

DISEÑO DE UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA POTABILIZACIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL ACTUAL ACUEDUCTO COMUNITARIO LA
CONCEPCIÓN EN VILLAVICENCIO, META



ANDRES FELIPE IBAÑEZ SANABRIA
MAYRA ANGELICA LADINO BOTERO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2022

DISEÑO DE UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA POTABILIZACIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL ACTUAL ACUEDUCTO COMUNITARIO LA
CONCEPCIÓN EN VILLAVICENCIO, META

ANDRES FELIPE IBAÑEZ SANABRIA
MAYRA ANGELICA LADINO BOTERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero/a Ambiental

Asesor
JAIR ESTEBAN BURGOS CONTENTO
Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2022

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O. P.

Rector General

P. EDUARDO GÓNZALEZ GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCIA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBON

Secretaria de División Sede Villavicencio

WILLIAM PEÑARANDA ZARATE

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicatoria

Dedicado a nuestras familias y a los seres queridos que ya no nos acompañan en vida.
Todos nuestros logros son de ellos.

Agradecimientos

En primer lugar, a Dios, por la sabiduría y fortaleza que nos concedió para la formación que hemos alcanzado no solo en estos cinco años de carrera profesional sino a lo largo de nuestra vida. A nuestros padres quienes siempre nos han demostrado su apoyo incondicional y quienes a través de su ejemplo forjaron nuestros valores que nos impulsan a ser mejores personas cada día.

A la universidad por los conocimientos aportados en estos cinco años y a los profesores por ser transmisores de esos conocimientos. A nuestros compañeros con quienes compartimos la formación, de la cual quedan bastantes anécdotas para la vida.

Contenido

Pág.

Resumen	13
Abstract	14
1. Introducción	15
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo general	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. Antecedentes	18
4. Marco Teórico	21
5. Metodología	25
5.1 Fase 1: Diagnóstico del estado actual de la planta de tratamiento de agua potable de acuerdo a su diseño hidráulico y la eficiencia fisicoquímica y microbiológica del tratamiento	25
5.2 Fase 2: Simulación del comportamiento hidráulico del agua en la red de distribución del acueducto comunitario por medio de EPANET versión 2.0.12 conociendo el estado de caudales y presiones	27
5.3 Fase 3: Propuesta de una alternativa que permita mejorar el funcionamiento del servicio de abastecimiento de agua	28
6. Análisis y discusión de resultados	29
6.1 Fase 1	29
6.1.1 Información sobre el sistema de abastecimiento	29
6.1.2 Descripción del acueducto comunitario	30
6.1.3 Estimación de caudal necesario	34
6.1.4 Estado físico de los componentes	38
6.1.5 Descripción de los procesos unitarios y sus parámetros hidráulicos	39
6.1.5.1 Desarenador.	39
6.1.5.2 Mezcla rápida.	42
6.1.5.3 Floculador tipo Alabama	43
6.1.5.4 Sedimentador	44

6.1.5.5 Filtración	45
6.1.5.6 Almacenamiento	46
6.1.5.7 Laboratorio.....	47
6.1.6 Parámetros físico-químicos y microbiológico	47
6.1.6.1 Muestreo 01/10/2021	47
6.1.6.2 Muestreo 26/11/2021	48
6.1.6.3 Muestreo 01/12/2021	48
6.1.6.4 Muestreo 02/12/2021	49
6.1.6.5 Muestreo 03/12/2021	49
6.1.6.6 Comportamiento pH, turbidez y conductividad en desarenador.....	50
6.1.6.7 Comportamiento pH, turbidez y conductividad PTAP.	51
6.2 Fase 2	52
6.2.1 Medición de presiones	52
6.2.1 Simulación del modelo	52
6.3 Fase 3	58
6.3.1 Propuesta de una alternativa que permita mejorar el funcionamiento del servicio de abastecimiento de agua.	58
6.3.2 Aumento de diámetro de tubería en zonas con presiones por debajo de 10 m.c.a.....	60
6.3.3 Instalación de medidores domiciliarios.....	61
Impacto social y humanístico.....	62
Conclusiones	63
Recomendaciones	65
Referencias bibliográficas.....	66
Anexos	70

