad del agua en fuentes específicas. Esto implica la toma regular de mediciones de parámetros clave, lo que permite detectar cambios en la calidad del agua con el tiempo. Esta capacidad es esencial para la identificación temprana de problemas de calidad del agua y la implementación de medidas correctivas cuando sea necesario.

Figura 5.
Índice IRCA.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (acciones para mejora de la calidad)
80.1 - 100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MinSalud, INS, MinVivienda, 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, Ministerio de Salud y Protección Social y Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Figura 6.
Índice IRCA en cada centro poblado.

	% IRCA	Nivel de riesgo
Puerto Romero	32,3	MEDIO
Kilómetro 11	37,5	ALTO
Puerto Niño	15	MEDIO

Fuente: Propia con datos tomados de AGUALIMSU S.A.S.

Revisión y acompañamiento integral para la fase de recopilación de requisitos documentales, que incluye un diagnóstico y la identificación de posible optimización en el sistema de acueducto y Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en 3 centros veredales rurales de Puerto Boyacá, Boyacá.

Tabla 4.
Resultados análisis fisicoquímicos centro poblado Pto Romero.

		AGUALIMSU S.A.S Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de Aguas, Alimentos y Suelos		REPORTE DE RESULTADO			
REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO N. 20230010-I2039							
PARCIAL				FINAL		X	
DATOS DEL CLIENTE				LABORATORIO DE ANÁLISIS			
NOMBRE DE EMPRESA		HIDROCOL INGENIERÍA		NOMBRE LABORATORIO		AGUALIMSU SAS	
CONTACTO				CONTACTO			
NIT/C.C				TELEFONO			
DIRECCION				DIRECCION			
TELEFONO				E-MAIL			
CIUDAD				CIUDAD			
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA							
RADICADO N°		I2039		PRODUCTO/MATRIZ		AGUA CRUDA	
MUESTRA TOMADA POR		CLIENTE		TIPO DE MUESTREO		PUNTUAL	
NOMBRE DEL FUNCIONARIO				SITIO DE TOMA		POZO VEREDA PUERTO ROMERO	
PLAN DE MUESTREO		N.A		PUNTO DE TOMA		158	
PROCEDIMIENTO N°		N.A		HORA DE TOMA		10:15 a. m.	
LOTE		N.A		FECHA DE TOMA		2023-09-07	
VENCIMIENTO DE LA MUESTRA		N.A		FECHA DE RECEPCIÓN		2023-09-08	
CANTIDAD DE MUESTRA		2000 mL		FECHA DE EMISION DE REPORTE		2023-09-08	
PARÁMETROS		MÉTODO DE ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES ACEPTABLES SEGÚN RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	INTERPRETACIÓN	FECHA DE ANÁLISIS
FISICOQUÍMICOS							
Alcalinidad	SM 2320 C	105,00	mg CaCO ₃ / L	<200	CUMPLE	2023-09-08	
Aluminio	HACH 8012	0,012	mg Al+3 / L	<0,2	CUMPLE	2023-09-08	
Calcio	SM 3500-Ca B	2,89	mg Ca / L	<60	CUMPLE	2023-09-08	
Cloruros	SM 4500-Cl C	2,34	mg Cl / L	<250	CUMPLE	2023-09-08	
Cianuro total	Strip Micro CN	<0,05	mg CN / L	<0,05	CUMPLE	2023-09-08	
Cobre	Strip Micro Cu	<0,04	mg Cu / L	<1,0	CUMPLE	2023-09-08	
Carbono Orgánico Total	HACH 10129	<0,3	mg / L	<5,0	CUMPLE	2023-09-08	
Color aparente	SM 2120 B	<6,0	UPC	<15	CUMPLE	2023-09-08	
Conductividad	SM 2510 B	212,00	µS / cm	<1000	CUMPLE	2023-09-08	
Dureza total	SM 2340 C	8,62	mg CaCO ₃ / L	<300	CUMPLE	2023-09-08	
Fluoruros	HACH 8029	0,38	mg F / L	<1	CUMPLE	2023-09-08	
Fosfatos	HACH 8114	0,25	mg PO ₄ / L	<0,5	CUMPLE	2023-09-08	
Hierro total	HACH 8008	0,04	mg Fe / L	<0,3	CUMPLE	2023-09-08	
Magnesio	SM 3500 Mg B	0,08	mg Mg / L	<36	CUMPLE	2023-09-08	
Manganeso	HACH 8149	<0,01	mg Mn / L	<0,1	CUMPLE	2023-09-08	
Mercurio	Strip Micro Hg	<0,001	mg Hg / L	<0,001	CUMPLE	2023-09-08	
Molibdeno	Strip Micro Mo	<0,05	mg Mo / L	<0,07	CUMPLE	2023-09-08	
Nitratos	HACH 8171MR-3039HR	<0,5	mg NO ₃ - / L	<10	CUMPLE	2023-09-08	
Nitritos	HACH 8507	<0,01	mg NO ₂ - / L	<0,1	CUMPLE	2023-09-08	
pH	SM 4500 H + B	8,62	Unidades de pH	6,5 - 9,0	CUMPLE	2023-09-08	
Olor y sabor	ORGANOLEPTICO	ACEPTABLE	-	ACEPTABLE	CUMPLE	2023-09-08	
Sulfatos	HACH 8051	8,09	mg SO ₄ / L	<250	CUMPLE	2023-09-08	
Zinc	Strip Micro Zn	<1,0	mg Zn / L	<3,0	CUMPLE	2023-09-08	
Temperatura muestra	SM 2550 B	17,10	°C	N.E	N.A	2023-09-08	

