

**Propuesta técnico social de optimización del tren de tratamiento del acueducto
veredal La Revuelta Aclare en Cite, Santander**

Leidy Daniela Clavijo Mora

**Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Programa de Ingeniería Sanitaria
Tunja
2023**

**Propuesta técnico social de optimización del tren de tratamiento del acueducto
veredal La Revuelta Aclare en Cite, Santander**

Leidy Daniela Clavijo Mora

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniera Sanitaria**

Director

Catherin Dayani Caro Avendaño

Ingeniera Sanitaria

Magíster en Ingeniería Ambiental

Universidad de Boyacá

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Programa de Ingeniería Ambiental

Tunja

2023

Nota de aceptación:

Firma presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 2 de junio del 2023.

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.
(Lineamientos constitucionales, legales e institucionales que rigen la propiedad intelectual).

Este trabajo lo dedico primeramente a Dios por darme la fortaleza espiritual y física para continuar con este largo camino, a mis padres por ser pilar fundamental en mi vida, por inculcarme buenos valores, darme la oportunidad de tener la mejor educación y formarme como una profesional integra, a mi familia por el apoyo incondicional, por siempre impulsarme a ser mejor y culminar con éxito mi carrera.

Agradecimientos

Le agradezco al señor Leonardo Camacho Pinzón, integrante de la junta comunal de la vereda La Palma y aquellas personas que hicieron posible el desarrollo y culminación del presente proyecto de investigación. A mi asesora la ingeniera sanitaria y magister en ingeniería ambiental Catherin Dayani Caro Avendaño, docente de la Universidad de Boyacá, por su aporte técnico sobre el tema de investigación.

Contenido

	Pág.
Evaluación de las tecnologías de tratamiento para el mejoramiento del tren de tratamiento actual del acueducto veredal La Revuelta Aclare.....	20
Diagnóstico integral con participación comunitaria.....	20
Encuesta panorama de la percepción de la comunidad	22
Selección de la tecnología de tratamiento más adecuada para el mejoramiento del tren de tratamiento participativamente con la comunidad.....	37
Tecnología de tratamiento sistema o planta convencionales.....	38
Aireación	39
Coagulación	40
Floculación	40
Sedimentación	40
Filtración.....	41
Desinfección.....	41
Tecnología planta compacta.....	42
Tecnología de filtración en múltiples etapas	43
Componentes y factores de sostenibilidad en la vereda La Palma.....	46
Prediseño de alternativa de tratamiento.....	51
Proyección de población.....	51
Métodos de proyección de población	51
Periodo de diseño	55
Población futura.....	55
Determinación de caudales.....	55
Dotación neta.....	55
Dotación Bruta.....	56
Caudal medio diario	57
Caudal máximo diario	57
Caudal máximo horario	57
Diseño del sistema de tratamiento para el acueducto veredal La Revuelta Aclare	59

Aireador de bandejas para la planta de tratamiento compacta	60
Coagulación para la planta de tratamiento compacta	62
Floculación para la planta de tratamiento compacta	66
Sedimentador para la planta de tratamiento compacta	67
Filtración para la planta de tratamiento compacta.....	75
Desinfección para la planta de tratamiento compacta	76
Planos de la tecnología de tratamiento	80
Conclusiones.....	86
Recomendaciones	88
Referencias Bibliográficas.....	89
Anexos	94

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Concentración de parámetros problema	34
Tabla 2. Rangos de calidad de agua en fuentes superficiales.....	45
Tabla 3. Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua FiME.....	46
Tabla 4. Criterios de sostenibilidad	48
Tabla 5. Datos de censos poblacionales para zona rural	54
Tabla 6. Tasa de crecimiento de zona rural	54
Tabla 7. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.....	56
Tabla 8. Cálculo de los caudales proyectados a 25 años	58
Tabla 9. Resumen cálculos dimensionamiento de aireación	62
Tabla 10. Parámetros según el tipo de sedimentador	67
Tabla 11. Valor diámetro del sedimentador	68
Tabla 12. Cálculo para área de los conos del sedimentador.....	69
Tabla 13. Dimensionamiento del cono sedimentador	71
Tabla 14. Resumen del dimensionamiento tanque clarificador.....	74
Tabla 15. Composición del lecho filtrante.....	76
Tabla 16. Resumen parámetros de diseño por filtración	76

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. ¿Cree usted que la calidad de agua que ofrece la planta de tratamiento del acueducto es buena?.....	24
Figura 2. ¿Usted o su familia ha sufrido enfermedades diarreicas o dolencias gastrointestinales al consumir agua de la planta de tratamiento del acueducto?.....	25
Figura 3. ¿Conoce el sistema de la planta de tratamiento del acueducto veredal que le suministra agua?	26
Figura 4. ¿Cree usted que la infraestructura del acueducto veredal se encuentra en buen estado en este momento?	26
Figura 5. ¿Cree usted que es importante hacerle una mejora a la planta de tratamiento del acueducto veredal que se tiene en el momento?.....	27
Figura 6. ¿Ha visto participación de las entidades municipales para apoyar el adecuado funcionamiento del acueducto veredal?	27
Figura 7. ¿Usted como usuario brinda alguna clase de apoyo para el adecuamiento de la planta del acueducto veredal?.....	28
Figura 8. ¿Sabe usted cuáles son los beneficios de consumir agua potable?	29
Figura 9. ¿Estaría dispuesto a dar un aporte económico para mejorar el acueducto y con esto tener mejor calidad de vida?.....	29
Figura 10. ¿Cree usted que se debería capacitar a los operadores de la planta y a la comunidad respecto a temas de calidad del agua?	30
Figura 11. Reunión con la comunidad para realizar la encuesta	31
Figura 12. Reunión con la comunidad.....	31
Figura 13. Comunidad contestando la encuesta	32
Figura 14. Vista en planta de la planta de tratamiento actual.....	33
Figura 15. Presentación de las alternativas a la comunidad	35
Figura 16. Explicación de la PTAP convencional.....	35
Figura 17. Explicación de la PTAP FiME.....	36
Figura 18. Explicación de la PTAP compacta.....	36
Figura 19. Sistema o planta convencionales.....	39

Figura 20. Ejemplo de una unidad potabilizadora compacta.....	42
Figura 21. Tecnología de filtración en múltiples etapas.....	44
Figura 22. Curva de caudales proyectados	59
Figura 23. Esquema del tratamiento propuesto	60
Figura 24. Dosificador de cabeza constante	77
Figura 25. Vista en planta sistema de tratamiento.....	82
Figura 26. Vista frontal del sistema de tratamiento.....	83
Figura 27. Detalle interno del sistema de tratamiento.....	84
Figura 28. Detalle de componentes del sistema de tratamiento	85

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo A. Anteproyecto	95
Anexo B. Evidencia fotográfica de exposición y presentación a los representantes de la comunidad del estado actual de la planta de tratamiento y de las tecnologías a implementar	128
Anexo C. Encuesta realizada a la comunidad.....	132
Anexo D. Planos de la sección #1 y sección #2	132
Anexo E. Hojas de cálculo para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable compacta.....	133

Resumen

Propuesta técnico social de optimización del tren de tratamiento del acueducto veredal La Revuelta Aclare en Cite, Santander.

En la actualidad en gran parte de las regiones rurales del departamento de Santander se cuenta con sistemas de plantas de tratamiento para el suministro de agua potable a sus habitantes, pero en algunos casos dichas plantas no satisfacen las necesidades y las demandas de los usuarios debido a problemas en la distribución y el almacenamiento del líquido, así como el deterioro de sus componentes, tuberías y tanques de almacenamiento o dificultades en la cobertura. En este sentido, en el acueducto veredal La Revuelta Aclare en el corregimiento de Cite (Santander) se realizó la evaluación de tres tecnologías de tratamiento, una planta de tratamiento convencional, una planta de tratamiento compacta y una FiME con el fin de poder determinar cuál es la más adecuada, permitiendo a la comunidad tomar la decisión de cual tecnología permite a el acueducto suministrar agua apta para consumo humano, dejando como herramienta el prediseño y los planos de esta tecnología, que busca eliminar los riesgos a los que actualmente están expuestos por el consumo de esta agua.

Como ya se ha demostrado que actualmente el agua que está siendo suministrada por el acueducto no es agua apta para consumo humano, debido al incumplimiento de diversos factores entre ellos, el incumplimiento con los valores máximos permitidos para las características físico, químicas y microbiológicas estipuladas en la resolución 2115/2007, se hace evidente que deben implementar en el menor tiempo posible una optimización del tren de tratamiento para que puedan evitar que a futuro los suscriptores al acueducto sufran de enfermedades causadas por agua no apta para el consumo.

En consecuencia, este documento tuvo como objetivo realizar una propuesta de optimización del tren de tratamiento para el acueducto veredal La Revuelta Aclare en Cite – Santander. Para tal fin, desde la innovación científica, social y tecnológica para el desarrollo sostenible, se implementó un enfoque metodológico descriptivo representando la información recopilada de manera cualitativa como cuantitativa de manera organizada, con herramientas visuales y

explicativas para presentar a detalle la información necesaria y determinar la mejor propuesta de optimización.

Como resultado de esta investigación se logró realizar el prediseño de la tecnología de tratamiento de una planta tipo compacta para la optimización, esta tecnología fue seleccionada por la comunidad del acueducto veredal La Revuelta Aclare contando con la motivación y apoyo de la comunidad de la región como la más conveniente de acuerdo a su factibilidad, economía y eficiencia.

Palabras claves: Acueducto, Agua, veredal, Optimización, Tratamiento, Calidad de agua.

Abstract

Technical-social proposal for the optimization of the treatment train of the La Revuelta Aclare aqueduct in Cite, Santander.

At present, in a large part of the rural regions of the department of Santander, there are treatment plant systems for the supply of drinking water to its inhabitants, but in some cases these plants do not satisfy the needs and demands of the users due to problems in the distribution and storage of the liquid, as well as the deterioration of its components, pipes and storage tanks or difficulties in coverage. In this sense, in the La Revuelta Aclare village aqueduct in the township of Cite (Santander) an evaluation of three treatment technologies was carried out: a conventional treatment plant, a compact treatment plant and a FiME in order to determine which is the most appropriate, allowing the community to decide which technology allows the aqueduct to supply water suitable for human consumption, leaving as a tool the pre-design and plans of this technology, which seeks to eliminate the risks to which they are currently exposed by consumption of this water.

As it has already been shown that currently the water that is being supplied by the aqueduct is not suitable for human consumption, due to the non-compliance of various factors, including non-compliance with the maximum values allowed for the physical, chemical and microbiological characteristics stipulated in Resolution 2115/2007, it becomes evident that optimization of the treatment train must be implemented in the shortest possible time so that they can prevent future subscribers to the aqueduct from suffering from diseases caused by water that is not suitable for consumption.

Consequently, this document had the objective of making a proposal for the optimization of the treatment train for the La Revuelta Aclare village aqueduct in Cite - Santander. To this end, from scientific, social and technological innovation for sustainable development, a descriptive methodological approach was implemented, representing the information collected in a qualitative and quantitative manner in an organized manner, with visual and explanatory

tools to present the necessary information in detail and determine the best optimization proposal.

As a result of this investigation, it was possible to carry out the pre-design of the treatment technology of a compact type plant for optimization, this technology was selected by the community of the La Revuelta Aclare village aqueduct with the motivation and support of the community of the region as the most convenient according to its feasibility, economy and efficiency.

Keywords: Aqueduct, Water, Rural, Optimization, Treatment, Water quality.

Introducción

La gestión adecuada de los recursos hídricos se ha convertido en un tema importante en las agendas globales, como motor del desarrollo comunitario, los recursos hídricos han estado bajo una presión cada vez mayor debido al estrés hídrico, el cambio climático global, la dinámica cambiante de la población y la sustancial brecha económica, logística y operativa entre las zonas urbanas y rurales. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), dos mil millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera adecuada (Roldán, 2016); por esta razón, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) reiteró la necesidad de lograr el acceso universal y equitativo al agua potable segura y asequible para todos, como se indica en el objetivo seis agua limpia y saneamiento, su meta 6.1. (De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos) este objetivo debe centrarse, principalmente, en las comunidades más pobres y vulnerables (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

Es importante señalar que el tratamiento del agua, independientemente de su origen, responde a la necesidad de ajustar sus características físico-químicas y biológicas a valores o rangos establecidos por la legislación nacional, para hacerla apta para el consumo humano. La selección de los procesos unitarios adecuados y su integración en una planta de tratamiento de aguas implica la consideración de los siguientes factores: (1) calidad del agua de origen, (2) cumplimiento de la normativa, (3) fiabilidad y flexibilidad del proceso, (4) construcción inicial y costes anuales de explotación y mantenimiento, (5) impacto ambiental, (6) espacio disponible y, por último, (7) requisitos de gestión de residuos y limitaciones del emplazamiento, a pesar de los avances en el tratamiento del agua, el acceso al agua potable en las zonas rurales es mínimo en la cobertura; esto se debe a la dispersión de la población, que genera limitaciones técnicas y económicas en la interconexión con las redes de suministro de agua. La predilección por sistemas de tratamiento convencionales son una opción para resolver estas problemáticas, sin embargo, el abandono de los sistemas de tratamiento debido a la falta de apoyo por parte de la administración municipal y entes territoriales agravan este problema (Rojas, 2002).

La gestión rural del agua en Colombia trata de la puesta en común discrecional de recursos y la combinación de esfuerzos para lograr beneficios comunes, lo que implica que los suministros básicos de agua son desarrollados por las propias comunidades rurales, a través de la participación conjunta (Bernal, Rivas y Peña, 2014). En el corazón de la gestión comunitaria está la idea de que las comunidades están a cargo de su propio desarrollo, en Colombia hay 12.000 casos de este tipo de gestión que mejoran el abastecimiento de agua para más de 7 millones de personas, sugieren que estas 12.000 organizaciones comunitarias son responsables de aproximadamente el 90% del abastecimiento de agua rural en Colombia (Bernal et al., 2014).

Los programas comunitarios de gestión del agua son la opción más beneficiosa para la gestión del agua en las zonas rurales de Colombia, ya que garantizan que los conocimientos pertinentes se compartan con la comunidad, esto significa que pueden continuar operando sus propios sistemas durante los años venideros y también han destacado los beneficios asociados a este modelo de gestión del agua para las comunidades rurales, afirman que es el modelo más sostenible (Cárdenas, 2012).

En Colombia los municipios son responsables de garantizar el acceso al agua en las zonas rurales, la Ley 142/94 de Servicios Públicos del país establece que los municipios están obligados a controlar el suministro local de agua, pero que a los proveedores de servicios comunitarios que suelen ser proveedores a pequeña escala son a quienes se les encomienda (Bernal, 2014). Al evaluar las instalaciones de tratamiento de agua potable del acueducto veredal La Revuelta Aclare ubicado en la vereda la Palma, se puede determinar que, para ser sostenibles a largo plazo, el tren de tratamiento necesita mejoras significativas o una adaptación sustancial a un tipo alternativo de tecnología de tratamiento que mejore las capacidades de operación, mantenimiento, gestión y recursos de las comunidades locales, enfocadas en el mejoramiento de la calidad del agua, respecto a sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y a su vez, cumpla con lo establecido en la normativa nacional, como lo es lo estipulado en la Resolución 2115/2007 (Clavijo, 2022).

El cuerpo hídrico que abastece el acueducto veredal La Revuelta Aclare antes de ingresar a la planta de tratamiento está expuesta a problemas de contaminación principalmente por actividades agropecuarias, por lo tanto, el sistema debe ser eficiente en remover agentes contaminantes como nutrientes, sólidos suspendidos totales y color, para garantizar agua apta

para consumo. Cómo se determinó en la evaluación de la calidad del agua de este acueducto (Clavijo, 2022). Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el presente proyecto de grado tiene como fin proponer una optimización al tren del tratamiento actual para mejorar la calidad del agua que suministra a los usuarios del acueducto veredal.

Para lograr lo propuesto, se implementa un enfoque metodológico descriptivo representando la información recopilada de manera cualitativa como cuantitativa. Para dar cumplimiento con cada uno de los objetivos específicos establecidos en este documento. Estos objetivos se distribuyen por capítulos: en el primer capítulo se realiza una evaluación de las tecnologías de tratamiento para el mejoramiento del tren de tratamiento actual del acueducto veredal La Revuelta Aclare; En el segundo capítulo se realiza la selección participativa con la comunidad de una tecnología de tratamiento que mejore el tren de tratamiento actual de la planta del acueducto en cuestión y en el capítulo tres se efectúa el prediseño de la tecnología de tratamiento para la optimización seleccionada por la comunidad del acueducto veredal objeto de estudio.

Evaluación de las tecnologías de tratamiento para el mejoramiento del tren de tratamiento actual del acueducto veredal La Revuelta Aclare

La calidad del agua es un aspecto importante en la actualidad, sobre todo cuando esta es destinada para el consumo humano, existiendo diversos procesos para su potabilización e incluso la normatividad ambiental colombiana es sólida en lo que respecta a este tema; sin embargo se evidencian falencias en cuanto a la manera de potabilizar el agua en diferentes aspectos, es decir en algunos casos los problemas son directamente de infraestructura y en otros casos obedece a que la metodología aplicada no satisface las necesidades requeridas por la población (Loaiza, 2018).