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Check list	29
Tabla 2. Puntos de muestreo en red de distribución	33
Tabla 3. Consumo por área	34
Tabla 4. Industrias conectadas a la red de distribución	35
Tabla 5. Muestreo de presiones en red de distribución.....	52
Tabla 6. Presiones simuladas vs observadas.....	56
Tabla 7. Estado físico actual de los dispositivos de tratamiento.....	73
Tabla 8. Dimensiones y parámetros hidráulicos del desarenador.....	74
Tabla 9. Velocidades desarenador con un caudal promedio de entrada 16 L/s.	77
Tabla 10. Dimensiones del mezclador hidráulico.....	79
Tabla 11. Dimensiones del floculador	79
Tabla 12. Parámetros hidráulicos del floculador	80
Tabla 13. Parámetros hidráulicos sedimentador	80
Tabla 14. Parámetros hidráulicos del filtro.....	81
Tabla 15. Parámetros lecho filtrante	81
Tabla 16. Muestra desarenador 01/10/2021.....	82
Tabla 17. Muestra desarenador 26/11/2021.....	82
Tabla 18. Muestreo en red de distribución 26/11/2021	83
Tabla 19. Muestra desarenador 01/12/2021.....	83
Tabla 20. Muestra de PTAP 01/12/2021.....	84
Tabla 21. Muestra sedimentador 01/12/2021.....	84
Tabla 22. Muestra del filtro rápido 01/12/2021	84
Tabla 23. Muestra desarenador 02/12/2021.....	85
Tabla 24. Muestra de PTAP 02/12/2021.....	85
Tabla 25. Muestra de sedimentador y filtro de PTAP 02/12/2021	85
Tabla 26. Muestreo en red de distribución 02/12/2021	86
Tabla 27. Muestra desarenador 03/12/2021.....	86
Tabla 28. Muestra de PTAP 03/12/2021.....	86

Tabla 29. Muestra de sedimentador y filtro de PTAP 03/12/2021	87
Tabla 30. Escenarios creados para la simulación.....	88
Tabla 31. Resultados de test de jarras	90

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Delimitación del área de trabajo.....	30
Figura 2. Planta de tratamiento de agua potable compacta.....	31
Figura 3. Planta de tratamiento de agua compacta de la vereda La Concepción.....	31
Figura 4. Desarenador de la vereda La Concepción	32
Figura 5. Censo poblacional	34
Figura 6. Lectura medidores industriales instalados en octubre	36
Figura 7. Lectura medidores industriales presentes en noviembre	36
Figura 8. Lectura medidores industriales presentes en diciembre.	37
Figura 9. Estado de la PTAP compacta	38
Figura 10. Estado de bombas y tanque dosificador	39
Figura 11. By-pass hacia la PTAP	40
Figura 12. Macromedidor	40
Figura 13. Entrada desarenador	41
Figura 14. Desarenador	41
Figura 15. Cono de mezcla rápida.	42
Figura 16. Cámaras de floculador tipo Alabama.	43
Figura 17. Estado sedimentador PTAP.....	44
Figura 18. Filtro rápido PTAP	45
Figura 19. Tanque de almacenamiento	46
Figura 20. Tubería de salida de PTAP	46
Figura 21. Comportamiento pH desarenador.....	50
Figura 22. Comportamiento conductividad desarenador.....	50
Figura 23. Comportamiento turbidez desarenador.....	50
Figura 24. Comportamiento pH en PTAP.....	51
Figura 25. Comportamiento conductividad en PTAP.....	51
Figura 26. Comportamiento turbidez en PTAP	51
Figura 27. Red de distribución en Epanet v. 2.0.12	53
Figura 28. Informe de presiones Epanet v. 2.0.12	54