Revisión y acompañamiento integral para la fase de recopilación de requisitos documentales, que incluye un diagnóstico y la identificación de posible optimización en el sistema de acueducto y Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en 3 centros veredales rurales de Puerto Boyacá, Boyacá.

PARÁMETROS	MÉTODO DE ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES ACEPTABLES SEGUN DECRETO 1076 DE 2015	INTERPRETACIÓN	FECHA DE ANÁLISIS
Turbiedad	SM 2130 B	0,40	NTU	<2	CUMPLE	2023-09-08
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes totales	SM 9221 B	<1,8	NMP/100 mL	<20000	CUMPLE	2023-09-08
<i>Escherichia coli</i>	SM 9221 F	<1,8	NMP/100 mL	<2000	CUMPLE	2023-09-08
Abreviaturas: N.A.= No aplica N.E.= No establecido M.N.C.= Muy Numerosas para Contar (-) Reporte menor al limite de detección del método						

Fuente: Agualimsu S.A.S.

Tabla 5.
Resultados análisis fisicoquímicos centro poblado Puerto Niño.

PARÁMETROS	MÉTODO DE ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES ACEPTABLES SEGUN RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	INTERPRETACIÓN	FECHA DE ANÁLISIS
FISICOQUÍMICOS						
Alcalinidad	SM 2320 C	148,00	mg CaCO ₃ / L	<200	CUMPLE	2023-09-08
Aluminio	HACH 8012	0,009	mg Al+3 / L	<0,2	CUMPLE	2023-09-08
Calcio	SM 3500-Ca B	13,00	mg Ca / L	<60	CUMPLE	2023-09-08
Cloruros	SM 4500-Cl C	2,57	mg Cl / L	<250	CUMPLE	2023-09-08
Cianuro total	Strip Micro CN	0,01	mg CN / L	<0,05	CUMPLE	2023-09-08
Cobre	Strip Micro Cu	<0,04	mg Cu / L	<1,0	CUMPLE	2023-09-08
Carbono Orgánico Total	HACH 10129	<0,3	mg / L	<5,0	CUMPLE	2023-09-08
Color aparente	SM 2120 B	<6,0	UPC	<15	CUMPLE	2023-09-08
Conductividad	SM 2510 B	304,00	µS / cm	<1000	CUMPLE	2023-09-08
Dureza total	SM 2340 C	39,50	mg CaCO ₃ / L	<300	CUMPLE	2023-09-08
Fluoruros	HACH 8029	0,38	mg F / L	<1	CUMPLE	2023-09-08
Fosfatos	HACH 8114	0,07	mg PO ₄ / L	<0,5	CUMPLE	2023-09-08
Hierro total	HACH 8008	0,03	mg Fe / L	<0,3	CUMPLE	2023-09-08
Magnesio	SM 3500 Mg B	0,41	mg Mg / L	<36	CUMPLE	2023-09-08
Manganeso	HACH 8149	<0,01	mg Mn / L	<0,1	CUMPLE	2023-09-08
Mercurio	Strip Micro Hg	<0,001	mg Hg / L	<0,001	CUMPLE	2023-09-08
Molibdeno	Strip Micro Mo	<0,05	mg Mo / L	<0,07	CUMPLE	2023-09-08
Nitratos	HACH 8171MR-3039HR	<0,5	mg NO ₃ - / L	<10	CUMPLE	2023-09-08
Nitritos	HACH 8507	<0,01	mg NO ₂ - / L	<0,1	CUMPLE	2023-09-08
pH	SM 4500 H + B	7,60	Unidades de pH	6,5 - 9,0	CUMPLE	2023-09-08

Revisión y acompañamiento integral para la fase de recopilación de requisitos documentales, que incluye un diagnóstico y la identificación de posible optimización en el sistema de acueducto y Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en 3 centros veredales rurales de Puerto Boyacá, Boyacá.