El objetivo de Desarrollo Sostenible número 6, agua limpia y saneamiento de las Naciones Unidas busca proporcionar acceso a agua potable segura y limpia. Para lograrlo los proveedores utilizan una variedad de procesos de tratamiento para eliminar los contaminantes que tienen los cuerpos hídricos naturales, estos procesos individuales pueden organizarse en un “tren de tratamiento” (una serie de procesos aplicados en secuencia), donde los procesos más utilizados incluyen filtración, floculación, sedimentación y desinfección, algunos trenes de tratamiento también incluyen intercambio iónico y adsorción (Piri y Amirian, 2010).

Diagnóstico integral con participación comunitaria

En el caso de la comunidad que habita la vereda La Palma se identificó un problema relacionado con el suministro de agua potable, debido a que el acueducto municipal no logra tener cobertura hasta las zonas rurales aledañas, como consecuencia de la falta de cobertura y con el fin de desarrollar sus actividades diarias, la comunidad toma la decisión de captar agua de un afloramiento cercano a la vereda, construyendo ellos mismos de manera empírica sin ningún apoyo técnico unidades de tratamiento que les permita tener acceso a agua segura.

En el trascurso del tiempo desde la construcción del tren de tratamiento las características fisicoquímicas y microbiológica han variado, siendo cada vez más exigente el tratamiento que necesita el agua para categorizarla en un rango de 0% al 5% indicando que es apta para consumo humano según el IRCA, debido a esto las siguientes administraciones del acueducto veredal La Revuelta Aclare generaron cambios en las unidades de tratamiento para

“optimizarlas” y de esta manera mejorar la remoción de parámetros como el color y la turbiedad que son los parámetros que ellos más identifican, pero a falta de un conocimiento técnico ocasionan que el tren de tratamiento no tenga la secuencia lógica para remover los agentes contaminantes.

Teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente, durante el año 2022, lo que lleva del año 2023 y buscando apoyar a la comunidad de la vereda La Palma, se desarrolló un trabajo conjunto autor-comunidad, dividido en dos componentes: el primero la evaluación de la calidad del agua en la planta de tratamiento del acueducto veredal La Revuelta Aclare, presentado por la autora como trabajo de grado en el año 2022, donde se encontró la falta de cumplimiento con los parámetros de diseño en las unidades de tratamiento como en la filtración, sedimentación y desinfección estipulados por las Resoluciones 0330/2017 con actualización en la resolución 799/2021, donde reglamentan los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto. Al mismo tiempo, se tomó como referencia el artículo de los autores Pérez, Escobar y Torres (2018) titulado “Evaluación del riesgo en procesos de tratamiento de agua para el desarrollo de un Plan de Seguridad del Agua – PSA”, el cual plantea una metodología para desarrollar una matriz de riesgo semicuantitativa para estimar el nivel de riesgo que ocasionan parámetros como Color aparente, Turbiedad, Nitritos, Manganeso, Cloro Residual, Coliformes totales y E. coli, parámetros que no cumple con el valor máximo permisible en la Resolución 2115/2007, es decir, tienen concepto no aceptable siendo no apta para consumo humano (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Resolución 2115, 2007), ocasionando un posible daño en la salud a los usuarios al consumir esta agua contaminada.

De acuerdo a lo anterior, se hace necesario la optimización de las unidades de tratamiento del acueducto veredal La Revuelta Aclare, siendo el segundo componente a desarrollar en el presente proyecto, teniendo como referente la Guía Técnica Colombiana, selección de alternativas de abastecimiento y tratamiento de agua para consumo humano en zona rural NTC 603 T del ICONTEC, la cual es una herramienta para orientar los procesos de selección de alternativas de abastecimiento y tratamiento de agua para consumo humano permitiendo ser aplicada a proyectos en zonas rurales dispersas que quieran mejorar el acceso a agua apta para el consumo humano, donde se categoriza un hogar por cada vivienda y a su

vez cada vivienda está conformada por cinco personas buscando que tengan la posibilidad de desarrollarse socioeconómicamente con la continuidad de sus actividades diarias, en los diferentes ámbitos laborales, educativos y/o entornos (NTC 603, 2018).

La Propuesta técnico social de optimización del tren de tratamiento del acueducto veredal La Revuelta Aclare, se desarrolló con el fin de dar continuidad al trabajo de grado denominado “Evaluación de la Calidad del Agua en la Planta de Tratamiento del Acueducto Veredal La Revuelta Aclare en el Corregimiento de Cite, Santander”, desarrollado por la autora del presente proyecto para optar al título de ingeniera ambiental. Como punto de partida se utilizó el tercer capítulo “Propuestas de mejoramiento” del documento mencionado anteriormente, donde se estipuló que a largo plazo se pueden implementar tres tecnologías de tratamiento, compuestas por una planta de tratamiento convencional siendo esta la alternativa más utilizada por los acueductos para la potabilización del agua, una planta de tratamiento compacta porque es una alternativa que requiere menor disponibilidad de espacio para su instalación, corto tiempo de fabricación, menor inversión económica o un sistema de filtración en múltiples etapas ya que es una alternativa no convencional que se utiliza para poblaciones rurales o comunidades pequeñas, estas alternativas presentadas pueden ayudar para el mejoramiento de la calidad del agua en el acueducto veredal La Revuelta Aclare, dejando claro que se debe realizar la evaluación y determinación de que tecnología es la más conveniente para realizar el proceso de optimización de esta planta (Clavijo, 2022). A continuación, se desglosa la información recolectada que permitió evidenciar la percepción de la comunidad frente al acueducto que les suministra agua hasta sus hogares.

Encuesta panorama de la percepción de la comunidad

De acuerdo a la norma técnica colombiana 603 del 2018 en el diagnóstico integral se incluyen tres aspectos para tener en cuenta: las necesidades, los factores de riesgo y las potencialidades en materia de agua, higiene y saneamiento en el área de influencia del proyecto (ICONTEC, 2018), en este caso, en el acueducto veredal La Revuelta Aclare ubicado en la vereda La Palma. El diagnóstico en la región arrojó los siguientes resultados:

Necesidades: el agua suministrada a los usuarios puede estar generando un riesgo alto en la salud ya que el tren de tratamiento no tiene la capacidad para remover los agentes contaminantes necesarios, para garantizar el suministro de agua apta para consumo humano.

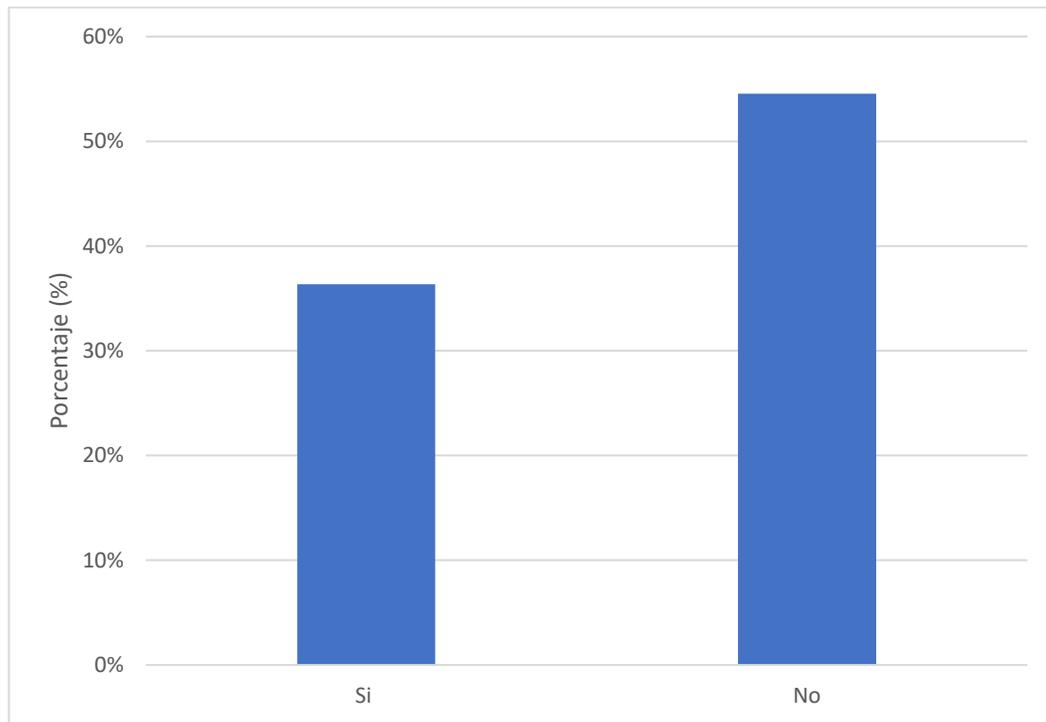
Factores de riesgo: actividades antrópicas y agropecuarias aguas arriba de la fuente de abastecimiento.

Potencialidades: cuenta con dos afloramientos que llegan del humedal Manas de manera subterránea como punto de origen de abastecimiento, además el apoyo de la comunidad es de gran importancia a la hora de implementar tecnologías de tratamiento, esto se traduce en que la comunidad y personas interesadas logren aprender el desarrollo de las técnicas para el tratamiento del agua, dando cumplimiento con lo establecido en la Resolución 844 del 2018 y a la Resolución 0330 del 2017 (Clavijo, 2022).

Para el desarrollo del presente proyecto se aplicó una encuesta donde se invitó a los 55 suscriptores del acueducto veredal La Revuelta Aclare, donde participaron 11 suscriptores, quienes actuaron en representación de toda la comunidad de la vereda debido a la disponibilidad de tiempo y cercanía del punto de encuentro, ubicada en el corregimiento de Cite, Santander. Lo anterior se realizó con el fin de involucrar a la comunidad respecto a la problemática que presenta sobre la baja calidad del agua que llega a sus viviendas y la necesidad de mejorar el acueducto para su beneficio (Ver Anexo C), obteniendo los siguientes resultados.

Figura 1

¿Cree usted que la calidad de agua que ofrece la planta de tratamiento del acueducto es buena?

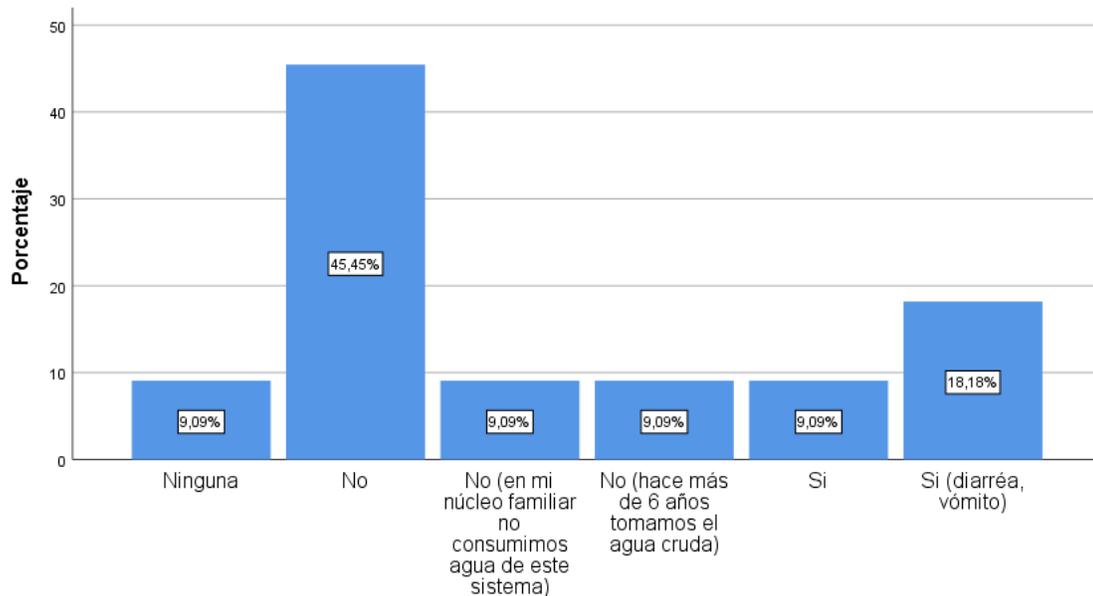


Fuente: Encuesta aplicada a la comunidad de estudio, 2022.

Una vez sintetizados los resultados de las encuestas realizadas se puede observar que de acuerdo a la pregunta número 1, se establece que el 36,36% de los participantes de la encuesta manifestó que la planta de tratamiento sí ofrece buena calidad del agua, mientras que el 63,64% de los encuestados declaró no estar de acuerdo con el estado actual de la calidad del agua, considerando que no existe un tratamiento o que es muy deficiente, suministrado un agua sucia (Turbia o con color).

Figura 2

¿Usted o su familia ha sufrido enfermedades diarreicas o dolencias gastrointestinales al consumir agua de la planta de tratamiento del acueducto?

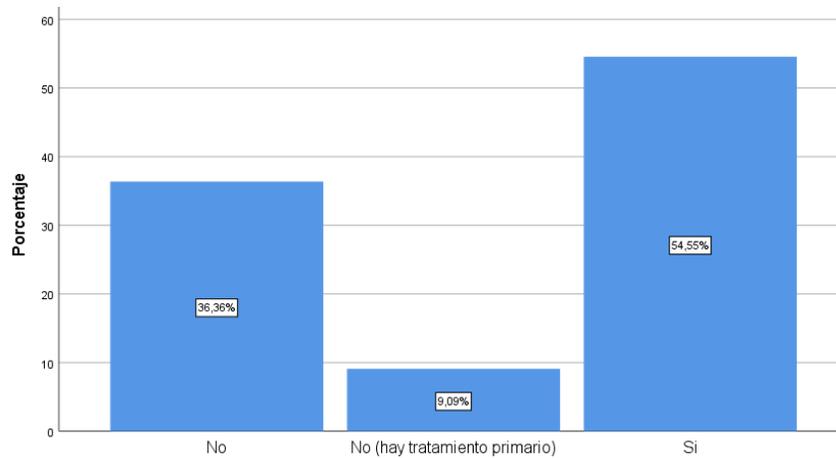


Fuente: Encuesta aplicada a la comunidad de estudio, 2022.

Para la pregunta numero dos se puede observar una relación directamente proporcional con la pregunta número 1, ya que al tener un porcentaje mayor que manifiesta que el agua es de mala calidad también se ha presentado algunas molestias o enfermedades relacionadas con vomito o diarrea en un 73%, que puede deberse a microorganismos presentes en el agua que no son removidos por el proceso de cloración de manera eficiente.

Figura 3

¿Conoce el sistema de la planta de tratamiento del acueducto veredal que le suministra agua?

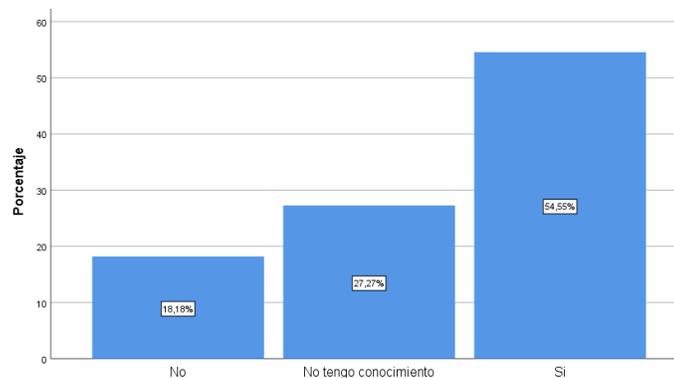


Fuente: Encuesta aplicada a la comunidad de estudio, 2022.

Uno de los componentes fundamentales en un sistema de acueducto es la participación de sus usuarios para tener un control y un trabajo en conjunto para una mejora continua, lo que se quiere mostrar con la pregunta número 3 donde el 55% de los usuarios conocen como está conformado y el funcionamiento de la planta de tratamiento que abastece agua a sus hogares, y el 36% no está involucrado en el desarrollo de este sistema.

Figura 4

¿Cree usted que la infraestructura del acueducto veredal se encuentra en buen estado en este momento?

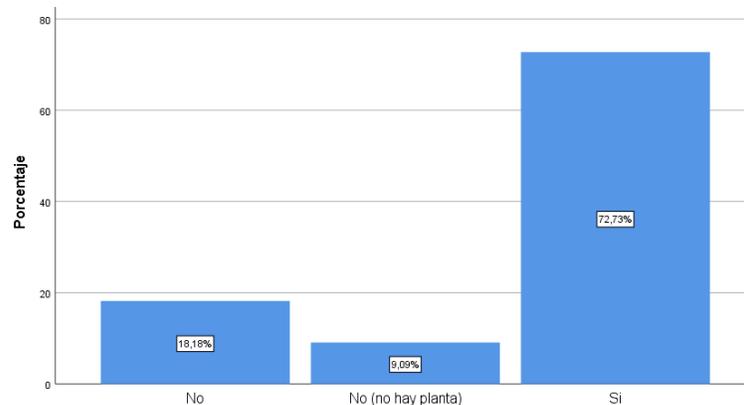


Fuente: Encuesta aplicada a la comunidad de estudio, 2022.

Con la pregunta número 4 el mismo porcentaje que conoce el sistema del acueducto manifiesta que se encuentra en mal estado actualmente por la falta de conocimiento técnico, una inadecuada operación y mantenimiento. Donde el 73% de los participantes consideran que es necesario realizar una mejora y optimización del sistema para mejorar la calidad del agua.

Figura 5

¿Cree usted que es importante hacerle una mejora a la planta de tratamiento del acueducto veredal que se tiene en el momento?