Figura 29. Red de distribución calibrada	55
Figura 30. Informe de presiones calibrado	56
Figura 31. Simulación con aumento de diámetro	60
Figura 32. Metodología del trabajo.....	70
Figura 33. Registro consumo caudal consumido en la Concepción septiembre-octubre de 2021.	74
Figura 34. Registro consumo caudal consumido en la Concepción finales de octubre del 2021.	75
Figura 35. Registro consumo caudal consumido en la Concepción, noviembre del 2021.	75
Figura 36. Registro consumo caudal consumido en la Concepción diciembre del 2021	76
Figura 37. Registro consumo caudal consumido en la Concepción diciembre del 2022.	76
Figura 38. Registro consumo caudal consumido en la Concepción mensual.	77
Figura 39. Numeración de los nodos de la red de distribución.....	87
Figura 40. Zonas de aplicación de factores multiplicadores	88
Figura 41. Demandas base ajustadas para calibración.....	89
Figura 42. Resultados de analítica Caño La Candelaria	91

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1. Diagrama de la metodología	70
Anexo 2. Memorias de cálculo sobre caudal de abastecimiento La Concepción	70
Anexo 3. Estado físico actual de los dispositivos de tratamiento	73
Anexo 4. Dimensiones y parámetros hidráulicos del desarenador	74
Anexo 5. Lectura de medidores de industrias	74
Anexo 6. Velocidades en el desarenador	77
Anexo 7. Parámetros hidráulicos del cono de mezcla rápida	78
Anexo 8. Parámetros hidráulicos del floculador	79
Anexo 9. Parámetros hidráulicos del sedimentador	80
Anexo 10. Parámetros hidráulicos del filtro	81
Anexo 11. Espesor del lecho filtrante	81
Anexo 12. Resultados muestreos físico-químicos por fechas	82
Anexo 13. ID de nodos, valores de demandas base y zonas de aplicación de factores multiplicadores y escenarios	87
Anexo 14. Test de jarras en laboratorio	90
Anexo 15. Analítica del laboratorio Dra. Amparo Restrepo en Caño La Candelaria	91

Resumen

El propósito de este trabajo es diseñar una alternativa para mejorar la potabilización y distribución de agua a partir del diagnóstico del estado actual del sistema de agua del acueducto comunitario la Concepción, ubicado en el municipio de Villavicencio, Meta mediante una metodología cuantitativa, de tipo descriptiva, exploratoria, no experimental. Para ello se recopiló información base sobre el acueducto comunitario la cual fue complementada a través del trabajo de campo para así desarrollar el diagnóstico de la planta de tratamiento de agua potable y la simulación en periodo estático de la red de distribución en Epanet 2.0.12 dada las condiciones actuales de operación del sistema, todo lo anterior para ser comparado con lo establecido en el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2017 y la Resolución 2115 de 2007.

Como principales hallazgos se evidencio que se está suministrando a la población aproximadamente 15,40 l/s, estando por encima de lo teóricamente necesario (7,04 l/s) para el abastecimiento de la población. Por su parte, la planta de tratamiento de agua tiene capacidad para tratar 7 l/s, es funcional y se encuentra fuera de servicio al no responder a la demanda actual de la vereda además de no saberse operar, en cuanto a la red de distribución la simulación refleja que presenta bajas presiones en las zonas inferiores del sector y diámetros de tubería por debajo de lo recomendado en el Artículo 63 del RAS 2017. Se concluye que el acueducto comunitario requiere de una instalación de medidores para regular el caudal necesario a suministrar, aumentar el diámetro de tubería en las zonas de baja presión. Se propone una posible alternativa para mejorar la potabilización del agua dado que únicamente se emplea un desarenador.

Palabras Clave: Sistema de agua, tratamiento, red de distribución, simulación.

Abstract

The purpose of this work is to design an alternative to improve water purification and distribution based on the diagnosis of the current state of the water system of the community aqueduct La Concepción, located in the municipality of Villavicencio, Meta, through a quantitative, descriptive, exploratory, non-experimental methodology. For this purpose, base information was collected on the community aqueduct which was complemented through field work in order to develop the diagnosis of the drinking water treatment plant and the simulation in static period of the distribution network in Epanet 2.0.12 given the current operating conditions of the system, all the above to be compared with the provisions of the “Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2017” and resolution 2115 of 2007.