Olor y sabor	ORGANOLEPTICO	ACEPTABLE	-	ACEPTABLE	CUMPLE	2023-09-08
Sulfatos	HACH 8051	10,10	mg SO ₄ / L	<250	CUMPLE	2023-09-08
Zinc	Strip Micro Zn	<1,0	mg Zn / L	<3,0	CUMPLE	2023-09-08
Temperatura muestra	SM 2550 B	22,20	°C	N.E	N.A	2023-09-08
Turbiedad	SM 2130 B	0,20	NTU	<2	CUMPLE	2023-09-08
PARÁMETROS	MÉTODO DE ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES ACEPTABLES SEGUN DECRETO 1076 DE 2015	INTERPRETACIÓN	FECHA DE ANÁLISIS
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes totales	SM 9221 B	<1,8	NMP/100 mL	<20000	CUMPLE	2023-09-08
<i>Escherichia coli</i>	SM 9221 F	<1,8	NMP/100 mL	<2000	CUMPLE	2023-09-08
Abreviaturas: N.A.= No aplica N.E.= No establecido M.N.C.= Muy Numerosas para Contar (-) Reporte menor al limite de detección del método						

Fuente: Agualimsu S.A.S.

Tabla 6.
Resultados análisis fisicoquímicos centro poblado Km 11.

	AGUALIMSU S.A.S Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de Aguas, Alimentos y Suelos	REPORTE DE RESULTADO				
REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO N. 20230010-I2044						
PARCIAL			FINAL	X		
DATOS DEL CLIENTE			LABORATORIO DE ANÁLISIS			
NOMBRE DE EMPRESA	HIDROCOL INGENIERÍA		NOMBRE LABORATORIO	AGUALIMSU SAS		
CONTACTO			CONTACTO			
NIT/C.C			TELEFONO			
DIRECCION			DIRECCION			
TELEFONO			E-MAIL			
CIUDAD			CIUDAD			
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA						
RADICADO N°	I2042		PRODUCTO/MATRIZ	AGUA CRUDA		
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE		TIPO DE MUESTREO	PUNTUAL		
NOMBRE DEL FUNCIONARIO			SITIO DE TOMA	POZO KM 11		
PLAN DE MUESTREO	N.A		PUNTO DE TOMA	161		
PROCEDIMIENTO N°	N.A		HORA DE TOMA	01:30 p. m.		
LOTE	N.A		FECHA DE TOMA	2023-09-13		
VENCIMIENTO DE LA MUESTRA	N.A		FECHA DE RECEPCIÓN	2023-09-14		
CANTIDAD DE MUESTRA	2000 mL		FECHA DE EMISION DE REPORTE	2023-09-14		
PARÁMETROS	MÉTODO DE ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES ACEPTABLES SEGUN RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	INTERPRETACIÓN	FECHA DE ANÁLISIS
FISICOQUÍMICOS						
Alcalinidad	SM 2320 C	118	mg CaCO ₃ / L	<200	CUMPLE	2023-09-14
Aluminio	HACH 8012	0,010	mg Al+3 / L	<0,2	CUMPLE	2023-09-14
Calcio	SM 3500-Ca B	21,70	mg Ca / L	<60	CUMPLE	2023-09-14
Cloruros	SM 4500-Cl ⁻ C	5,32	mg Cl ⁻ / L	<250	CUMPLE	2023-09-14
Cianuro total	Strip Micro CN	0,02	mg CN / L	<0,05	CUMPLE	2023-09-14
Cobre	Strip Micro Cu	<0,04	mg Cu / L	<1,0	CUMPLE	2023-09-14
Carbono Orgánico Total	HACH 10129	2,41	mg / L	<5,0	CUMPLE	2023-09-14
Color aparente	SM 2120 B	527,00	UPC	<15	NO CUMPLE	2023-09-14
Conductividad	SM 2510 B	208,00	µS / cm	<1000	CUMPLE	2023-09-14
Dureza total	SM 2340 C	73,80	mg CaCO ₃ / L	<300	CUMPLE	2023-09-14
Fluoruros	HACH 8029	0,35	mg F / L	<1	CUMPLE	2023-09-14
Fosfatos	HACH 8114	0,10	mg PO ₄ / L	<0,5	CUMPLE	2023-09-14
Hierro total	HACH 8008	5,63	mg Fe / L	<0,3	NO CUMPLE	2023-09-14
Magnesio	SM 3500 Mg B	7,12	mg Mg / L	<36	CUMPLE	2023-09-14
Manganeso	HACH 8149	<0,01	mg Mn / L	<0,1	CUMPLE	2023-09-14
Mercurio	Strip Micro Hg	<0,001	mg Hg / L	<0,001	CUMPLE	2023-09-14
Molibdeno	Strip Micro Mo	<0,05	mg Mo / L	<0,07	CUMPLE	2023-09-14

Revisión y acompañamiento integral para la fase de recopilación de requisitos documentales, que incluye un diagnóstico y la identificación de posible optimización en el sistema de acueducto y Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en 3 centros veredales rurales de Puerto Boyacá, Boyacá.