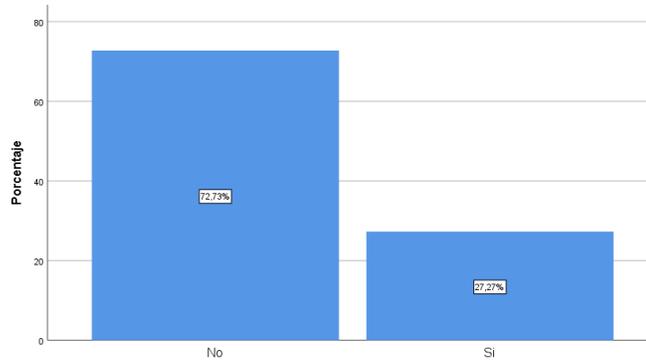


Fuente: Encuesta aplicada a la comunidad de estudio, 2022.

Con esta pregunta se quiso determinar la opinión de los habitantes respecto a una mejora del sistema que actualmente les suministra agua hasta sus hogares, como se muestra en la gráfica el porcentaje más alto considera que si es de gran importancia realizar una mejora dando relación también a que este mismo porcentaje dice que el agua que llega no es apta para consumo.

Figura 6

¿Ha visto participación de las entidades municipales para apoyar el adecuado funcionamiento del acueducto veredal?

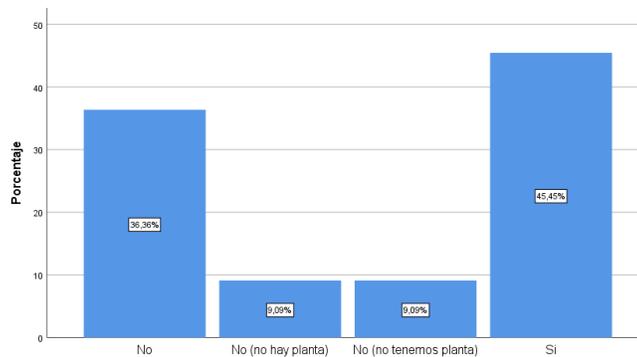


Fuente: Encuesta aplicada a la comunidad de estudio, 2022.

Para la formación de los acueductos veredales es necesario la articulación con entes territoriales como las alcaldías, corporaciones autónomas, regionales y empresas prestadoras de servicio, ya que aquellas comunidades no cuenta con los recursos para tener un sistema formalizado que garantice un control y vigilancia en el suministro de agua, como en el caso de Cite Santander debido a la falta de dicha articulación se ven acueductos “ilegales” o formalmente no registrados ante la superintendencia de servicios públicos domiciliarios, por tanto se evidencia por medio de la pregunta número 6 que el 73% de los encuetados expresa no ver un apoyo por estos entes territoriales.

Figura 7.

¿Usted como usuario brinda alguna clase de apoyo para el adecuamiento de la planta del acueducto veredal?

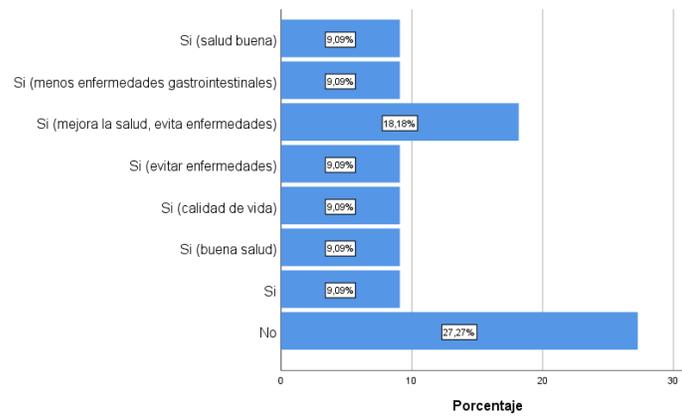


Fuente: Encuesta aplicada a la comunidad de estudio, 2022.

De acuerdo a la pregunta número 7 solo el 45% de los encuestados brindan un apoyo para mejorar el sistema de tratamiento del acueducto veredal La Revuelta Aclare, donde el otro 55% se mantiene al margen, pero el 73% de ellos estarías dispuesto a realizar un aporte económico para la optimización de acueducto y obtener una mejor en la calidad del agua.

Figura 8

¿Sabe usted cuáles son los beneficios de consumir agua potable?

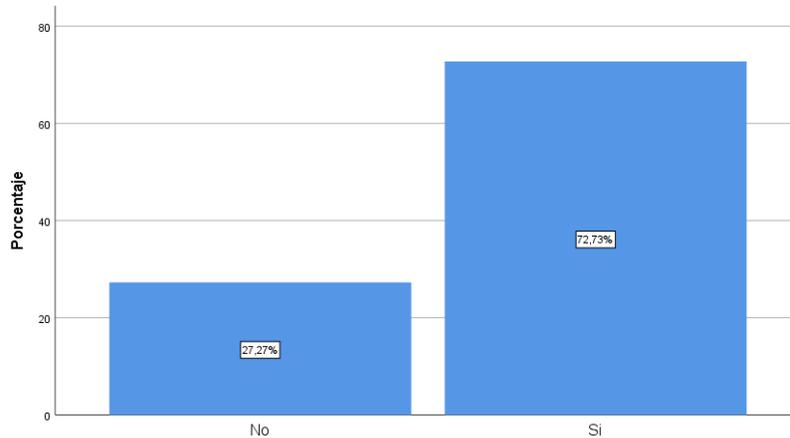


Fuente: Encuesta aplicada a la comunidad de estudio, 2022.

El consumo de agua potable permite a una comunidad tener acceso a un recurso importante para el desarrollo de sus actividades diarias, pero existen poblaciones que tiene acceso a una única fuente de abastecimiento que puede ir disminuyendo su calidad en el servicio, al no tener una fuente alterna no conocen los beneficios de consumir agua potable como se manifiesta en la pregunta número 8 con un porcentaje del 73%.

Figura 9

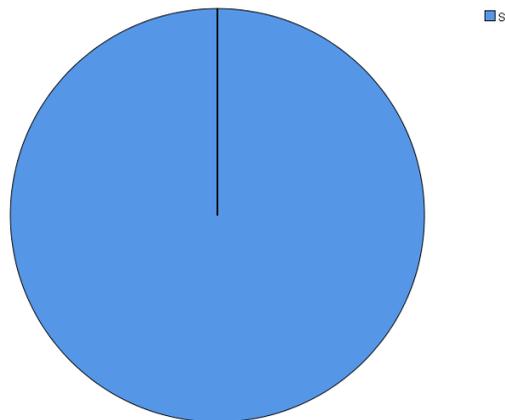
¿Estaría dispuesto a dar un aporte económico para mejorar el acueducto y con esto tener mejor calidad de vida?



Fuente: Encuesta aplicada a la comunidad de estudio, 2022.

Figura 10

¿Cree usted que se debería capacitar a los operadores de la planta y a la comunidad respecto a temas de calidad del agua?



Fuente: Encuesta aplicada a la comunidad de estudio, 2022.

El aspecto más importante para el correcto funcionamiento de una planta de tratamiento de agua potable es la operación y el mantenimiento, ya que se tiene un control del estado de la infraestructura y del comportamiento hidráulico, para ello es importante que el personal a cargo de la planta tenga los conocimientos técnicos para una correcta operación, manipulación y manejo de la planta, así como lo manifestaron todos los encuestados.

La provisión de servicios de agua potable y saneamiento básico es un reto que enfrentan los gobiernos nacional, departamental y municipal en Colombia por su impacto

directo en la salud de la población y los efectos en términos económicos y sociales, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) las inversiones en agua y saneamiento generan beneficios económicos importantes, entre ellos, un aumento estimado del 1,5 % en el producto interno bruto (PIB) mundial y un retorno de US\$ 4,3 por cada dólar gastado en estos servicios, lo cual refleja la reducción de los costos sanitarios para las familias y el aumento de la productividad (Moreno, 2020).

Figura 11

Reunión con la comunidad para realizar la encuesta



Fuente: Autor de investigación.

Figura 12

Reunión con la comunidad



Fuente: Autor de investigación.

Figura 13

Comunidad contestando la encuesta



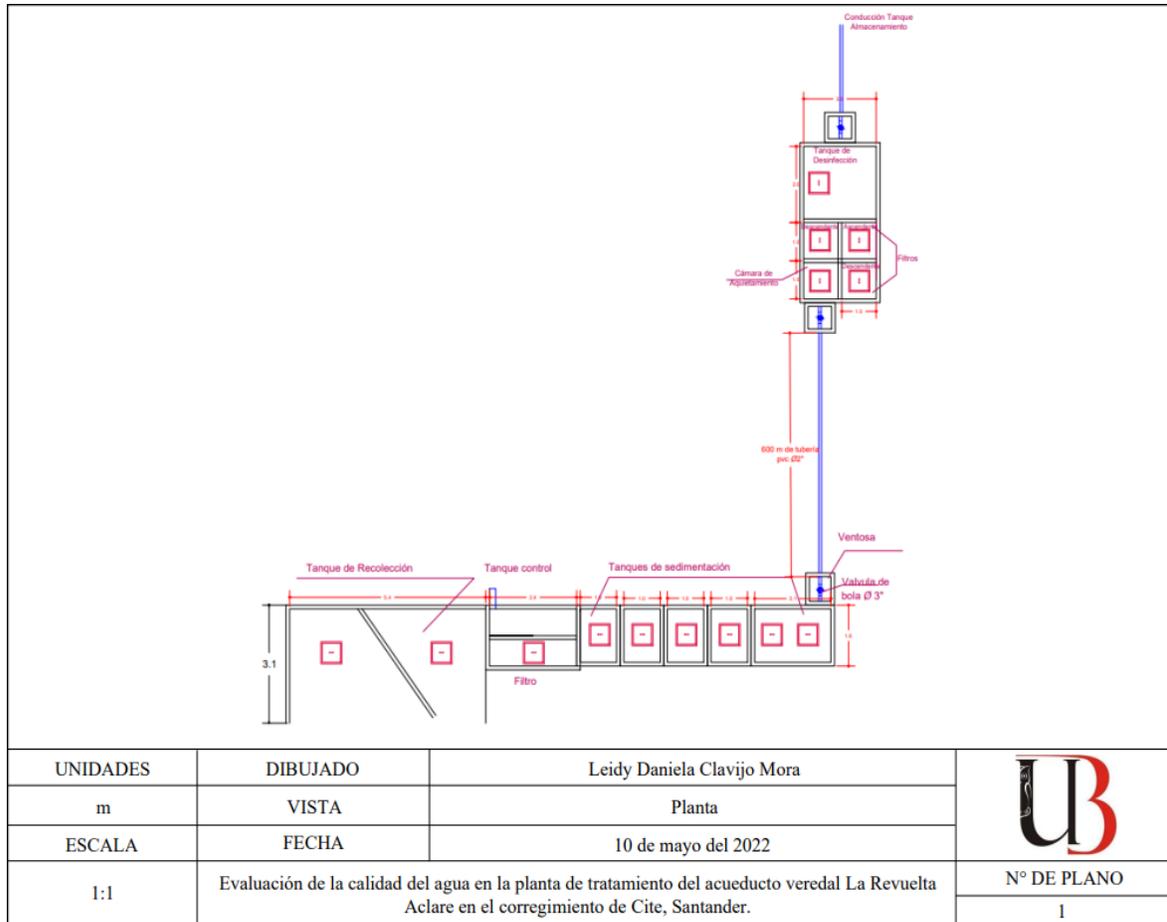
Fuente: Autor de investigación

De acuerdo a los resultados de las encuestas realizadas a los usuarios del acueducto, ubicado en el corregimiento de Cite, Santander, se determinó que esta población tiene acceso a agua cruda aun así después de pasar por el tratamiento actual, el cual está conformado por

cuatro tanques de sedimentación, tres filtros y un tanque de desinfección como se muestra a continuación (ver figura 14 y anexo D).

Figura 14

Vista en planta de la planta de tratamiento actual



Fuente: Autor de investigación

A pesar de las unidades de tratamiento con las que cuenta actualmente el acueducto para la potabilización del agua, al realizar la evaluación de la calidad agua se determina que no es eficiente para remover agentes contaminantes, ya que se evidencian las siguientes concentraciones.

Tabla 1*Resultados de los parámetros analizados según la resolución 2115/2007*

Parámetros físicos, químicos y microbiológicos					
Parámetro	Valor	Unidades	Valor máximo aceptable por la Rs 2115/2007	Unidad	Concepto establecido en la resolución
Color aparente	161	UPC	15	UPC	No aceptable
Turbiedad	14.35	NTU	2	NTU	No aceptable
Nitritos	18.5	mg/L NO ₂	10	mg/L NO ₂	No aceptable
Manganeso	0.1	mg/L Mn	0.1	mg/L Mn	No aceptable
Cloro residual	0.13	mg/L Cl ₂	0.3 – 2	mg/L Cl ₂	No aceptable
Coliformes totales	3.6	UFC/100cm ³	0	UFC/100cm ³	No aceptable
E. Coli	2.2	UFC/100cm ³	0	UFC/100cm ³	No aceptable

Fuente: Clavijo, L. (2022). *Evaluación de la Calidad del Agua en la Planta de Tratamiento del Acueducto Veredal La Revuelta Aclare en el Corregimiento de Cite, Santander*. (Trabajo de grado, Universidad de Boyacá).

Estos parámetros exceden los valores máximos permisibles según la resolución 2115/2007 la cual permite determinar que el agua no es apta para consumo humano, por lo tanto, en la segunda reunión que se realizó el día 27 de noviembre del 2022 con la comunidad se presentó ante ellos las tres alternativas propuestas en el documento “Evaluación de la Calidad del Agua en la Planta de Tratamiento del Acueducto Veredal La Revuelta Aclare en el Corregimiento de Cite, Santander”, desarrollado por la autora del presente proyecto, donde se presentó a la comunidad los componentes de cada una, los costos, la operación y el mantenimiento, abriendo el debate de cual alternativa sería la mejor opción para optimizar el tren de tratamiento por el que pasa el agua proveniente del cuerpo hídrico “Manas” garantizando una buena calidad y evitando afectaciones en la salud de los usuarios.

Figura 15

Presentación de las alternativas a la comunidad



Fuente: Autor de investigación.

Figura 16

Explicación de la PTAP convencional



Fuente: Autor de investigación.

Figura 17

Explicación de la PTAP FiME



Fuente: Autor de investigación.

Figura 18

Explicación de la PTAP compacta



Fuente: Autor de investigación.

Selección de la tecnología de tratamiento más adecuada para el mejoramiento del tren de tratamiento participativamente con la comunidad

Como solución integral a las necesidades de las comunidades rurales, entidades u organizaciones como la OPS/OMS, CEPIS, BID que han apostado a la implementación de técnicas no convencionales sostenibles de la mano con la gestión comunitaria, debido a que las soluciones tradicionales usualmente se hacen complejas, al requerir cierta cantidad de población para su ejecución, altos costos de inversión y mantenimiento, teniendo en cuenta los recursos disponibles en la zona, la interacción de factores físicos, económicos, gubernamentales, sociales y de las condiciones medio ambientales encontradas, se han planteado alternativas de tal manera que estas, se visualicen como servicios asequibles, permanentes y eficientes, que brinden una garantía durante la vida de los sistemas, así como la calidad de acuerdo a las exigencias ambientales de salud, normatividad vigente y que se acople a las condiciones: ambientales, socio-culturales, económicas y técnicas, presentes en determinada comunidad (Muñoz, Castro y Mouthon, 2017).

Para la participación de la comunidad se realizaron dos reuniones, donde se citaron a los usuarios del acueducto veredal La Revuelta Aclare con el fin de explicar los fundamentos teóricos por medio de ilustraciones de cada una de las posibles tecnologías de tratamiento a implementar para el mejoramiento del tren de tratamiento del acueducto y así, en conjunto con la comunidad definir el tipo de tratamiento más adecuado y pertinente teniendo en cuenta aspectos económicos (costos de implementación, operación y mantenimiento), técnicos (factibilidad y eficiencia) y ambientales (condiciones locales). Lo anteriormente mencionado es la base para proponer un sistema de tratamiento que contribuya al mejoramiento de la calidad del agua que consume la comunidad.

Teniendo en cuenta el contexto en el que se desarrolla el presente proyecto de investigación, se presentan tres tipos de tecnologías de tratamiento que a criterio de investigador y basándose en los lineamientos establecidos en la resolución 0330/2017 artículo 13 formulación y análisis de alternativas de proyecto y artículo 14 comparación de alternativas y selección de alternativa viable, donde se estipulan criterios a tener en cuenta para un proyecto de optimización en agua potable y saneamiento básico según la factibilidad, efectividad, economía, técnico, aceptación social y sostenibilidad las cuales para el

mejoramiento del tren de tratamiento actual del acueducto veredal La Revuelta Aclare, se plantean que las alternativas de tratamiento son: una planta de tratamiento de agua potable convencional, un sistema de filtración en múltiples etapas (FIME) y una planta compacta, dichas alternativas fueron expuestas ante los usuarios en un trabajo social en conjunto con la comunidad y el líder de la junta comunal, dando a conocer las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas, partiendo de la necesidad de garantizar un agua apta para el consumo humano y el cumplimiento con la normativa colombiana vigente como el decreto 2115 del 2007, la resolución 0330 del 2017 y el decreto 1076 del 2015. A continuación, se desglosa la información y funcionamiento de las alternativas propuestas.

Tecnología de tratamiento sistema o planta convencionales

Una planta de tratamiento de agua potable es un conjunto de obras, equipos, materiales y personal necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable, este tipo de plantas de tratamiento consta de unidades de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, tal como se muestra en la figura número 19, las cuales dependiendo de la calidad del agua del afluente, cada unidad puede optimizarse para lograr el efluente con la calidad del agua deseada, tanto en las etapas de diseño como de operación, para ello es necesaria la comprensión de la naturaleza física y química del agua a tratar con el fin de obtener un agua tratada de alta calidad constante de forma continua (ver figura 19) (Piri, Homayoonnezhad y Amirian, 2010).