As main findings, it was evidenced that approximately 15.40 l/s is being supplied to the population, being above what is theoretically necessary (7.04 l/s) to supply the population. For its part, the water treatment plant has the capacity to treat 7 l/s, it is functional and is out of service as it does not respond to the current demand of the hamlet in addition to not knowing how to operate, as for the distribution network the simulation reflects that it presents low pressures in the lower areas of the sector and pipe diameters below the recommended in article 63 of the RAS 2017. It is concluded that the community aqueduct requires the installation of meters to regulate the necessary flow to be supplied, increase the pipe diameter in the low-pressure areas. A possible alternative is proposed to improve water purification since only one sand trap is used.

Key Word: Water system, treatment, distribution network, simulation.

1. Introducción

En la ciudad de Villavicencio, Meta, el servicio de agua prestado por la empresa de acueducto y alcantarillado (EAAV) solo cubre aproximadamente el 86% de la ciudad, por lo que a raíz de esto y otros factores se han ido conformando los llamados acueductos comunitarios para satisfacer las necesidades hídricas de los habitantes en óptimas condiciones de potabilización (Rivera, 2017). Tanto así, que estos llegan a ser 86 en las zonas urbanas mayoritariamente en la comuna 8 y son 22 en las zonas rurales, presentándose principalmente en barrios como Playa Rica, Villa Lorena, Las Mercedes, La Concepción, Villa del Río, Porfía, entre otros (Dirección de Servicios Públicos Domiciliarios & Secretaría de Planeación, 2018).

Estos acueductos comunitarios son concebidos como sistemas de abastecimiento de agua cuyo fin es suministrar el recurso cumpliendo con características físico-químicas y microbiológicas adecuadas para consumo humano y reguladas en Colombia por la Resolución 2115 de 2007, buscando en lo posible una cantidad, calidad y continuidad en el servicio prestado durante el tiempo para el cual fue proyectado teniendo en cuenta el sistema de tratamiento como la red de distribución.

Sin embargo, dichos objetivos no siempre logran ser cumplidos a causa de diferentes inconvenientes que pueden afectar el óptimo funcionamiento del mismo y que en ocasiones no llegan a ser identificados por falta de un diagnóstico o seguimiento que sirvan como insumo para proponer soluciones frente a las circunstancias que se presenten. Tal caso ocurre en el acueducto comunitario La Concepción, ubicado en el corregimiento número uno de la ciudad de Villavicencio, Meta, el cual cuenta con una planta de tratamiento de agua potable fuera de servicio desde hace ocho años y que desde aquel tiempo no ha recibido ningún tipo de diagnóstico para identificar las razones que llevaron a que esta no sea operada actualmente, sin embargo, teniendo en cuenta que un acueducto consiste en un sistema, nace la necesidad de estudiar tanto la planta de tratamiento como la red de distribución mediante la cual se suministra el agua a la población objeto.

En función de lo anterior, el objetivo principal de este trabajo fue diseñar una alternativa que permitiera mejorar la potabilización y distribución de agua a partir de un diagnóstico del actual sistema de agua del acueducto comunitario la Concepción. La metodología empleada es cuantitativa, exploratoria no experimental, donde se recolectó información teórica y se

efectuaron visitas técnicas para analizar muestras de agua potable de manera in-situ, ex-situ y también muestras en las presiones de la red de distribución como parte del diagnóstico propuesto que permitieron tener un acercamiento a la problemática presente en el acueducto y así mismo como fuente de información primaria para proponer la alternativa que pueda además de lo anterior expuesto contribuir al logro del objetivo de desarrollo sostenible 6: Agua limpia y saneamiento.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar una alternativa para mejorar la potabilización y distribución de agua a partir del diagnóstico del estado actual del sistema de agua del acueducto comunitario la Concepción, ubicado en el municipio de Villavicencio, Meta.

2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual de la planta de tratamiento de agua potable de acuerdo a su diseño hidráulico y la eficiencia fisicoquímica y microbiológica del tratamiento.
- Simular el comportamiento hidráulico del agua en la red de distribución del acueducto comunitario conociendo el estado de caudales y presiones en la misma.
- Proponer una alternativa que permita mejorar el funcionamiento del servicio de abastecimiento de agua en el acueducto comunitario La Concepción.