Nitratos	HACH 8171MR-3039HR	1,77	mg NO ₃ - / L	<10	CUMPLE	2023-09-14
Nitritos	HACH 8507	<0,01	mg NO ₂ - / L	<0,1	CUMPLE	2023-09-14
pH	SM 4500 H + B	6,88	Unidades de pH	6,5 - 9,0	CUMPLE	2023-09-14
Olor y sabor	ORGANOLEPTICO	ACEPTABLE	-	ACEPTABLE	CUMPLE	2023-09-14
Sulfatos	HACH 8051	5,13	mg SO ₄ / L	<250	CUMPLE	2023-09-14
Zinc	Strip Micro Zn	<1,0	mg Zn / L	<3,0	CUMPLE	2023-09-14
Temperatura muestra	SM 2550 B	26,40	°C	N.E	N.A	2023-09-14
Turbiedad	SM 2130 B	66,10	NTU	<2	NO CUMPLE	2023-09-14
PARÁMETROS	MÉTODO DE ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES ACEPTABLES SEGUN DECRETO 1076 DE 2015	INTERPRETACIÓN	FECHA DE ANÁLISIS
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes totales	SM 9221 B	<1,8	NMP/100 mL	<20000	CUMPLE	2023-09-14
<i>Escherichia coli</i>	SM 9221 F	<1,8	NMP/100 mL	<2000	CUMPLE	2023-09-14
Abreviaturas:						
N.A.= No aplica		N.E.= No establecido		M.N.C.= Muy Numerosas para Contar		(<) Reporte menor al limite de detección del método

Fuente: Agualimsu S.A.S.

9.4. Pruebas de bombeo:

Durante la ejecución de la prueba de bombeo se utilizó una sonda de medición para registrar la profundidad del pozo subterráneo. La prueba consistió en llenar un tanque de agua con una capacidad de 1,000 litros a través del bombeo continuo del pozo. La duración de la prueba se extendió por un período de 240 minutos, o hasta que se manifestara un cambio significativo en el nivel de abatimiento del pozo que indicara la necesidad de interrumpir la prueba.

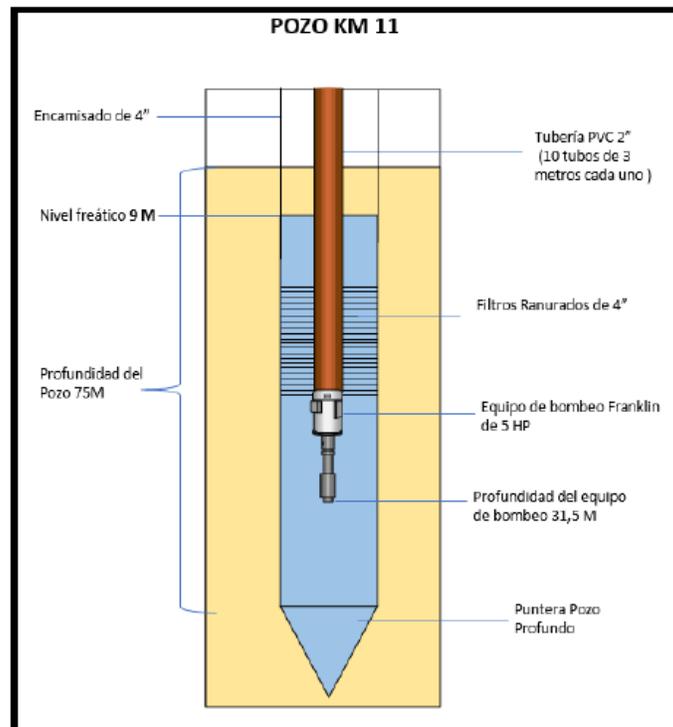
Una vez que se completó este período de bombeo, se suspendió la operación de la bomba y se inició el proceso de registro de la recuperación del pozo. Este proceso consistió en observar y registrar la elevación del nivel del agua en el pozo hasta que se alcanzara finalmente el nivel freático inicial, es decir, el nivel de agua previo al inicio de la prueba. Esta información es fundamental para determinar la capacidad de producción del pozo y su comportamiento hidrogeológico, lo que a su vez contribuye a la gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos en la vereda mencionada.

Por razones de confidencialidad relacionadas con la empresa HIDROCOL S.A.S., responsable de la consultoría para la solicitud de la concesión de aguas en las tres zonas veredales, se proporciona exclusivamente la información exhaustiva y específica correspondiente a la prueba de bombeo realizada en el centro poblado Kilómetro 11.

- **KM 11:**

Figura 7.

Esquema pozo subterráneo KM 11.



Fuente: HIDROCOL S.A.S.

Tabla 7.

Información pozo KM 11 durante la prueba.

PROFUNDIDAD DEL POZO	75 m
PROFUNDIDAD DE LA BOMBA	31.5 m
VOLTAJE DE LA BOMBA	220 v trifásica
POTENCIA DE LA BOMBA HP	5 Hp
CAUDAL MEDIDO	3.85 l/s
NIVEL DINÁMICO	15 m
NIVEL ESTÁTICO	9 m
DIÁMETRO TUBERÍA BOMBEO	2" PVC

DIÁMETRO ENCAMISADO	4" PVC
---------------------	--------

Fuente: HIDROCOL S.A.S.