Figura 19

Sistema o planta convencionales



Fuente: Arenas, A. y Londoño, H. (2017). *Diseño de un sistema automatizado para una planta de tratamiento de agua potable*. (Trabajo de grado, Instituto tecnológico metropolitano). Institutional repository ITM. <http://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/107>

Como se muestra en la figura anterior este tipo de tratamiento convencional tiene una secuencia lógica que garantiza la remoción de manera eficiente de los parámetros que disminuyen la calidad del agua, a continuación, se describe cada uno de ellos.

Aireación

La aireación en la purificación y tratamiento de aguas se entiende por el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire, proceso conocido químicamente como oxidación, el oxígeno atmosférico que se lleva el agua a través de la aireación reacciona con los compuestos disueltos de hierro y manganeso convirtiéndolos en hidratos óxidos férricos y mangánicos insolubles; en las bandejas de dirección generalmente se encuentra carbón coque que actúa en forma de filtro estos óxidos se adhieren a la superficie del Carbón Coque formando una película biológica la que se encarga de la remoción de los mismos y a su vez elimina los malos olores (Chaves, 2018).

Coagulación

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades hidráulicas y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible con el fin de remover turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente, remover color verdadero y aparente, eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación y destrucción de algas y plancton en general (Restrepo, 2009).

Floculación

La floculación consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico, los objetivos básicos de la floculación son reunir micro flóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración (Restrepo, 2009).

Sedimentación

La sedimentación como un proceso físico, que consiste en la separación de las partículas suspendidas con un peso específico mayor al del agua mediante la acción de la gravedad es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de agua potable, este proceso se da en los tanques de decantación o sedimentación primaria habitualmente después de que al agua se le realiza un tratamiento físico-químico como la coagulación-floculación, aquí se puede presentar la sedimentación floculenta en la que las partículas no actúan como partículas discretas si no que se agregan a medida que se van sedimentando,

aumentando la masa de las partículas, crecen los flóculos y aumenta la velocidad de sedimentación (Gomez y Manrique, 2016).

Filtración

La filtración de medios granulares, como se aplica al tratamiento de agua, es el paso de agua a través de un medio granular poroso para eliminar los sólidos suspendidos, De manera general, se considera que la filtración es el resultado de mecanismos de transporte y adherencia; las partículas a remover son transportadas desde la suspensión hasta la superficie de los granos del medio filtrante y permanecen adheridas mientras resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento a causa de las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento (Grueso, 2021).

Desinfección

El proceso de desinfección permite remover una cantidad importante de microorganismos con riesgo potencial para la salud humana, el cloro es el desinfectante más destacado debido a su efectividad, aunque el ozono permite la formación de burbujas que generan daños en la célula para virus y esporas en altas dosis, puede ser corrosivo y es altamente costoso; otro de los mecanismos de desinfección es la luz ultravioleta a partir de la cual se emiten longitudes de onda efectivas para bacterias, virus y protozoos. Sin embargo, tiene un alto potencial de reactivación bacteriana (Robles, 2016).

De acuerdo al artículo denominado "Ecuaciones econométricas para los costos de inversión en plantas de tratamiento de agua potable en Colombia." De los autores León, K; Rey, G; Rodríguez, J. publicado en el año 2016, para implementar una planta de tratamiento de agua potable convencional con un caudal de 1.0 L/s tendría un costo directo de 96005.8 USD, se debe tener en cuenta que el precio de esta alternativa varía de acuerdo a la ubicación y características del terreno.

Tecnología planta compacta

Es un sistema de potabilización que busca garantizar la calidad del recurso hídrico en procesos operados desde un solo módulo, para ello se implementan nuevos métodos de potabilización que en su desarrollo requieren de una menor infraestructura comparada con la convencional; es así, como se pueden encontrar interrelaciones entre etapas; como es el caso de la decantación y floculación, debido a la recirculación de mantos de fango que se aprovechan gracias a la retención de algunos reactivos que no se han agotado en su totalidad y generan un proceso de floculación más rápido y eficaz, permitiendo un ahorro sustancioso de reactivos y llegado el caso poder trabajar con la misma eficiencia teniendo el proceso en una etapa estática (Cruz, 2020).

Esta unidad potabilizadora compacta incluye los procesos de coagulación, floculación y sedimentación en un solo modulo como se muestra en la siguiente figura; seguido de los procesos de filtración y desinfección que se realizan en micromódulos. Es decir, que en el sistema el agua es sometida a todos los procesos y operaciones unitarias que componen la potabilización del agua (ver figura 20)

Figura 20

Ejemplo de una unidad potabilizadora compacta



Fuente: Eduardoño s.a.s. (2018, 14 de noviembre). Planta de tratamiento de agua potable tipo compacta. <https://www.eduardono.com/pages/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable>

Como se mencionó anteriormente la planta compacta tiene las mismas unidades que una planta de tratamiento convencional, pero se deben tener en cuenta otros parámetros de diseño debido a que se reúnen estas unidades por lo general en dos módulos.

Los sistemas compactos para el tratamiento de agua surgen por la necesidad de brindar una solución a poblaciones medianas o pequeñas que no cuentan con un servicio de agua potable, son diseñadas para poblaciones con un nivel de complejidad bajo y medio, algunas de las ventajas que estos sistemas compactos presentan con respecto a las plantas de tratamiento convencionales son las siguientes: proveen soluciones inmediatas por sus cortos tiempos de fabricación, requiere de una menor inversión en las obras civiles durante la fase de construcción, la instalación y operación son adaptables a las necesidades de la comunidad, requieren menor disponibilidad de espacio en comparación con los sistemas convencionales, operaciones rápidas en el mantenimiento preventivo y correctivo de las unidades que lo componen, asegurando el funcionamiento del sistema (Cruz, 2020).

Según el artículo denominado "Ecuaciones econométricas para los costos de inversión en plantas de tratamiento de agua potable en Colombia." De los autores León, K; Rey, G; Rodríguez, J. publicado en el año 2016, para la implementación de una planta de tratamiento tipo compacta el costo directo para un caudal de 1.0 L/s es de aproximadamente 14790.7 USD, se debe tener en cuenta que este precio varía de acuerdo a la casa comercial.

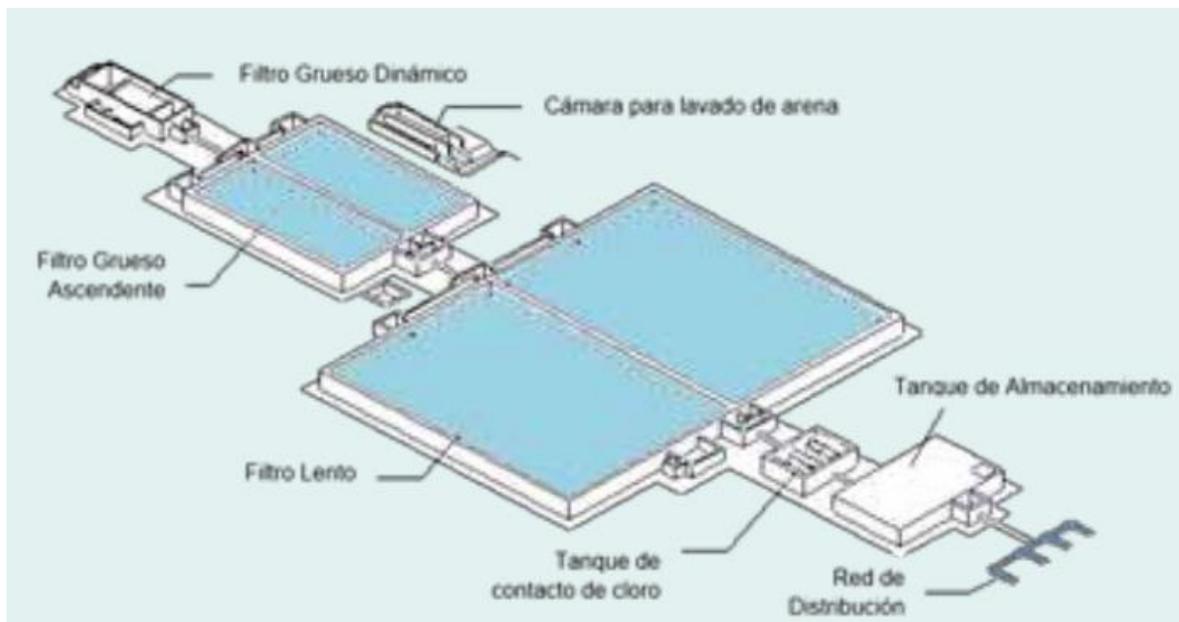
Tecnología de filtración en múltiples etapas

La tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME) consiste en la combinación de procesos de filtración gruesa en grava y filtros lentos de arena. La FiME puede estar conformada por dos o tres procesos de filtración, dependiendo del grado de contaminación de las fuentes de agua, integrada por tres procesos: Filtros Gruesos Dinámicos (FGDi), Filtros Gruesos Ascendentes en Capas (FGAC) y Filtros Lentos de Arena (FLA), los dos primeros procesos constituyen la etapa de pretratamiento, que permite reducir la concentración de sólidos suspendidos conforme circula el agua las partículas más pequeñas son eliminadas, hasta llegar al filtro lento de arena, reconocido como una tecnología sencilla, confiable y eficiente, pues puede producir agua de baja turbiedad, libre de impurezas suspendidas y virtualmente libre de entero-bacterias, entero-virus y quistes de protozoarios (OPS, 2005)

La filtración en múltiples etapas será aplicada en sistemas de tratamiento para poblaciones rurales o pequeñas localidades, cuya fuente de abastecimiento de agua se ajuste a las normas de calidad de agua cruda requeridas para un tratamiento por FiME, esta tecnología tiene buen potencial para el abastecimiento de agua en sistemas que funcionan por gravedad, donde el flujo continuo de agua para el proceso biológico es garantizado con más facilidad que en los sistemas que funcionan por bombeo, tiene ventajas sobre la Filtración Rápida en Arena (FRA), siendo económica para sistemas pequeños al no requerir bombeo ni sustancias químicas, excepto para la desinfección final, donde se emplean dosis menores de cloro (García & España, 2018).

Figura 21

Tecnología de filtración en múltiples etapas



Fuente: García, C., y España, C. (2018). Herramienta para el diseño sistematizado de la filtración en múltiple etapa (FiME). *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 5, 47-58. http://iis.umsa.edu.bo/images/Facultad/Revistas/Revista-IIS_No5-Final-20181.pdf#page=47

De acuerdo con la guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas desarrollada por la organización panamericana de la salud, se deben tener

rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones de FiME con respecto a los parámetros turbiedad color y coliformes fecales (ver tabla 2).

Tabla 2

Rangos de calidad de agua en fuentes superficiales

RANGO	NIVEL PROMEDIO
Bajo	Turbiedad < 10 UNT Coliformes Fecales < 500 UFC/100 ml Color Real < 20 UPC
Intermedio	Turbiedad 10 - 20 UNT Coliformes Fecales 500 - 10000 UFC/100 ml Color Real 20 - 30 UPC
Alto	Turbiedad 20 - 70 UNT Coliformes Fecales 10000 - 20000 UFC/100 ml Color Real 30 - 40 UPC

Fuente: OPS. (2005). Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. UNATSABAR, 1-28

Cuando la definición del rango este especificado se debe tener en cuenta el modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas, FiME, se debe tener en cuenta la tabla 3.

Tabla 3*Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua FiME*

	Turbiedad (UNT)	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
	Color Real (UC)	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)					
< 500	Sin FGA		FGAC _{0,6}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,3}
500 - 10000	FGAC _{0,6}		FGAC _{0,6}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,3}
10000 - 20000 (*)	FGAC _{0,45}		FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,3}

Fuente: OPS. (2005). Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. *UNATSABAR*, 1-28.

En la guía se especifica que si los valores son superiores a 70 UNT; 20000 UFC/100 ml o 40 UC, se recomienda realizar estudio en planta piloto. Para la tecnología de tratamiento FiME de acuerdo al trabajo de grado “Selección de tecnología y diseño del sistema de tratamiento de agua potable del centro poblado el vino (Cundinamarca)” realizado por los autores Bello, J y Gómez, D. en el año 2019 el costo directo para la implementación estaría oscilando por debajo de los 100000 USD.

Las tecnologías mencionadas anteriormente, a criterio del evaluador se consideran las más adecuadas para la zona rural vereda La Palma y fueron expuestas ante la comunidad, mostrando una aceptación por parte de los usuarios, ya que ante la comunidad son más económicas, cumplen con la parte técnica en cuanto a factibilidad y eficiencia de tratamiento de agua potable y para la parte ambiental en cuanto a requerimiento de área de construcción.

Componentes y factores de sostenibilidad en la vereda La Palma

Para la selección de la tecnología de tratamiento más adecuada se propone de acuerdo a lo establecido en la Resolución 0330 del 2017 y la resolución 799 del 2021, normativa que

establece el reglamento técnico para el sector agua potable y saneamiento básico, asimismo, se toma como guía la Norma Técnica NTC-603T (2018), que aborda los procesos de selección de soluciones de tratamiento y abastecimiento de agua en zona rural involucrando lo establecido en el documento CONPES 3810 (2014), con la finalidad de formular estrategias que promuevan proyectos de inversión con soluciones tecnológicas teniendo en cuenta el contexto económico, geográfico, social y enfoque basado en la demanda, en lo relacionado con el suministro de agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales del país.

La resolución 0330 del 2017 plantea que para proyectos de acueducto es necesario tener en cuenta algunos criterios para seleccionar la mejor alternativa en cuanto a la tecnología de tratamiento, estos factores incluyen, aceptabilidad social, acceso a bienes y servicios, factores administrativos; además de los componentes técnico-operativos en los que se incluyen factores ambientales, operación, mantenimiento y adaptabilidad de la tecnología. Entender estos procesos es necesario para planificar e introducir adecuadamente una nueva tecnología en el tratamiento veredal del agua. Por lo tanto, en la tabla 4, se establecen criterios relacionados con la higiene, el medio ambiente, socioculturales, técnicos y económicos, como factores a tener en cuenta para la selección de la tecnología de tratamiento más adecuada para la comunidad. Estos criterios se evaluaron partiendo de lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 603T como factores mínimos a evaluar y lo estipulado por la Resolución 0330 de 2017. Dichos criterios fueron tenidos en cuenta de acuerdo con el contexto actual de la comunidad de la vereda La Palma.

Tabla 4*Crterios de sostenibilidad*

Crterios de sostenibilidad				
Salud e higiene	Ambientales	Socioculturales	Económicos	Técnicos y de funcionamiento
El agua que proviene del humedal Manas supera los valores máximos permisibles por la normatividad en cuanto a turbiedad, color, manganeso, nitritos, coliformes totales y fecales, presentando un concepto no favorable, según las Resoluciones 0330/2017 y la 799/2021.	El cuerpo hídrico está expuesto a problemas de contaminación principalmente por actividades agropecuarias. La fuente hídrica (de abastecimiento) puede proporcionar el requerido caudal sin que se generen problemáticas relacionadas con las dinámicas ecológicas. En la actualidad, la comunidad cuenta con un	La población cuenta con una empresa comunitaria denominada Asociación de Usuarios Acueducto Comunal La Revuelta, encargada de prestar el servicio de abastecimiento y mantenimiento de agua en la vereda. En términos educativos, la población posee un nivel académico primario y secundario.	La comunidad en su totalidad pertenece a un nivel socioeconómico 1 y 2, por tanto, su capacidad de pago es limitada. Dadas las condiciones actuales de la calidad de agua que distribuye el acueducto veredal, la comunidad está dispuesta a dar un	La proyección del caudal de diseño requeridos es de 1.0 L/s. Los materiales que se utilicen para la optimización del tren de tratamiento se podrán conseguir en los municipios cercanos como Barbosa, Vélez y Moniquirá. En cuanto a los materiales especializados, estos podrán conseguirse en Tunja (Boyacá),
En los estudios realizados a la calidad del agua presentaron en los niveles de turbiedad y				

<p>color 14.35 NTU y 161 UPC, respectivamente y el E.Coli presentó un valor de 2.2 UFC/100cm³.</p>	<p>terreno (y parte de la infraestructura) destinado para la ejecución de la optimización del tren de tratamiento, por lo que no genera afectaciones en áreas adicionales a futuro, lo cual permite determinar que la optimización no representa impactos medioambientales.</p>	<p>En cuanto al acceso a salud, si algún poblador de la región llegara a presentar alguna enfermedad relacionada con el consumo del agua cruda es muy probable que sean ellas mismas quienes cubran los gastos médicos.</p>	<p>aporte económico para mejorar el acueducto y con esto tener mejor calidad de vida (73,74%).</p>	<p>Bucaramanga, los cuales podrán pedirse por encargo.</p>
<p>El Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) fue de 66.67%, con un nivel de riesgo alto (30% - 80%).</p>	<p>El lugar donde se encuentra ubicado el acueducto veredal cuenta con vías de acceso, por lo tanto, la trasportación de los materiales no generaría afectaciones a los componentes ambientales.</p>	<p>Existe una disparidad sustancial entre el suministro de agua y saneamiento en las zonas rurales y las zonas urbanas.</p>	<p>La comunidad está de acuerdo en que se debería capacitar a los operadores de la planta y a la comunidad respecto a temas de calidad del agua, sin embargo, hay que considerar los costos salariales que esto conlleva.</p>	<p>Los funcionarios del Acueducto Comunal La Revuelta pueden realizar y operar el mantenimiento de baja complejidad.</p>
<p>Aunque el agua no es apta para el consumo humano, la comunidad la sigue utilizando para todas sus labores domésticas.</p>	<p>De acuerdo con los hallazgos derivados de la encuesta realizada a los representantes de la</p>	<p>El apoyo logístico y administrativo ha sido</p>	<p></p>	<p></p>

comunidad, el 27,27% manifestó que ellos o algún familiar ha sufrido enfermedades diarreicas o dolencias gastrointestinales como consecuencia de la calidad del agua.	En la actualidad, la infraestructura cuenta con el punto de captación aproximadamente a 500 metros aguas debajo de afloramientos o manantiales naturales gracias al humedal Manas. Asimismo, cuenta con sistema de conducción.	deficiente por parte de la administración municipal. Sin importar el estado de la calidad de agua parte de la población de las veredas se ven obligadas a consumir el recurso hídrico asumiendo los riesgos de enfermedades que pueda generar su consumo, lo que aumenta el costo de vida de la comunidad si deben cubrir sus gastos médicos.
---	--	--

Fuente: Autor de investigación

Prediseño de alternativa de tratamiento

Con las reuniones llevadas a cabo en los días 07 de Octubre del 2022 y 27 de Noviembre del 2022 con los usuarios del acueducto, se expuso el estado en el que se encuentra la planta de tratamiento en cuanto a la parte de infraestructura, puesto que no se realiza un adecuado mantenimiento, la ineficiente remoción de contaminantes y los problemas que conlleva consumir el agua como actualmente se suministra, además de presentar algunas tecnologías de tratamiento que se pueden implementar para optimizar el tratamiento y el costo aproximado de cada una, se considera que la tecnología de tratamiento más apropiada para realizar el nuevo proceso de potabilización dadas las condiciones actuales, costos de optimización, construcción, operación y mantenimiento, eficiencia en remoción y aceptabilidad por la comunidad es una planta de tratamiento de agua potable tipo compacta, por ser un sistema compacto, simplificado y automatizado, de menor costo, facilidad de operación, mantenimiento y menor requerimiento de área. A diferencia de una planta de tratamiento convencional que requiere mayor costo de construcción, energía y químicos, conocimiento técnico para operación, mantenimiento y mayor área; por otra parte, el sistema de filtración en múltiples etapas no es muy viable, ya que la turbiedad y el color superan los valores establecidos para poder ser implementado en este tratamiento.

Proyección de población

De acuerdo a la información suministrada por la junta de acción comunal de la vereda “La Palma” el acueducto veredal cuenta con 55 suscriptores y según el DANE en su censo oficial del año 2018, cada vivienda del área rural del municipio de Barbosa está conformada por 5 habitantes, es decir que la población actual es de 275 habitantes.

Métodos de proyección de población

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico establece que para la proyección de usuarios se deben utilizar: métodos matemáticos, tales como los aritméticos y geométricos, métodos de aproximaciones sucesivas a las proyecciones de

suscriptores y métodos heurísticos de ensayo y error. Para el presente proyecto se describen y usan los métodos matemáticos, ya que se cuenta con la información necesaria para su aplicación.

El método aritmético. supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} * (Tf - Tuc)$$

donde:

Pf= Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tci= Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

El método geométrico. es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es:

$$Pf = Puc(1 + r)^{Tf - Tuc}$$

donde:

r= Tasa de crecimiento anual en forma decimal, La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{(Tuc - Tci)}} - 1$$

P_f = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{uc} = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

P_{ci} = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_{uc} = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

T_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

El método exponencial. requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, en donde el último censo corresponde a la proyección del DANE, se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión, la ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} * e^{Kx(T_f - T_{ci})}$$

Donde

K = La tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$K = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

cp = Población del censo posterior (proyección del DANE).

P_{ca} = Población del censo anterior (habitantes).

T_{cp} = Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} = Año correspondiente al censo anterior.

\ln = Logaritmo natural o neperiano

A continuación, se investiga y recopila información acerca del registro histórico del crecimiento poblacional en zonas rurales del municipio de Barbosa, para el cálculo de la tasa de crecimiento (ver tabla 5).

Tabla 5*Datos de censos poblacionales para zona rural*

Censo	Población rural
1985	4280
1993	5274
2005	5917
2018	5560

Fuente: autor de la investigación.

El cálculo de la tasa de crecimiento se realiza partiendo de los métodos aritmético, geométrico y exponencial. Así, se selecciona el modelo que se ajusta al comportamiento histórico poblacional, el cual se proyectará en un periodo de 25 años partiendo de lo establecido en la Resolución 330 de 2017 (ver tabla 6).

Tabla 6*Tasa de crecimiento de zona rural*

Proyección de la población						
Año	Aritmético		Geométrico		Exponencial	
	K''	K'' _{prom}	R	r _{prom}	K	K _{prom}
1,985						
1,993	124.3	50	0.02645	0.0104	0.0261	0.0103
2,005	53.6		0.00963		0.0096	
2,018	-27.5		-0.00478		-0.0048	

Fuente: autor de la investigación.

Para tener una población más aproximada se establece utilizar el método de proyección geométrico ya que tiene una tasa de crecimiento más alta.

Periodo de diseño

Siguiendo lo estipulado en la Resolución 0330 de 2017, artículo 40, el periodo de diseño para proyectos de agua potable es de 25 años.

Población futura

De acuerdo al título B del RAS se utiliza la proyección de población realizada anteriormente con los censos del DANE para determinar la tasa de crecimiento en estas zonas y así poder realizar la proyección de los suscriptores, es decir, se toma el método de proyección utilizado (Geométrico) y se establece la población que abastece el acueducto, donde actualmente se cuenta con 55 suscriptores dando un total de 275 habitantes. Por tal motivo la proyección de la población futura es la siguiente:

$$Pf = P * (1 + r)^{tf-ti}$$
$$Pf = 275 * (1 + 0.0104)^{2048-2023}$$
$$**Pf = 356 habitantes**$$

Determinación de caudales

Dotación neta

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un suscriptor o de un habitante, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto, dicha dotación es establecida por la resolución 0330 del 2017 en el artículo 43 de la siguiente manera:

Tabla 7

Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/Hab*Día)
>2000 m.s.n.m	120
1000 -2000 m.s.n.m	130
<1000 m.s.n.m	140

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021, 09 de diciembre). Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017. [Resolución 0799 del 2021].

Se determina a partir de la altura sobre el nivel del mar al que se encuentra ubicado el municipio, en este caso Barbosa Santander (1610 m.s.n.m.), por lo cual, la dotación neta según la resolución 0330 del 2017 es de 130 L/hab-día ya que esta entre los 1000-2000 m.s.n.m.

Dotación Bruta

La dotación bruta para el diseño de cada uno de los elementos que conforman un sistema de acueducto, indistintamente del nivel de complejidad, se calcula como se muestra a continuación, teniendo en cuenta que el porcentaje de pérdidas técnicas máximas en la ecuación engloba el total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema como conducciones, aducciones, plantas de tratamiento y redes de distribución, donde estas pérdidas no deben superar el 25%.

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

D bruta: dotación bruta

D neta: dotación neta

%p: pérdidas máximas admisibles

Por lo tanto, la dotación bruta es:

$$d_{bruta} = \frac{130 \frac{L}{hab * dia}}{1 - 0.25} = 173.3 \frac{L}{hab * dia}$$

Caudal medio diario

El caudal medio diario (Qmd), corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño, el cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Qmd = \frac{N^{\circ} \text{ habitantes} * d_{bruta}}{86400 \text{ s}}$$

$$Qmd = \frac{356 \text{ hab} * 173.3 \frac{l}{hab * d}}{86400 \text{ seg}} = 0.71 \text{ L/s}$$

Caudal máximo diario

El caudal máximo diario (QMD), corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k_1 que se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año. Representado en la siguiente ecuación:

$$QMD = Qmd * k_1$$

$$QMD = 0.71 \frac{L}{seg} * 1.3 = 1.0 \frac{L}{seg}$$

Caudal máximo horario

El caudal máximo horario (QMH), corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el

caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k_2 .
Representado en la siguiente ecuación:

$$QMH = QMD * k_2$$

$$QMH = 1.0 \frac{l}{s} * 1.6 = 1.6 \frac{l}{s}$$

Tabla 8

Cálculo de los caudales proyectados a 25 años

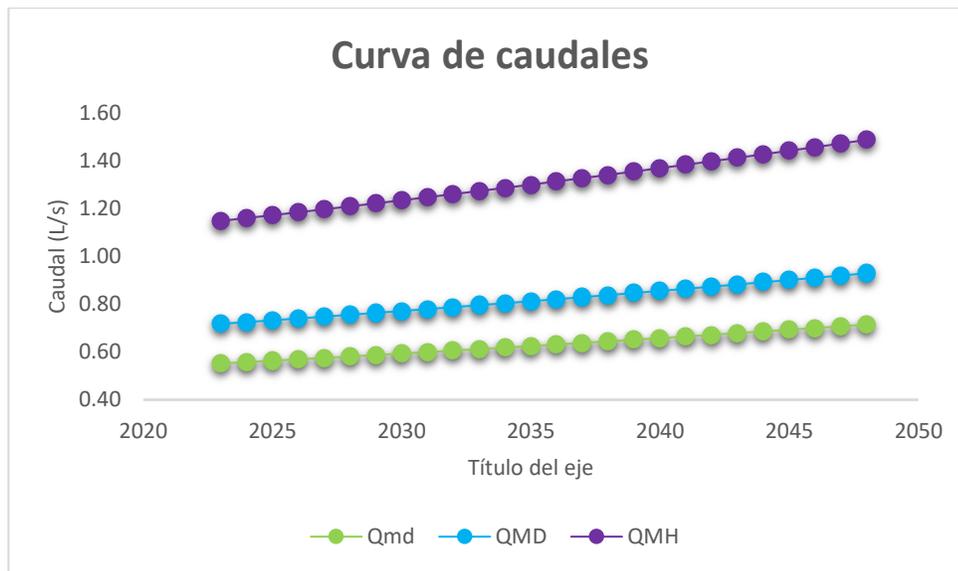
Año	Población proyectada	% pérdidas	Dotación neta (L/hab-d)	Dotación bruta (L/hab-d)	Qmd (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
2023	275	25	130	173.3	0.55	0.72	1.15
2024	278	25	130	173.3	0.56	0.72	1.16
2025	281	25	130	173.3	0.56	0.73	1.17
2026	284	25	130	173.3	0.57	0.74	1.18
2027	287	25	130	173.3	0.57	0.75	1.20
2028	290	25	130	173.3	0.58	0.76	1.21
2029	293	25	130	173.3	0.59	0.76	1.22
2030	296	25	130	173.3	0.59	0.77	1.23
2031	299	25	130	173.3	0.60	0.78	1.25
2032	302	25	130	173.3	0.61	0.79	1.26
2033	305	25	130	173.3	0.61	0.80	1.27
2034	308	25	130	173.3	0.62	0.80	1.29
2035	311	25	130	173.3	0.62	0.81	1.30
2036	315	25	130	173.3	0.63	0.82	1.31
2037	318	25	130	173.3	0.64	0.83	1.33
2038	321	25	130	173.3	0.64	0.84	1.34
2039	325	25	130	173.3	0.65	0.85	1.35
2040	328	25	130	173.3	0.66	0.85	1.37
2041	331	25	130	173.3	0.66	0.86	1.38

2042	335	25	130	173.3	0.67	0.87	1.40
2043	338	25	130	173.3	0.68	0.88	1.41
2044	342	25	130	173.3	0.69	0.89	1.43
2045	345	25	130	173.3	0.69	0.90	1.44
2046	349	25	130	173.3	0.70	0.91	1.46
2047	353	25	130	173.3	0.71	0.92	1.47
2048	356	25	130	173.3	0.71	0.93	1.49

Fuente: autor de la investigación.

Figura 22

Curva de caudales proyectados



Fuente: autor de la investigación.

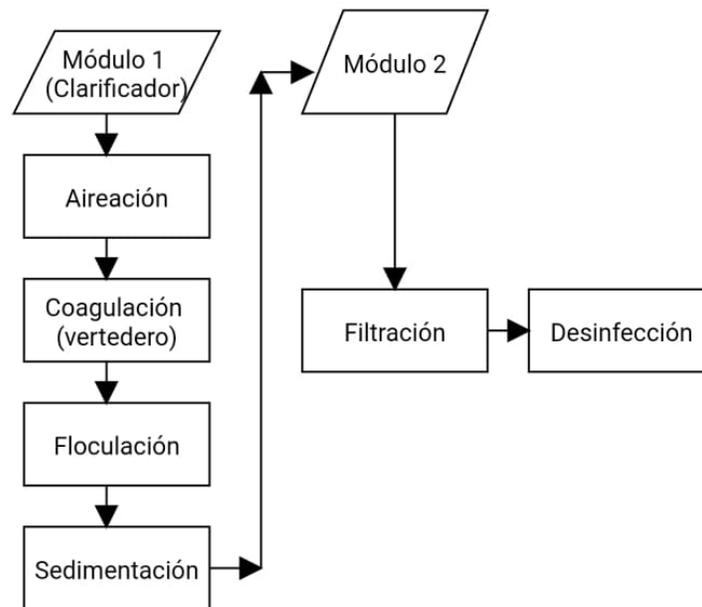
Diseño del sistema de tratamiento para el acueducto veredal La Revuelta Aclare

Como se ha mencionado anteriormente la tecnología de tratamiento escogida en conjunto con la comunidad fue una planta de tratamiento tipo compacta, esta tecnología de tratamiento está conformada por un aireador de bandejas para oxidar el hierro presente en el agua y aumentar los niveles de oxígeno disuelto para un adecuado proceso, donde el efluente de esta unidad de tratamiento alimentara un tanque clarificador a presión que cuenta con los procesos de coagulación, floculación y sedimentación para remover aquellas partículas

suspendidas que aportan al color y turbiedad, posteriormente se alimenta un tanque de filtración rápida de tipo ascendente para eliminar las partículas de menor tamaño o densidad que no se removieron en el clarificador además de retener algunos microorganismos y finalmente el proceso de desinfección para eliminar los agentes patógenos como se muestra en la siguiente imagen (ver figura 23).

Figura 23.

Esquema del tratamiento propuesto



Fuente: Autor de la investigación.

Aireador de bandejas para la planta de tratamiento compacta

De acuerdo a lo estipulado en la tabla 3. Parámetros de referencia de diseño de aireadores de bandejas múltiples de la Resolución 0799 del 2021, se tomaron los siguientes parámetros para el diseño:

- Carga Hidráulica = $500 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$
- Número de Bandejas = 3
- Distancia entre Bandejas = 0.4 m
- Altura de bandeja $h_b = 0.25 \text{ m}$

$$CHS = \frac{Q}{A} \rightarrow A = \frac{Q}{CHS}$$

$$A = \frac{86.4 \text{ m}^3/s}{500 \text{ m/d}}$$

$$A = 0.173 \text{ m}^2$$

Dimensiones de las bandejas

$$\frac{0.173 \text{ m}^2}{3} = 0.06 \text{ m}^2$$

Cada bandeja tiene forma cuadrada y el área de cada una es de 0.06 m^2 donde cada lado tendrá una longitud de aproximadamente 0.40 m debido a criterios constructivos, el diámetro de orificio es de 0.5 cm y la separación entre los orificios es de 2.5 cm , estos valores son tomados de la tabla 3 mencionada anteriormente.

Número de orificios por bandeja:

$$[N * (Do) + (N + 1) * (Separ Orif) = Largo bandeja]$$

$$[N * Do + (N * Separ Orif) + (Separ Orif * 1) = Largo bandeja]$$

$$[N(Do + Separ Orif) + Separ Orif = Largo bandeja]$$

$$N = \frac{\text{Largo Bandeja} - \text{Separ Orif}}{\text{Do} + \text{Separ Orif}}$$

$$N = \frac{0.25 \text{ m} - 0.025 \text{ m}}{0.005 \text{ m} + 0.025 \text{ m}}$$

$$N = 8$$

Área total de orificios

$$A_o = \frac{\pi}{4} * \varnothing^2$$

$$A_o = \frac{\pi}{4} * 0.005^2$$

$$A_o = 1.96 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_o = 1.96 * 10^{-5} \text{ m}^2 * 8 = 1.5 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Como el material de contacto tiene un espesor de 0.15 m y 0.20 m se asume una lámina de agua 0.15 m, por lo tanto, la velocidad de flujo a través del orificio se calcula por medio de la ecuación de Torricelli.

$$v = cv * \sqrt{2 * g * h}$$

$$v = 0.82 * \sqrt{2 * 9.8 \text{ m/s}^2 * 0.15 \text{ m}} = 1.4 \text{ m/s}$$

Tabla 9

Resumen cálculos dimensionamiento de aireación

Aireador	
Parámetro	Valor
Carga hidráulica (m ³ /m ² -d)	500
Altura total (m)	1.95
Número de bandejas	3
Distancia entre bandejas (m)	0.4
Altura de bandeja (m)	0.25
Diámetro medio orificios (cm)	0.5
Separación media entre orificios (cm)	2.5
Longitud de bandeja (m)	0.40
Área de bandeja (m ²)	0.06
Número de orificios por bandeja	64

Fuente: autor de la investigación.