9.4.1. Desarrollo de la prueba

En la prueba de llenado número uno del tanque de 1000 litros se registró un tiempo de 4:16 minutos, que representan 3.90 litros de agua por segundo. En la prueba de llenado número dos del tanque de 1000 litros se registró un tiempo de 4:24 minutos, que representan 3.78 litros por segundo, tomando como base los dos tiempos obtenidos se concluye que el llenado del tanque de 1000 litros tarda en promedio 3.85 litros por segundo.

Tabla 8.

Tiempo respecto al nivel freático del pozo durante la prueba de bombeo.

Tiempo (min)	Nivel de Agua (m)	Caida de Agua (m)
0	8	0
1	8	0
2	8	0
3	8	0
4	8,1	0,1
5	8,3	0,3
6	8,7	0,7
7	9	1
8	8,5	0,5
9	9	1
10	10	2
20	11	3
25	12,5	4,5
30	13	5
40	13	5
50	14,3	6,3
70	16	8
90	15	7
150	15	7
180	15	7
210	10	2
240	8	0

Fuente: HIDROCOL S.A.S

La representación gráfica proporcionada ilustra la duración temporal del proceso de bombeo, el comportamiento concomitante del nivel freático del pozo a lo largo de dicho período y la variación retrospectiva con respecto al nivel inicial.

El proceso inició con la activación de la bomba, y se registró el tiempo necesario para el llenado del tanque utilizando un cronómetro. Al mismo tiempo, se introdujo una sonda eléctrica para monitorear la variación del nivel freático con el transcurso del tiempo. Durante el primer minuto, no se observó alteración en el nivel freático, que se mantuvo constante a 8 metros hasta el cuarto minuto, momento en el cual experimentó un retroceso de 0.1 metros, alcanzando los 8.1 metros.

En el quinto minuto, la sonda eléctrica dejó de alumbrar y emitir señal, indicando un descenso del nivel freático. Rápidamente, la sonda se dejó bajar, y al quinto minuto se observó un retroceso adicional de 0.2 metros, llegando a 8.3 metros. Hacia el séptimo minuto, la sonda dejó de emitir señal, requiriendo un ajuste en su posición. En el décimo minuto, se constató que el nivel freático estaba a 10 metros de profundidad, representando un retroceso de 1 metro respecto al máximo anterior.

Después de 20 minutos, la señal de la sonda se detuvo nuevamente, activándose una alarma a 11 metros, indicando un retroceso de 1 metro desde la profundidad alcanzada de 10 metros. A pesar de la disminución del nivel freático, la presión aumentó. La bomba permaneció encendida y, tras 30 minutos, la sonda volvió a perder señal, indicando un nuevo descenso del nivel. Al bajar la sonda, la señal se encendió a 13 metros, representando un retroceso de 0.5 metros.

A partir del minuto 40, la sonda mantuvo una constante emisión de señal, encendiéndose nuevamente a los 14.3 metros, con un retroceso de 1.3 metros respecto al máximo anterior. La señal persistió hasta el minuto 90, momento en el cual desapareció. Se dejó caer la sonda, y al encenderse a 15 metros, se registró un retroceso de 1.8 metros. La señal se mantuvo constante hasta el minuto 180, momento en el cual se inició la retirada de la sonda.

En el proceso de retirada, se observó una recuperación del nivel a los 8 metros. Se permitió que la sonda cayera nuevamente, encendiéndose a los 8 metros, con un retroceso de 0.5 metros respecto al máximo anterior. La señal se mantuvo constante hasta el minuto 240, momento en el cual se dio por terminada la prueba.

Para determinar las características hidrogeológicas y parámetros hidráulicos del pozo, se utilizaron los datos recopilados durante la prueba de bombeo y se ingresaron en el software Watergems. A través de este proceso, se obtuvieron los siguientes valores para los parámetros clave:

- **Transmisividad (T):** La transmisividad representa la capacidad del acuífero para transmitir agua bajo un gradiente hidráulico unitario. La determinación de este parámetro se realizó mediante dos métodos distintos reveló una proximidad significativa entre los resultados obtenidos. En este análisis comparativo, se opta por considerar el valor de transmisividad obtenido mediante el método de Cooper & Jacob, que asciende a 142.10 m²/día. Al contrastar este valor con los datos proporcionados en la tabla 11, se llega a la conclusión de que la transmisividad del acuífero puede clasificarse como de magnitud media. Este hallazgo contribuye a una comprensión más precisa de las propiedades hidrogeológicas del pozo, facilitando la evaluación y gestión adecuada de los recursos hídricos subterráneos en la zona correspondiente.

Tabla 9.

Tiempo respecto al nivel freático del pozo durante la prueba de bombeo.

MÉTODO	T (m ² /día)	K (m/día)	S
Theis	142.10	0.41	6.22E-03
Cooper & Jacob	94.55	1.54	2.83E-03

Theis - Recuperación	47.41	0.08	-
-------------------------	-------	------	---

Fuente: HIDROCOL S.A.S.