Coagulación para la planta de tratamiento compacta

Para esta unidad de tratamiento se utilizará un mezclador rápido hidráulico tipo vertedero

Caudal por ancho de vertedero (Q)

$$q = \frac{Q}{B}$$

B= Para el ancho del vertedero por efectos constructivos se asume un valor de 0.15 m

$$q = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{s}}{0.15 \text{ m}} = 0.007 \frac{\text{m}^3}{\text{m} - \text{s}}$$

Perdidas de carga (hc)

$$hc = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$hc = \sqrt[3]{\frac{\left(0.007 \frac{\text{m}^3}{\text{m} - \text{s}}\right)^2}{9.81 \text{ m/s}^2}} = 0.017 \text{ m}$$

Altura iniciando el resalto hidráulico (h₁)

$$h_1 = \left(\frac{hc * \sqrt{2}}{\left(1.06 + \sqrt{\frac{p}{hc} * 1.5}\right)} \right)$$

P= Umbral (m) se asume un valor de 0.2

$$h_1 = \left(\frac{0.017 \text{ m} * \sqrt{2}}{\left(1.06 + \sqrt{\frac{0.2 \text{ m}}{0.017 \text{ m}} + 1.5}\right)} \right) = 0.005 \text{ m}$$

Velocidad en el inicio del resalto (V)

$$V_1 = \frac{q}{h_1}$$

$$V_1 = \frac{0.007 \frac{\text{m}^3}{\text{m} - \text{s}}}{0.004 \text{ m}} = 1.75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Numero de Froude iniciando el resalto (NF₁)

$$NF_1 = \left(\frac{V_1}{\sqrt{g * h_1}} \right)$$

$$NF_1 = \left(\frac{1.75 \frac{m}{s}}{\sqrt{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.004 m}} \right) = 8.83$$

El rango óptimo para resalto hidráulico estable es de 4.0 a 9, por lo cual el valor obtenido es óptimo.

Altura al final del resalto (h_2)

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * \left(\left(\sqrt{1 + 8 * NF_1^2} \right) - 1 \right)$$

$$h_2 = \frac{0.004 m}{2} * \left(\left(\sqrt{1 + 8 * (7.84)^2} \right) - 1 \right) = 0.044 m$$

Velocidad al final del resalto (V_2)

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$V_2 = \frac{0.007 \frac{m^3}{m \cdot s}}{0.044 m} = 0.15 \frac{m}{s}$$

Perdidas de carga (ΔH)

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 * h_1 * h_2}$$

$$h = \frac{(0.044m - 0.004 m)^3}{4 * 0.004m * 0.044m} = 0.084 m$$

Longitud del resalto (L_j)

$$L_j = 6 * (h_2 - h_1)$$

$$L_j = 6 * (0.044m - 0.004m) = 0.24 m$$

Longitud del canal de aproximación (Lc)

$$Lc = 4.5 * B$$

$$Lc = 4.5 * 0.15 \text{ m} = 0.68 \text{ m}$$

Velocidad media (Vm)

$$Vm = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$Vm = \frac{1.36 \frac{m}{s} + 0.17 \frac{m}{s}}{2} = 0.86 \frac{m}{s}$$

Tiempo hidráulico de retención (tm)

$$tm = \frac{Lj}{Vm}$$

$$tm = \frac{0.22 \text{ m}}{0.768 \text{ m/s}} = 0.28 \text{ s}$$

El tiempo de retención debe ser menor de 1 s, según la resolución 0799 del 2021.

Gradiente de velocidad (Gm)

$$Gm = \sqrt{\frac{\rho * \Delta h}{\mu * tm}}$$

$$Gm = \sqrt{\frac{999.19 \frac{kg}{m^3} * 0.084 \text{ m}}{0.0001146 \frac{kg}{m} * s * 0.28 \text{ s}}} = 1621 \text{ s}^{-1}$$

El Gradiente medio de velocidad (G) debe estar entre 1000 s⁻¹ y 2000 s⁻¹, según la resolución 0799 del 2021.

Floculación para la planta de tratamiento compacta

Se implementará un floculador hidráulico de cono invertido. De acuerdo a la resolución 0330 del 2017 el tiempo de retención debe estar en un rango de 20 a 40 min, se adopta un tiempo de mezcla de 30 min

$$\text{Tiempo de mezcla } T_m = 30 \text{ min} = 1800 \text{ seg}$$

$$Q = \frac{V_f}{T_m}$$

Volumen del tanque

$$V_f = Q \times T_m$$

$$V_f = 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1800 \text{ s} = 1.8 \text{ m}^3$$

El volumen de la sección cónica

$$V_1 = \frac{\pi}{12} (Dc^2 * hl)$$

Para el dimensionamiento de una planta compacta se debe tener un diámetro mínimo de 1 m para evitar que en el proceso de sedimentación se re suspenda el material ya sedimentado por la tanto se adopta un diámetro de 1.5 m

$$V_1 = \frac{\pi}{12} (1.5 \text{ m}^2 * 0.65) = 0.38 \text{ m}^3$$

Volumen total del floculador

$$V_f = V_1 + V_2$$

V₂ es el volumen del cilindro inferior

$$V_2 = V_f - V_1 = 1.8 \text{ m}^3 - 0.38 \text{ m}^3 = 1.42 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi}{4} * Ds^2 * h_2$$

$$h_2 = \frac{4 * V_2}{\pi * Ds^2}$$

$$h_2 = \frac{4 * 1.42 \text{ m}^3}{\pi * 1.5 \text{ m}^2}$$

$$h_2 = 0.80 \text{ m}$$

La carga superficial ascendente es la velocidad en el cilindro para el módulo de sedimentación

$$TDH = \frac{V_2}{Q}$$

$$TDH = \frac{1.42 \text{ m}^3}{0.001 \text{ m}^3/\text{s}} = 1417 \text{ s}$$

$$TDH = 23.6 \text{ min}$$

$$20 \text{ min} < 23.6 \text{ min} < 40 \text{ min}$$

Según la resolución 799 del 2021 el tiempo hidráulico de retención para un floculador debe estar entre 20 minutos a 40 minutos, por lo tanto, el tiempo está dentro del rango.

Sedimentador para la planta de tratamiento compacta

Para el sistema de tratamiento compacto se diseña un sedimentador de alta tasa con módulos angostos, que pueden tener grosores desde 0.4 hasta 2.0 mm y de ancho de láminas de 1.0m, separación laminar desde 6.0 centímetro e inclinación regularmente de 60° 0 45° permitiendo ajustarse a las condiciones Hidráulicas del diseño, los parámetros de diseño se muestran a continuación.

Tabla 10.

Parámetros según el tipo de sedimentador

Tipo de sedimentador	Carga superficial (m ³ /m ² /d)	Tiempo de retención hidráulica (min)	Velocidad crítica de sedimentación (cm/min)
Módulos angostos L=0,6 m	100 - 110	10 - 20	15 - 30
Módulos angostos L = 1,2 m	120 - 185		
Módulos profundos L > 1,2 m	200 - 300		

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021, 09 de diciembre). Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017. [Resolución 0799 del 2021].

Se adopta una carga superficial de 100 m/día, pero se puede asignar menores valores para aumentar la eficiencia de remoción de floc.

$$CS = \frac{Q}{AS}$$

$$As = \frac{Q}{Cs}$$

Área de sedimentador

$$A = \frac{86.4 \text{ m}^3/d}{100 \text{ m/d}} = 0.864 \text{ m}^2$$

El sedimentador es circular de tipo ascensional por lo tanto inicialmente se asigna un valor al diámetro del sedimentador mayor a 1.1 m para verificar que el flujo ascensional V1 sea menor que 180 m/día para evitar levantamiento de floc que ya es sedimentado por la acción de la gravedad.

Tabla 11

Valor diámetro del sedimentador

Diámetro del sedimentador (Ds)	1.50 m
Longitud del cono (Lp)	0.6 m
Angulo de inclinación de la placa (a)	60°
Espaciamiento entre placas (e)	0.05 m

Fuente: autor de la investigación.

En el ascenso del agua hacia los conos de sedimentación se presentan dos velocidades, una vertical V1 justo bajo el área de los conos y otro a 60° entre las placas de los conos que corresponde a Af.

$$A_1 = \frac{\pi}{4} x (Ds - 0,6)^2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} x (1.5 \text{ m} - 0,6)^2 = 0.636 \text{ m}^2$$

Velocidad de sedimentación

$$V_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$$V_1 = \frac{86.4 \text{ m}^3/d}{0.636 \text{ m}^2} = 135.84 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 - d} < \text{menor que } 180 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 - d}$$

Como el área de flujo entre dos conos de sedimentación corresponde al cono generado por el espacio entre las dos placas y dispuesto a 60° con la horizontal la expresión que cuantifica la mencionada área es:

El área de flujo que genera cada cono es $A_i = \pi (r_2 + r_1) * e$; y como se ha establecido que la longitud del cono es 0.6 m el espaciamiento entre conos es 0,05 m y la inclinación del cono es 45° ;

$$r_2 = \frac{Ds}{2} - 0,3 \text{ y } r_1 = \frac{r_2 - r_2}{Np}$$

Para el cálculo del área del cono, se adopta un número de placas y se verifica que el área generada por este número de placas es superior o igual que el área de flujo requerida A_f .

$$\text{Número de placas } Np = 25$$

Con el siguiente cuadro se muestra el área generada por los conos desplazados a la nueva posición.

Tabla 12*Cálculo para área de los conos del sedimentador*

Cálculo			
Cono No	r_2	$r_1 = r_2 - r_2/Np$	$A_i = \pi * (r_2 + r_1) * 0,05$
1	0.45	0.43	0.139

2	0.43	0.41	0.133
3	0.41	0.40	0.127
4	0.40	0.38	0.122
5	0.38	0.36	0.116
6	0.36	0.34	0.110
7	0.34	0.32	0.105
8	0.32	0.31	0.099
9	0.31	0.29	0.093
10	0.29	0.27	0.088
11	0.27	0.25	0.082
12	0.25	0.23	0.076
13	0.23	0.22	0.071
14	0.22	0.20	0.065
15	0.20	0.18	0.059
16	0.18	0.16	0.054
17	0.16	0.14	0.048
18	0.14	0.13	0.042
19	0.13	0.11	0.037
20	0.11	0.09	0.031
21	0.09	0.07	0.025
22	0.07	0.05	0.020
23	0.05	0.04	0.014
24	0.04	0.02	0.008
25	0.02	0.00	0.003
Área total m ²		Debe ser mayor que Af	CS en modulo m ³ /m ² -dia
1.77		0.86	48.89

Fuente: autor de la investigación.

La carga superficial final es de 48.89 m³/m²-día por lo cual cumple con lo estipulado en la resolución 799 del 2021 que debe ser menor que 180 m³/m²-día y mediante consideraciones geométricas se dimensiona el resto del cono.

Tabla 13*Dimensionamiento del cono sedimentador*

$g = Np * e =$	1.25	m	$d = g - c =$	0.73	M
$b = \frac{Dc}{2} - 0,3 =$	0.45	m	$e = \frac{d}{\text{tang}(30)} =$	1.26	M
$a = b \tan 30 =$	0.26	m	$f = (g^2 + e^2)^{0,5} =$	1.78	M
$c = (a^2 + b^2)^{0,5} =$	0.52	m	$hc = (f^2 - b^2)^{0,5} =$	1.72	M

Fuente: autor de la investigación

Altura del cono de sedimentación

$$hcs = Lp * \text{seno } \theta$$

$$hcs = 0.6m * \text{seno } 60^\circ = 0.52 \text{ m}$$

Altura de cono de la tolva de lodos

$$hl = \frac{Ds}{2} x \text{sen } \theta$$

$$hl = \frac{1.5 \text{ m}}{2} x \text{sen } 60^\circ = 0.65 \text{ m}$$

Longitud inclinada de cono de la tolva de lodos

$$Ltl = \left(\left(\frac{Ds}{2} \right)^2 + hl^2 \right)^{0,5}$$

$$Ltl = \left(\left(\frac{1.5 \text{ m}}{2} \right)^2 + (0.65 \text{ m})^2 \right)^{0,5} = 0.99 \text{ m}$$

Verificar las condiciones hidráulicas del proceso de sedimentación. De la expresión a longitud relativa (Lp/d) y de es el espaciamiento:

$$L = \frac{Lp}{e}$$

$$L = \frac{0.6 \text{ m}}{0.05 \text{ m}} = 12$$

Temperatura del agua $T = 15^\circ\text{C}$

Viscosidad cinemática del agua $\nu = 0.000001146 \text{ m}^2/\text{seg}$

$$Lc = L - L', \text{ donde } L = \frac{l}{d} \text{ y } L' = ,058 * vo * \frac{d}{\nu} \text{ y } vo = CS$$

$$L' = 0,058 \times \frac{CS}{86400} * \frac{d}{\nu}$$

$$L' = 0,058 \times \frac{100 \text{ m/d}}{86400} * \frac{0.05 \text{ m}}{0.000001146 \text{ m}^2/\text{seg}} = 2.93 \text{ m}$$

Longitud relativa corregida

$$Lc = L - L'$$

$$LC = 12 - 2.93 = 9.07 \text{ m}$$

El factor de forma para el sedimentador de acuerdo a la geometría es: 1 para placas paralelas, 1,33 ductos circulares, 1,375 sección cuadrada. El sedimentador cuenta con placas paralelas, por lo tanto, el factor de forma es 1.

Velocidad promedio del flujo entre placas

$$V_o = \frac{CHS}{\text{Sen } \theta}$$

$$V_o = \frac{100 \text{ m/d}}{\text{Sen } 60^\circ} = 115.47 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

Numero de Reynolds

$$NR = \frac{2 * V_o * e}{\gamma}$$

$$NR = \frac{2 * 115.47 \frac{\text{m}}{\text{d}} * 0.05 \text{ m}}{0.0864 \text{ m}^2/\text{d}} = 133.65$$

Para garantizar que se presente un flujo laminar dentro del sedimentador el Numero de Reynolds debe ser menor a 500.

Velocidad de sedimentación critica

$$V_{sc} = \frac{Sc * V_o}{\text{sen}\theta + \left(\frac{l}{e} - N * NR\right) * \text{cos}\theta}$$

Se emplea el módulo de placas planas paralelas por lo tanto el factor de forma (Sc) de igual a 1.

$$V_{sc} = \frac{1 * 115.47 \text{ m/d}}{\text{sen } 60^\circ + \left(\frac{0.6 \text{ m}}{0.05 \text{ m}} - 0.013 * 133.65\right) * \text{cos } 60^\circ} = 19.25 \text{ cm/min}$$

El agua clarificada se desborda por un vertedero de altura h_v ubicado en la periferia superior del cono más alto y es recolectado por el canal formado entre el cuerpo y este último cono para salir hacia el sistema de filtrado.

$$H_v = 0.1 \text{ m}$$

Se adopta un borde libre $BL = 0.2 \text{ m}$

Volumen del tanque

$$\text{Volumen} = A_f * h_l$$

$$\text{Volumen} = 0.864 \text{ m}^2 * 0.65 \text{ m} = 0.56 \text{ m}^3$$

Tiempo de retención hidráulico

$$TDH = \left(\frac{Vol}{Q}\right)$$

$$TDH = \left(\frac{0.56 \text{ m}^3}{86.4 \text{ m}^3/d}\right) = 0.0065 \text{ dia} = 9.4 \text{ min}$$

De acuerdo a la resolución 799 del 2021 el tiempo hidráulico de retención debe estar entre 10-20 minutos.

Altura total del clarificador

$$h_{tc} = B_l + h_v + h_{cs} + h_l + h_2$$

$$h_{tc} = 0.2 + 0.1 + 0.52 + 0.65 + 0.80 = 2.27 \text{ m}$$

Tabla 14

Resumen del dimensionamiento tanque clarificador

Clarificador	
Parámetro	Valor
Altura (m)	2.27
Diámetro (m)	1.5
Vertedero (Coagulación)	
Ancho del canal (m)	0.15
Umbral (m)	0.2
Angulo del vertedero (°)	30
Longitud canal de aproximación (m)	0.68
Perdidas de carga (m)	0.017
Altura iniciando el resalto hidráulico (m)	0.004
Altura final del resalto (m)	0.044
Perdida carga total (m)	0.084
Floculación	
Volumen total floculador (m ³)	1.8
Volumen cilindro inferior (m ³)	1.42
Tiempo de retención hidráulica (Minutos)	23.6
Sedimentador	
Área del sedimentador (m ²)	0.864
Longitud del cono (m)	0.9
Angulo de inclinación de la placa (°)	60
Espaciamiento entre placas (m)	0.05
Área de placas (m ²)	0.636
Número de placas	25

Clarificador	
Altura del cono de sedimentación (m)	0.52
Altura de cono de la tolva de lodos (m)	0.65
Longitud inclinada de cono de la tolva de lodos (m)	0.99
Longitud relativa corregida (m)	9.07
Tiempo de retención hidráulica (Minutos)	9.4

Fuente: autor de la investigación.

Filtración para la planta de tratamiento compacta

Parámetros de diseño

La velocidad de filtrado es importante ya que depende en gran medida la eficiencia tanto del proceso de filtrado como de la carrera de filtrado.

De acuerdo a la resolución 0330 del 2017 La tasa de filtrado (TF) para una filtración de lecho mixto está en el orden de 180 m/día a 250 m/d se adopta una tasa de 180 m³/m²/d.

$$TF = 180 \frac{m^3}{m^2 - dia}$$

Como caudal es:

$$Q = TF * AF$$

Entonces el área del filtro será

$$AF = \frac{Q}{TF}$$

$$AF = \frac{86.4 \frac{m^3}{d}}{180 \frac{m^3}{m^2 - dia}} = 0.48 m^2$$

$$AF = \left(\frac{\pi}{4}\right) * DF^2$$

DF = Diámetro del filtro

$$DF = \left(\frac{4 \times 0.5232 \text{ m}^2}{\pi} \right)^{0,5} = 0.78 \text{ m}$$

Para este tipo de filtro se recomienda la siguiente composición del lecho filtrante.

Tabla 15

Composición del lecho filtrante

Capa	Especificación	Altura de capa (m)	Volumen m ³
1	Arena sílice 8-14 Tamiz Americano	0.2	0.10
2	Arena sílice 14-20 Tamiz Americano	0.1	0.05
3	Arena sílice 20-40 Tamiz Americano	0.3	0.14
4	Antracita TE 1,0 mm	0.4	0.19
5	Altura libre para expansión del lecho durante el lavado	0.35	0.17
6	Altura total del filtro hf	1.35	0.65

Fuente: autor de la investigación.

Tabla 16

Resumen parámetros de diseño por filtración

Filtración	
Parámetro	Valor
Área del filtro (m ²)	0.48
Diámetro del filtro (m)	0.78
Altura total (m)	1.35

Fuente: autor de la investigación.

Desinfección para la planta de tratamiento compacta

Parámetros de Diseño

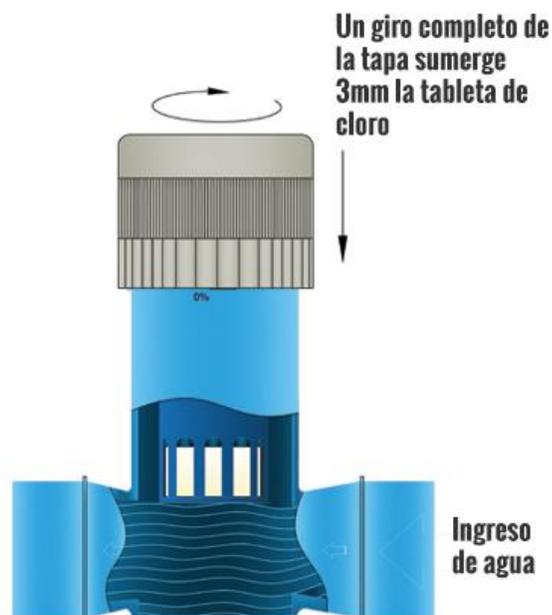
- Caudal de diseño QMD=1.0 lps
- Desinfectante a utilizar Hipoclorito de calcio Ca (ClO)₂

- Concentración de Ca (ClO)₂ al 65%
- Volumen del tanque 500 litros
- Dosificar cada 24 horas

Para la dosificación se utiliza un dosificador de cabeza constante que suministran continua y automáticamente el hipoclorito de calcio (cloro) a un tanque de agua, permitiendo el proceso de potabilización y purificación de agua. El sistema de dosificación de cloro utiliza tabletas las cuales al entrar en contacto con el agua realizan un proceso físico de erosión liberando cantidades de cloro precisas, las tabletas que entran en contacto con el agua son las que quedan en el fondo del equipo y las tabletas restantes permanecen secas y disponibles para entrar en uso una vez las tabletas inferiores ya se han gastado.

Figura 24.

Dosificador de cabeza constante



Fuente: Pure Water. (2019, 10 de octubre). Dosificador de Cloro o Clorador en Línea. <https://purewater.com.co/product/valac-dosificador-de-cloro-o-clorador-en-linea/>

Caudal a Dosificar

$$Qd = \frac{V}{t}$$

$$Qd = \frac{500 \text{ l}}{24 \text{ h} * 3600 \text{ s}} = 0.0058 \text{ l/s}$$

Se asume una concentración en la red de CL= 1. Mg/lt

De la siguiente ecuación se determina la concentración de cloro en el tanque:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

V_1 = Caudal a dosificar

V_2 = Caudal a tratar

C_1 = Concentración de cloro en el tanque

C_2 = Concentración en la red de Cloro

Concentración de cloro en el tanque

$$C_1 = \frac{C_2 V_2}{V_1}$$

$$C_1 = \frac{1 \frac{Mg}{L} * 1 \frac{L}{S}}{0.0058 \frac{L}{S}} = 172.4 \frac{Mg}{L} \rightarrow 0.172 \frac{gr}{l}$$

Peso del Cloro

$$C_1 = \frac{m}{V}$$

$$m = C_1 * V$$

$$m = 0.172 \frac{gr}{l} * 500l = 86 \text{ gr}$$

Una concentración de 65% quiere decir que por cada 100 gr de Hipoclorito de calcio se tiene 65 gr de Cloro

Donde X= peso de hipoclorito de calcio

$$X = \frac{100 \text{ gr HCl} * 86 \text{ gr Cl}}{65 \text{ gr Cl}} = 132.3 \text{ gr HCl} \rightarrow 0.132 \text{ Kg HCl}$$

Se necesitan 0.132 kg HCl cada 24 horas (4.09 kg/mes) para un tanque de 500 litros con un caudal de diseño de 1.0 l/s, se dosificará 0.0058 l/s cada día.

Dimensionamiento

Se parte de volumen de 500 lt equivalente a 0.5 m³

$$500 \text{ lt} \rightarrow 0.5 \text{ m}^3$$

Volumen del tanque

$$V = A * H$$

Área del tanque

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Adoptando una altura de 1m y reemplazando

$$V = \frac{\pi d^2}{4} * 1m$$

Despejando el diámetro

$$d = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * 1m}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0.5 \text{ m}^3}{\pi * 1\text{m}}}$$

$$d = 0.8 \text{ m}$$

Planos de la tecnología de tratamiento

La planta de tratamiento compacta de agua potable incluye procesos de tratamiento físico, químico y biológico que pueden proteger las masas de agua receptoras de la contaminación. En este sentido, el desarrollo sostenible proporciona un buen nivel de vida en cualquier sociedad. La protección del medio ambiente y la conservación de las masas de agua naturales se han tenido muy en cuenta a la hora de (pre)diseñar la tecnología de tratamiento escogida por parte de la comunidad, en el que se involucra el desarrollo sostenible en el sector medioambiental.

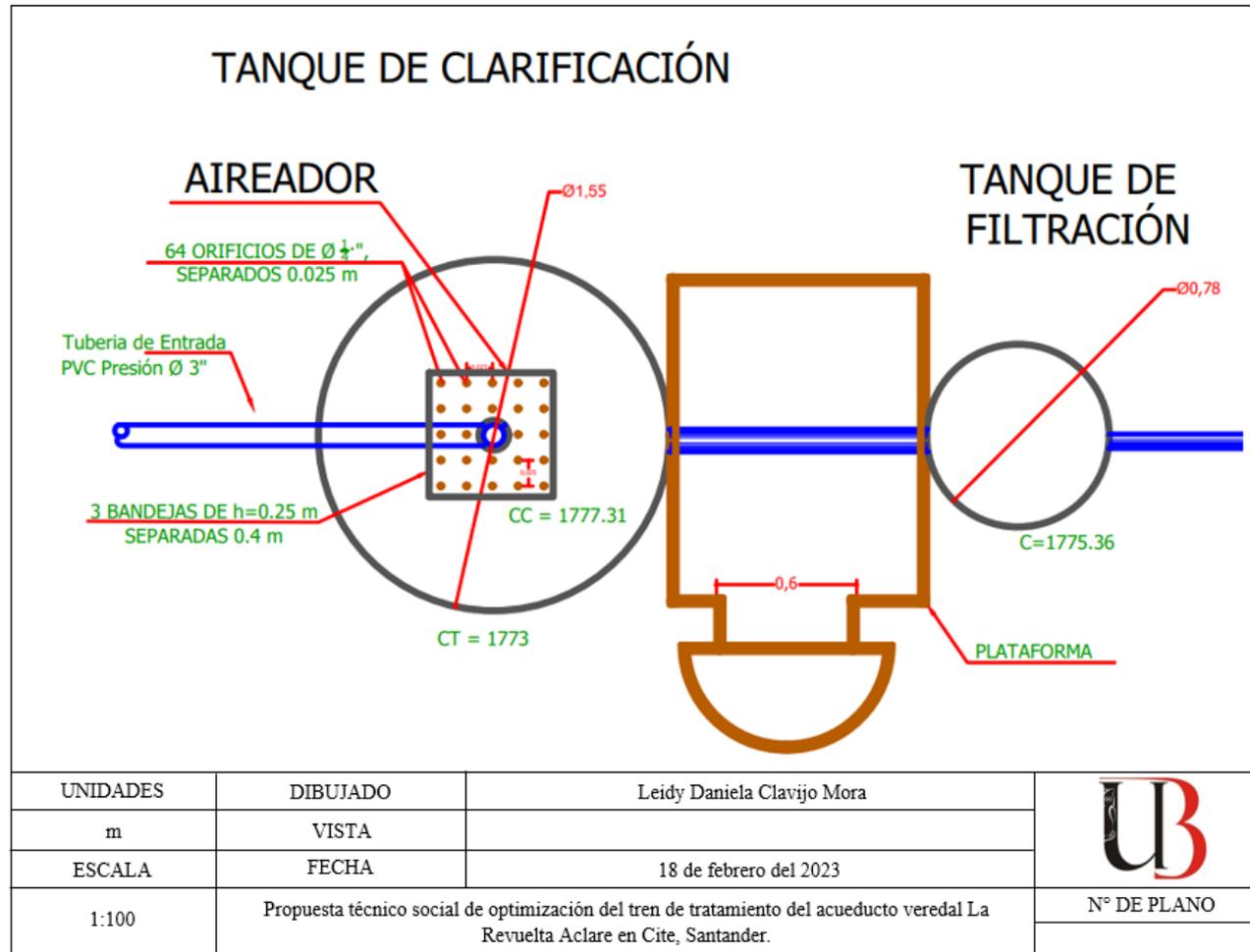
En este caso, se presentan los planos de la tecnología de tratamiento elegida en conjunto con la comunidad. Cabe mencionar que, antes de construir u optimizar el tren de tratamiento aplicando la tecnología compacta, fue necesario comprobar la sostenibilidad de numerosos factores, debido a que cualquier restricción de diseño para el proyecto se debe determinar antes de la aprobación del diseño final en caso de que la construcción y el funcionamiento de la planta tengan éxito. Los principales condicionantes del prediseño para la optimización del tren de tratamiento fueron la economía, la accesibilidad, la salud y el medio ambiente, la idoneidad de las condiciones hidrogeológicas, las instalaciones técnicas, la organización institucional, la capacidad del personal y el compromiso de la comunidad.

Otro componente importante de la planta de tratamiento compacta es el cumplimiento de las normas de control. La capacidad de diseño de la planta debe ser tal que el efluente tratado cumpla continuamente los criterios de calidad estipulados que puedan reducir cualquier riesgo. Los riesgos relacionados con los proyectos de diseño de la planta de tratamiento se deben al incumplimiento de las normas establecidas en origen; al incumplimiento de los procedimientos normalizados de trabajo; a la falta de personal calificado para supervisar las instalaciones de tratamiento; a la supervisión ineficaz del sistema de reutilización de los proyectos de diseño de la planta de tratamiento; a la ausencia de personal calificado; a la falta de equipos de supervisión adecuados; y a los costes de

funcionamiento y supervisión, por esta razón la decisión de la comunidad fue que el mejor sistema de tratamiento es una planta compacta para mejorar la calidad de agua que actualmente llega a sus hogares, a continuación se muestra los planos de la planta compacta diseñada para el acueducto.

Figura 25

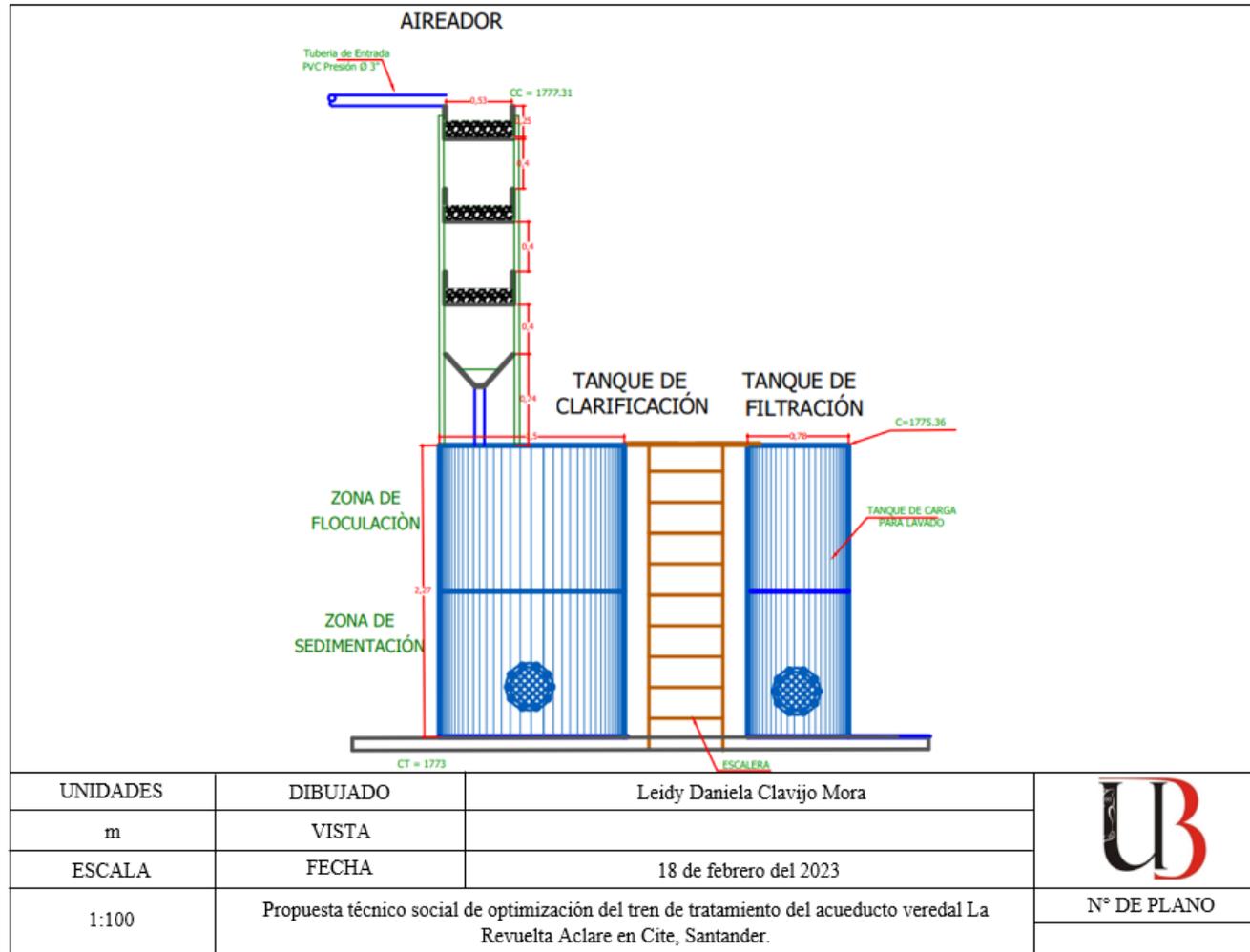
Vista en planta sistema de tratamiento



Fuente: autor de la investigación.