- Conductividad Hidráulica (k):** La conductividad hidráulica se obtuvo a partir de la interpretación de la curva de descarga y la aplicación de fórmulas hidráulicas pertinentes en el software Watergems. Este parámetro refleja la capacidad del material del acuífero para permitir el flujo de agua. La conductividad hidráulica (K) se define como el volumen de agua gravitacional que percola durante la unidad de tiempo a través de la unidad de superficie de una sección del terreno bajo un gradiente hidráulico igual a la unidad.

En el contexto de la prueba de bombeo, el valor obtenido para la conductividad hidráulica es de 1.54 m/día. Al comparar este resultado con los valores de referencia que caracterizan la calidad de los acuíferos, se puede concluir que el pozo en cuestión posee un acuífero con una calificación media. Esta evaluación proporciona información importante sobre la capacidad del acuífero para permitir el flujo de agua y contribuye a una comprensión más detallada de las propiedades hidrogeológicas del entorno.

Tabla 10.
Calificación y comportamiento del pozo.

K (m/día)	Calificación	Comportamiento
K < 10 ⁻²	Muy baja	Impermeable

$10^{-2} < K < 1$	Baja	Acuífero Pobre
$1 < K < 10$	Media	Acuífero Pobre
$10 < K < 100$	Alta	Buenos Acuíferos
$K > 100$	Muy Alta	Buenos Acuíferos

Fuente: HIDROCOL S.A.S.

- Coeficiente de Almacenamiento del Acuífero (S):** Se determinó mediante la evaluación de la respuesta del nivel freático a los cambios en la extracción de agua durante la prueba de bombeo. Representa la capacidad del acuífero para almacenar y liberar agua. Este parámetro es fundamental para comprender la dinámica del acuífero y es esencial para la gestión efectiva de los recursos hídricos subterráneos en la zona del pozo.

Tabla 11.

Calificación y comportamiento del pozo.

Acuíferos libres (porosidad eficaz): 0.3 - 0.01	El agua proviene del vaciado de los poros.
Acuíferos Semiconfinados: 10 ⁻² - 10 ⁻⁴	El agua proviene de descompresión y de rezumes desde las capas confinantes.
Acuíferos Confinados: < 10 ⁻⁴	El agua proviene de descompresión.

Fuente: HIDROCOL S.A.S.

El número adimensional obtenido para el coeficiente de almacenamiento (S) mediante el método de Cooper & Jacob es de 2.89×10^{-3} . Este valor sitúa al acuífero en la categoría de "semiconfinado". En un acuífero semiconfinado, la capa superior o inferior puede ser más permeable que las capas circundantes, lo que facilita el

movimiento vertical del agua. Sin embargo, la presión del agua en el acuífero está influenciada por la carga hidrostática de las capas confinantes, lo que significa que el flujo de agua se da a una velocidad más lenta en comparación con un acuífero libre completamente no confinado. La clasificación de un acuífero como semiconfinado tiene importantes implicaciones para la gestión del agua subterránea, ya que afecta la velocidad y la dirección del flujo del agua, así como la capacidad de almacenamiento y recuperación del acuífero en respuesta a las extracciones de agua.

El pozo ubicado en la vereda Kilómetro 11 exhibe aspectos técnicos de relevancia para su operatividad y sostenibilidad. Con una capacidad de producción de agua de 3.85 litros por segundo (LPS) y una bomba instalada a 31.5 metros de profundidad, se ha aplicado un margen de seguridad para evitar el abatimiento del pozo, evitando así su máxima explotación y garantizando su estabilidad a largo plazo.

La evaluación de los valores obtenidos revela que el pozo en la vereda Kilómetro 11 se asocia con un acuífero semiconfinado de transmisividad media. Esta característica genera un respaldo parcial para la comunidad que depende del suministro de agua en este sector. La naturaleza semiconfinada del acuífero permite a la comunidad extraer agua del pozo dentro de niveles permitidos sin incurrir en riesgos inminentes de agotamiento a corto plazo.

Se destaca la necesidad de realizar un mantenimiento regular del pozo, con una frecuencia máxima de un año, con el propósito de asegurar un suministro continuo de agua. Al inicio de los trabajos, se identificaron obstrucciones causadas por incrustaciones en los filtros y sedimentos, afectando el flujo normal de agua desde la formación hasta el pozo.

9.5. Diseño PTAP Puerto Niño:

1. Caudal Captado:

- **Valor:** 2.37 litros/segundo.

- El caudal captado se determina según las necesidades de la población. Este valor garantiza un suministro adecuado para una población de aproximadamente 1102 habitantes, considerando factores como el crecimiento demográfico y las demandas diarias.

2. Tanques de Almacenamiento:

- **Dimensiones:** 2.4m x 5.90m x 8.78m (cada tanque).
 - Los tanques de almacenamiento son cruciales para asegurar la continuidad en el suministro de agua, proporcionando almacenamiento suficiente para períodos de alta demanda o interrupciones en la captación. Las dimensiones propuestas garantizan una reserva estratégica sin ocupar excesivo espacio.

3. Tanques de Proceso:

- **Diámetro:** 1.46m, **Altura:** 3.3m (cada tanque).
 - Estas dimensiones son óptimas para facilitar procesos como la coagulación, floculación y sedimentación. Un diámetro adecuado favorece la mezcla eficiente de reactivos, mientras que la altura contribuye a una sedimentación efectiva de los floculados.

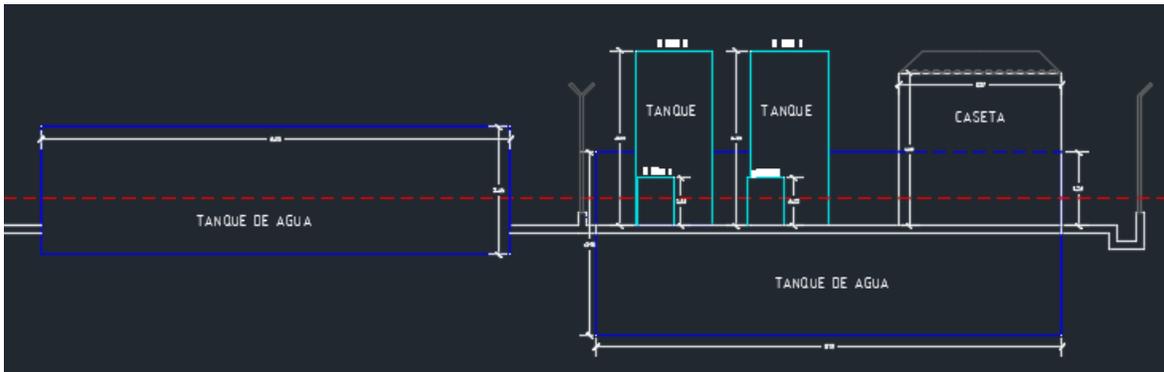
4. Caseta y Laboratorio:

- **Dimensiones:** 3.07m (ancho) x 2.88m (altura).
 - La caseta alberga el laboratorio para monitorear la calidad del agua tratada. Las dimensiones proporcionan espacio suficiente para la instalación de equipos de laboratorio, asegurando un entorno adecuado para análisis detallados y seguimiento continuo.

5. Bandejas de Tratamiento:

- **Distancia entre Bandejas:** 0.38m, **Número de Bandejas:** 5.
 - La disposición de bandejas con una distancia específica facilita la implementación de procesos como aireación, oxidación, coagulación y floculación. Las 5 bandejas permiten una secuencia eficiente de

Figura 9.
Diseño PTAP Puerto Niño longitudinal.



Fuente: Propia.

10. Conclusiones

Se identificaron problemas comunes en los tres centros poblados, incluyendo falta de mantenimiento, deterioro de infraestructuras, y ausencia de sistemas de medición. La calidad del agua y la eficiencia de los sistemas de tratamiento y distribución requieren intervenciones inmediatas. Un aspecto común en los tres centros poblados es la ausencia de sistemas de medición, tanto macro como micro, lo que dificulta la gestión eficiente de la distribución.

Se recomienda un enfoque integral que aborde no solo las necesidades actuales, sino también las proyecciones de crecimiento poblacional y futuros cambios en la demanda de agua.

En todos los centros poblados, los tanques de almacenamiento presentan diversos problemas, como fisuras, filtraciones y falta de mantenimiento, destacando la necesidad de intervenciones integrales. Además, las redes de distribución, compuestas por tuberías de PVC, carecen de mantenimiento y muestran problemas estructurales que deben abordarse.

En Puerto Romero, la captación de agua de fuentes superficiales carece de un desarenador, lo que podría afectar la calidad del agua, destacando la necesidad de implementar esta infraestructura. Además, se resalta la importancia de la gestión adecuada y la preservación de la fuente de agua para asegurar un suministro constante.

En cuanto a la línea de aducción en Puerto Romero, compuesta por tuberías de PVC, se evidencia que garantiza un flujo eficiente sin identificarse problemas. Sin embargo, la planta de tratamiento y la red de distribución requieren intervención urgente debido al abandono y falta de mantenimiento, lo que ha ocasionado un deterioro significativo en estas infraestructuras. Este centro poblado cuenta con una población de 627 habitantes y una dotación de 186 litros por habitante por día, el caudal necesario se calculó en aproximadamente 1.349 L/s. La capacidad del tanque de almacenamiento está dimensionada adecuadamente.

En KM 11, la captación de agua subterránea a través de pozos perforados se destaca como eficiente, y la línea de aducción por ductos de PVC muestra un buen estado sin problemas desde su construcción en 2003. No obstante, la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) presenta daños significativos debido a cortes de energía y falta de mantenimiento, requiriendo una intervención inmediata para garantizar la calidad del agua tratada. Adicionalmente, con una población de 311 habitantes y una dotación de 186 litros por habitante por día, se determinó que el caudal necesario es de aproximadamente 0.669 litros por segundo (L/s). Esta evaluación confirma que el tanque de almacenamiento está dimensionado de manera adecuada y supera los requisitos diarios, proporcionando un margen adicional de seguridad. La prueba de bombeo realizada en el pozo de la vereda Kilómetro 11 revela una conductividad hidráulica de 1.54 m/día, indicando que el acuífero asociado tiene una calificación media.