Figura 26

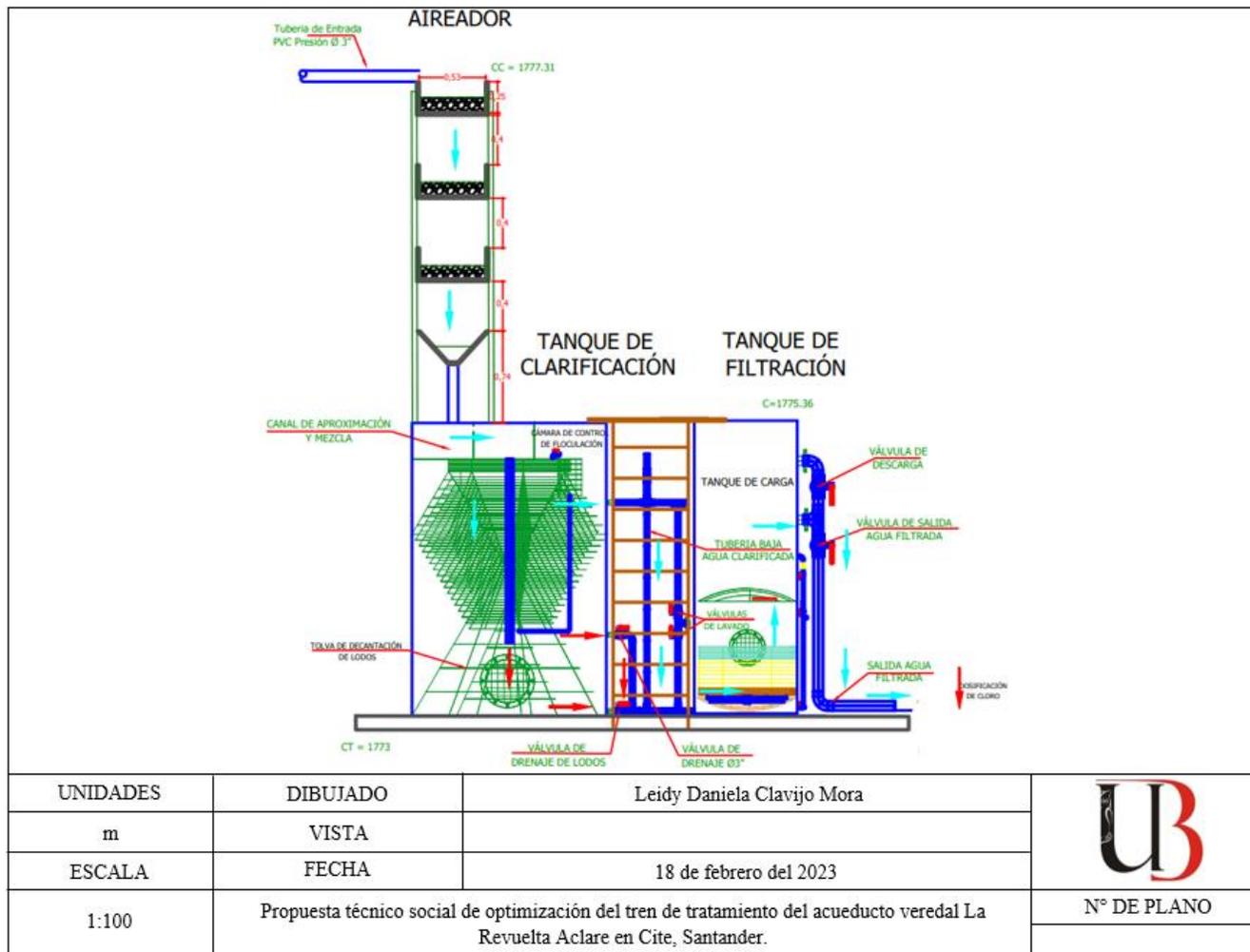
Vista frontal del sistema de tratamiento



Fuente: autor de la investigación

Figura 27

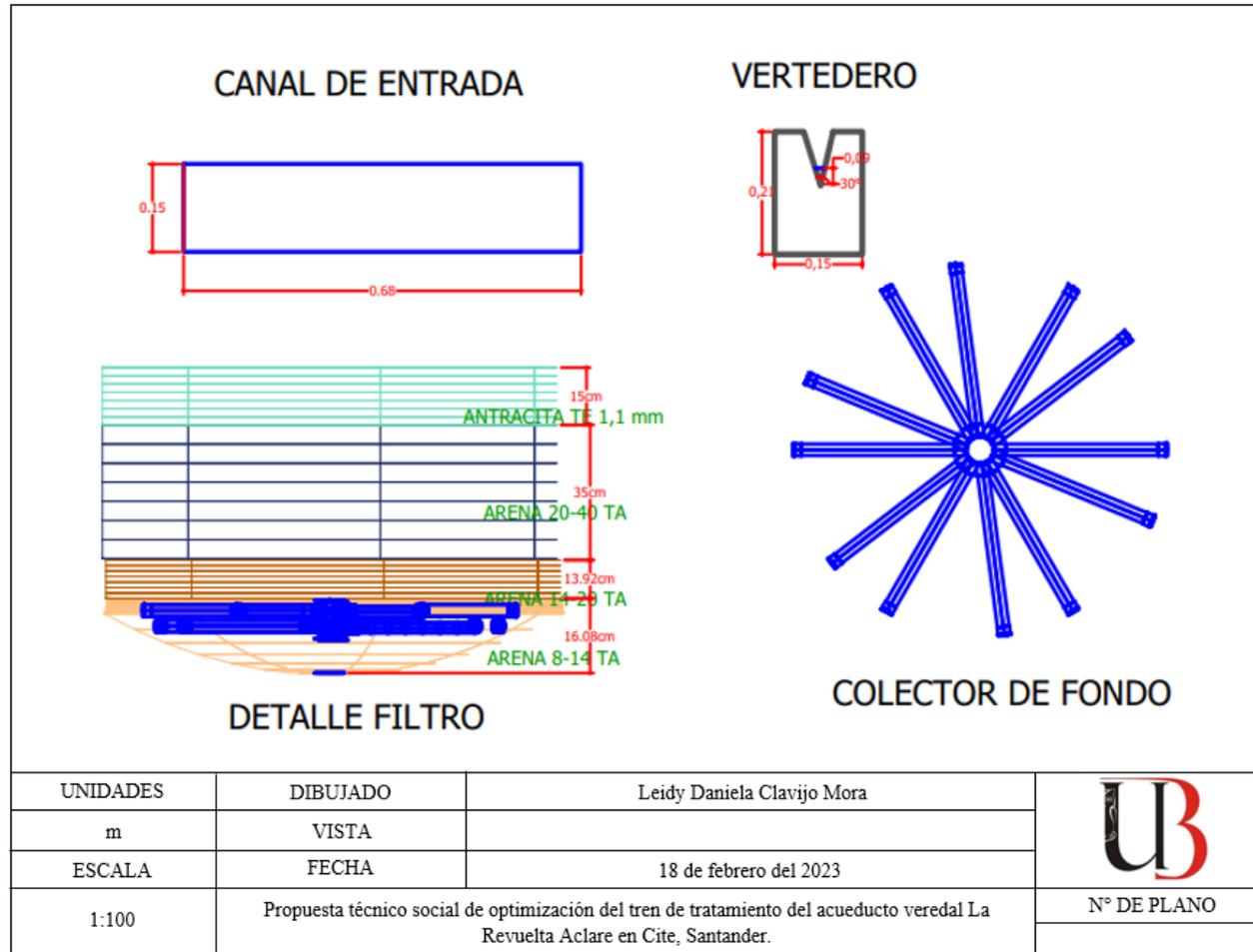
Detalle interno del sistema de tratamiento



Fuente: autor de la investigación

Figura 28

Detalle de componentes del sistema de tratamiento



Fuente: autor de la investigación.

Conclusiones

Se considera importante que la comunidad participe tanto en la fase de diseño como en la de construcción para garantizar el éxito continuo, puesto que la participación de la comunidad en todo el ciclo de la planificación es un factor determinante para tener más posibilidades de garantizar un proyecto de abastecimiento de agua sostenible, especialmente en estas zonas rurales. Por tanto, la motivación y el apoyo a la comunidad es de gran importancia a la hora de implementar tecnologías de tratamiento, esto se traduce en que la comunidad y personas interesadas logren aprender el desarrollo de las técnicas para el tratamiento del agua, dando cumplimiento con lo establecido en la Resolución RAS rural y como etapa previa del diagnóstico integral.

Los hallazgos obtenidos de la aplicación de la encuesta permitieron determinar que el 63,64% de los pobladores consideran no estar de acuerdo con el estado actual de la calidad del agua, considerando que no existe tratamiento del agua y que el recurso hídrico llega sucia o amarilla. Mientras que el 27,27% manifestó que ellos o algún familiar han sufrido enfermedades diarreicas o dolencias gastrointestinales como consecuencia de la calidad del agua. al mismo tiempo, los representantes de la comunidad afirmaron que están dispuestos a dar un aporte económico para mejorar el acueducto y con esto tener mejor calidad de vida (73,74%).

Estos aspectos permiten determinar la necesidad de optimizar el tren de tratamiento para el acueducto veredal y que la infraestructura sea mejorada para el beneficio de toda la comunidad permitiendo que el agua sea apta para su consumo evitando que quienes se benefician de este líquido no presente enfermedades gastrointestinales, logre abastecer a todos los habitantes de la vereda, mejore la calidad de vida de la comunidad y la calidad de este líquido vital cumpla con los requerimientos establecidos por la normatividad nacional.

Al llevar a cabo la reunión con los habitantes de la vereda La Palma, para exponerles el estado actual de la planta de tratamiento y los problemas que puede conllevar el consumir el agua como actualmente se suministra, y la posterior presentación de las tecnologías de tratamiento que ellos pueden implementar en el momento que se quiera hacer el mejoramiento de la planta de tratamiento se pudo determinar que, de las tres tecnologías propuestas, en términos de costos, infraestructura, necesidad y optimización, la más adecuada para la

adaptabilidad en la vereda La Palma y para su comunidad es una planta de tratamiento de agua potable compacta.

Esta tecnología de tratamiento está conformada por un aireador en bandejas para oxidar el hierro presente en el agua, donde el efluente de esta unidad de tratamiento alimentara un tanque clarificador a presión que cuenta con los procesos de coagulación, floculación y sedimentación para remover aquellas partículas suspendidas que aportan al color y turbiedad, posteriormente se alimenta un tanque de filtración rápida de tipo ascendente para eliminar las partículas de menor tamaño o densidad que no se removieron en el clarificador además de retener algunos microorganismos y finalmente el proceso de desinfección para eliminar los agentes patógenos permitiendo que el agua sea apta para consumo humano.

Recomendaciones

Con el interés de trabajar por la comunidad y participar con los directivos o responsables de la Asociación de Usuarios Acueducto Comunal La Revuelta, las acciones que se deben tener en cuenta para mantener la calidad del proceso y vincular a la población en el mismo, deben estar enfocadas en el mejoramiento de la calidad de vida y los hábitos de recolección, consumo y almacenamiento de la misma.

Cuando la comunidad tome la decisión de implementar estas nuevas estructuras para la potabilización de agua, deberá tener en cuenta que es necesario realizar un análisis de costos detallado que les permita tener una per sección del costo total para una planta de tratamiento tipo compacta.

Poner la responsabilidad del desarrollo en manos de los miembros de la comunidad y complementarla con la ayuda vital de diversos agentes es un medio importante de lograr un cambio esencial, respaldado por un sólido marco político y normativo, sin el cual podría ser impracticable. Las soluciones recientes ayudarán a la comunidad a operar, mantener y gestionar sus propios sistemas una vez instalados, lo que significa que serán autosuficientes a partir de ese momento y requerirán una asistencia mínima. Sin embargo, es importante tener en cuenta que es fundamental encontrar un equilibrio entre ofrecer un apoyo y un seguimiento tras la optimización del tren de tratamiento.

Referencias

- Apella, M. y Araujo, P. (2005). Microbiología del agua conceptos básicos. En A. Blesa y J. Blanco. (Eds.), *Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua*. Universidad Nacional de General San Martín. <https://onx.la/05fde>
- Arenas, A. y Londoño, H. (2017). *Diseño de un sistema automatizado para una planta de tratamiento de agua potable*. (Trabajo de grado, Instituto Tecnológico Metropolitano). Institutional repository ITM. <http://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/107>
- Ávila, F. (2015). *Optimización de la planta de tratamiento de agua potable de baños de agua santa*. (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4110/1/96T00288%20UDCTFC.pdf>
- Bello, J. y Gómez, D. (2019). *Selección de tecnología y diseño del sistema de tratamiento de agua potable del centro poblado El Vino (Cundinamarca)*. (Trabajo de grado, Universidad de Cundinamarca). <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/2781>
- Carrillo, A. y Mosquera, A. (2021). *Diagnóstico técnico-operativo y propuesta de mejoramiento del estado actual del acueducto del barrio Villa de Puente Real (Puente Nacional, Santander)-tendiente a integrar a la comunidad en el proceso de adecuación*. (Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia). <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/de6f1c66-5e97-4504-8524-304967e4fa11/content>
- Clavijo, L. (2022). *Evaluación de la calidad del agua en la planta de tratamiento del acueducto veredal La Revuelta Aclare en el Corregimiento de Cite, Santander*. (Trabajo de grado, Universidad de Boyacá).
- Cruz, I. (2015). *Estudio de caso para la optimización del sistema de acueducto del municipio de Paipa departamento de Boyacá y búsqueda de fuentes alternativas para el abastecimiento de agua*. (Trabajo de grado, Universidad Libre). UniLibre Repository. https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8119/OPTIMIZACION_ACUEDUCTO_PAIPA_OLGA_CRUZ%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cruz, J. (2020). *Estudio para el montaje de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) tipo compacta, en la vereda Cualamaná, municipio de Melgar Tolima*.

- (Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD). Repositorio institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/31165>
- Díaz, V. y Rangel, A. (2022). *Diseño de planta de tratamiento y distribución de agua potable para la vereda Francisco de Paula en el municipio de Barbosa Santander*. (Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás). <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/46828/2022RangelJose?sequence=8&isAllowed=y>
- García, C., y España, C. (2018). Herramienta para el diseño sistematizado de la filtración en múltiple etapa (FiME). *Revista ingeniería sanitaria y ambiental*, 5, 47-58. http://iis.umsa.edu.bo/images/Facultad/Revistas/Revista-IIS_No5-Final-20181.pdf#page=47
- Gil, G. (2018). Objetivos de desarrollo sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de relaciones eco sociales y cambio global*, 140, 107-118. https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/revista_papeles/140/ODS-revision-critica-C.Gomez.pdf
- González, O. y Pulido, J. (2019). *Lineamientos socio ambientales para la optimización del acueducto de las veredas “La Reforma y Esmeralda” en el municipio de Supatá-Cundinamarca*. (Bachelor's thesis, Universidad el Bosque). <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2747>
- Guananga, C. (2014). *Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del canton Cevallos*. (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3108/1/96T00227.pdf>
- Hernández, D. y García, S. (2015). *Diagnóstico y análisis de alternativas para la optimización del sistema de acueducto de la vereda de Chacua del municipio de Sibaté*. (Trabajo de grado, Universidad de la Salle). https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1551&context=ing_ambiental_sanitaria
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2018). *Selección de alternativas de abastecimiento y tratamiento de agua para consumo humano en zona rural NTC 603 T*.
- Laboratorio Departamental de Salud Pública, Santander. (2021). *Análisis microbiológico*,

- físico y químico*. Laboratorio Departamental de Salud Pública.
- Loaiza, J. (2018). *Diagnóstico del sistema operativo de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Guacavía en el municipio de Cumaral, departamento del Meta*. (Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas). <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/12021>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2007, 9 de mayo). Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. [Decreto 1575 de 2007].
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Administración del recurso hídrico. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/calidad/#tabs-1>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017, 08 de junio). Reglamento técnico en el sector de agua potable y saneamiento básico. [Resolución 0330 del 2017].
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2018, 08 de noviembre). Reglamento técnico de saneamiento básico y agua potable para las zonas rurales. [Resolución 0844 del 2018].
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021, 09 de diciembre). Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017. [Resolución 0799 del 2021].
- Morales, J. (2018). *Evaluación y rediseño hidráulico de la red de distribución del acueducto veredal de Guavatá Santander*. (Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/11349/13502>
- Moreno, 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>
- Muñoz, M., Castro, P., y Mouthon, J. (2017). *Metodología para la selección de alternativas sostenibles para el suministro de agua potable y saneamiento básico en comunidades rurales dispersas. Estudio de caso: Vereda la Pita, Corregimiento Lázaro (Carmen de Bolívar)*. (Trabajo de grado, Universidad de Cartagena). Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/11227/5372>
- OPS. (2005). Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. *UNATSABAR*, 1-28.
- Parra, G. (2006). *Estructuración de la asociación de acueductos veredales en el municipio de Sasaima con visión financiera para su sostenibilidad en el largo plazo*. (Trabajo de

- grado, Universidad de la Salle).
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1406&context=contaduria_publica
- Parrado, A. y Sandoval, E. (2018). *Optimización del diseño hidráulico del acueducto veredal del alto del ramo de municipio de Chipaque Cundinamarca*. (Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia). Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16404/1/trabajo%20final.pdf>
- Peña, K., Rey, G., y Rodríguez, J. (2016). "Ecuaciones econométricas para los costos de inversión en plantas de tratamiento de agua potable en Colombia". *I+ D Revista de investigaciones*, 7(1), 109-115.
<http://www.udi.edu.co/revistainvestigaciones/index.php/ID/article/view/72>
- Pimienta, P. (2013). *Guía metodológica para la elaboración de programas de optimización de sistemas de acueductos*. (Trabajo de grado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito). Repositorio digital.
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/76/Pimienta%20Vera%2c%20Johana%20Patricia%20-%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Plantas de tratamiento de agua potable (PTAP). (2018, 17 de octubre). *Tipos de PTAP*.
<http://plantasdetratamientodeaguapotablesena.blogspot.com/p/tipos-de-ptap.html>
- Pure Water. (2019, 10 de octubre). Dosificador de cloro o clorador en línea.
<https://purewater.com.co/product/valac-dosificador-de-cloro-o-clorador-en-linea/>
- Ríos, M. (2015). *Agua y cultura una propuesta de lineamientos de gestión ambiental para fortalecer la apropiación social, en el área de influencia de la empresa de acueducto de Bogotá*. (Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana).
<http://hdl.handle.net/10554/17952>
- Rojas, R. (2002). "Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano". *Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente*.
https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55439/guia_vigilancia_agua_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Roldán, D. (2016). *Valoración económica de recursos hídricos para el suministro de agua potable. el caso del Parque Nacional Cajas. La cuenca del río Tomebamba*. (Tesis de

- maestría, Universidad de Alicante). Repositorio institucional de la Universidad de Alicante. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/54425/1/tesis_rolan_monsalve.pdf
- Sautu, R. (1997). Acerca de qué es y no es investigación. *La trastienda de la investigación*, 179. <http://investigacionsocial.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/103/2013/03/Sautu.-Acerca-de-qu%C3%A9-es-y-no-es-investigaci%C3%B3n-cient%C3%ADfica-en-ciencias-sociales.pdf>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2020, 22 de marzo). *Informe nacional de coberturas de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo*. https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inlinefiles/informe_nacional_de_coberturas_de_los_servicios_publicos_aaa_2020_vf_a%20%281%29.pdf
- Torres, P., Cruz, H., y Patiño, J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Revista ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4845739>
- Valencia, D. (2008). La irrazonable lucha del Estado contra los pequeños proveedores del servicio de agua en Colombia. *Universidad de Antioquia*, (1), 83-86. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/4032/1/ValenciaGerman_2008_LuchaEstadoProveedoresAgua.pdf