El pozo en la vereda Kilómetro 11 presenta aspectos técnicos destacados, con una capacidad de producción de agua de 3.85 litros por segundo (LPS) y una bomba instalada a 31.5 metros de profundidad. La evaluación del acuífero revela que se trata de uno semiconfinado de transmisividad media, lo que permite la extracción de agua dentro de niveles permitidos sin riesgos inminentes de agotamiento a corto plazo.

En Puerto Niño, la captación de agua subterránea mediante pozos perforados se considera eficiente, y la línea de aducción, compuesta por tuberías de PVC, está en buen estado sin problemas desde su instalación. No obstante, la PTAP muestra un deterioro significativo por falta de mantenimiento y uso inadecuado, sugiriendo la necesidad de un diseño para su rehabilitación. Puerto Niño, cuenta con una población de 1102 habitantes y una dotación de 186 litros por habitante por día, el caudal necesario se estima en aproximadamente 2.372 L/s; por lo que es necesario diseñar una nueva PTAP que tenga capacidad operativa.

Los resultados de los índices IRCA proporcionan una evaluación significativa de la calidad ambiental en los centros veredales estudiados. En Puerto Romero, el %IRCA del 32,3% indica un nivel de riesgo MEDIO, mientras que en KM 11 el %IRCA alcanza el

37,5%, clasificado como riesgo ALTO, y en Puerto Niño se registra un %IRCA del 15%, con un nivel de riesgo MEDIO. Por lo que los 3 centros poblados requieren intervenciones específicas para mejorar la calidad del agua y garantizar la salud de la población.

Adicionalmente, durante la visita de campo al centro poblado KM 11 y la inspección de los procesos de tratamiento en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), se constató que el agua extraída de los pozos profundos presenta concentraciones elevadas de hierro y manganeso. Esta observación se refuerza con los análisis fisicoquímicos realizados. Por lo tanto, es crucial implementar medidas correctivas y sistemas de tratamiento adecuados para reducir tales concentraciones.

Se recomienda la instalación de paneles solares en todas las instalaciones de tratamiento de agua. Esta medida no solo contribuiría a disminuir los costos asociados al consumo energético, sino que también permitiría una operación más extensa de las PTAP a lo largo del día. Mejorar la disponibilidad de agua potable durante más horas beneficia directamente a los usuarios.

Se recomienda la instalación de sistemas de filtración avanzada en todas las PTAP. Específicamente, la implementación de filtros de mangas de dióxido de manganeso y zeolita se presenta como una solución técnica efectiva. Estos filtros son conocidos por su capacidad para adsorber y retener eficientemente los contaminantes metálicos, mejorando así la calidad del agua tratada y reduciendo las concentraciones no deseadas en las tuberías de distribución.

11. Referencias

Ca BELLIDO, A. (2004): Manual de perforación - Manual de pozos y equipamiento con bombas manuales. Lima (Perú): Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Chavarría, S. B., & Vargas, T. B. (2018). Estado del arte sobre el cambio climático y las aguas subterráneas. Ejemplos en Colombia. *Revista Politécnica*, 14(26), 52-64.

Corpoboyacá. (22 de julio de 2023). Guía para concesión de aguas subterráneas. Corpoboyacá. Recuperado de <https://www.corpoboyaca.gov.co/ventanilla-atencion/concesion-de-aguas-subterranas/>

Corte constitucional de Colombia. (2011) Derecho fundamental del agua. Sentencia T-740/11. Recuperado de: <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2011/T-740-11.htm>

Instituto Nacional de Salud. (2019): Estado de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. Recuperado de: <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/informe-calidad-agua-2018.pdf>

Malagón Navarro, J. P. (2017). *Análisis hidrogeoquímico-multivariado del agua subterránea del sistema acuífero del Valle Medio del Magdalena–Colombia* (Doctoral dissertation).

Maque, B. P. (2017). “*ADECUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS EN LA PTAP VIRGEN DE CHAPI PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PGA ESTANDARIZADO*” *TESIS* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN).

Ministerio de Ambiente (2023) Uso y aprovechamiento del agua. Colombia potencia de vida. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/uso-y-aprovechamiento/>

12. Anexos

Figura A.1.
Floculadores Puerto Romero.



Fuente: *Propia.*

Figura A.2.
Sistema Filtración y red eléctrica. Puerto Romero.



Fuente: *Propia.*

Figura A.3.
Componentes PTAP Puerto Romero.



Fuente: *Propia.*

Figura A.4.
Caseta pozo profundo en Puerto Niño.



Fuente: *Propia.*

Figura A.5.
Pozo captación KM 11.



Fuente: Propia.

Figura A.6.
PTAP KM 11.



Fuente: Propia.