3. Antecedentes

Los temas relacionados al agua potable y saneamiento ambiental empezaron a incrementarse desde el año 2000 cuando fueron fijados los ocho propósitos de desarrollo humano por los 189 países miembros de las Naciones Unidas dentro de los cuales se encontraba Colombia con el plazo de cumplirlos para el año 2015. Dentro de estos el objetivo 7 “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente” planteaba cuatro metas, la implementación de principios y políticas de desarrollo sostenible encaminados a generar el bienestar de la población era una de ellas, por tanto, la mejora de los servicios, el acceso a agua potable y el saneamiento básico fueron las acciones necesarias para la prevención y solución de problemas entre ellos la reducción de la pobreza (United Nations, 2015). Para el 2015 la ONU en la agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible propuso el objetivo 6 “Agua limpia y saneamiento” lo que hace que hasta la actualidad haya diversos aportes en la literatura que permiten contextualizar el tema de estudio al ser referencias tanto nacionales como internacionales.

Un estudio de caso realizado en una estación de tratamiento de agua potable ubicada en el norte de Italia (Mortara, Pavia) aporta información valiosa para este proyecto ya que describen las fallas que pueden presentarse en el tratamiento del agua, como también el proceso que permite evaluar tanto el funcionamiento como el rendimiento de una planta de tratamiento. El objetivo del estudio consistió en “definir un procedimiento para evaluar el desempeño de las plantas de tratamiento de agua potable a gran escala y definir soluciones óptimas para la mejora de la planta con el fin de optimizar su operación”. La metodología usada se basó en cuatro fases, en la 1 y 2 se establecieron programas de monitoreo de rutina e intensivos, en la fase 3 se realizaron estudios experimentales y en la fase 4 se llevó a cabo la actualización y optimización de la planta. En los resultados se especifican aspectos críticos de la operación y se indican las soluciones factibles para la actualización de la ETAP con fines de optimizar la operación de tratamiento del agua (Sorlini et al., 2014).

En el año 2018 se realizó una evaluación técnica a la PTAP San Juan de Cerro Azul en Atahualpa que permitió identificar las causas que generaban falencias en el sistema y proponer alternativas donde se priorizará la rehabilitación y puesta en marcha de toda la fase operativa del sistema. Para ello en su metodología iniciaron juntando toda la información sobre este sistema de potabilización, calcularon caudales de diseño partiendo de una proyección poblacional de 20

años para determinar si el sistema precisaba un rediseño, en la última fase se evaluó el correcto funcionamiento de los dispositivos como también se analizó los parámetros físico-químicos y microbiológicos, encontrándose que la presencia de coliformes fecales excede los límites permisibles por la norma y que la planta solo realiza el 50% de funcionamiento para la que fue diseñada (Andrade Ochoa, 2018).

Una simulación hecha en el año 2018 para el mejoramiento de la red de distribución del sistema de acueducto AUACACT en Bogotá haciendo uso de EPANET versión 2.0.12 tenía por objetivos identificar zonas con problemas hidráulicos y puntos críticos, a partir de datos como diámetros de tubería, accesorios, longitudes, entre otros. Como valores agregados hicieron uso de la metodología de calibración CIACUA por su facilidad de aplicación y proximidad a las condiciones reales del sistema de distribución, en cuanto a las conclusiones encontraron que existen presiones en el sistema por encima de los valores máximos establecidos por el RAS 2017 y un sobredimensionamiento de la red de distribución además de recomendar instalar válvulas de purga y de regulación de presión (Godoy Alvarez & Cifuentes Cifuentes, 2018).

En el año 2018, Fonseca presenta una propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de la escuela de logística del ejército nacional, para ello realizaron un análisis de la información obtenida mediante las inspecciones técnicas y operativas que les permitió identificar las falencias en el cumplimiento con la legislación, con el fin diseñar una serie de alternativas de mejora en el sistema de agua potable para que perdure en el tiempo y tenga capacidad de abastecer a todos los usuarios con agua de calidad (Fonseca, 2018).

En el municipio de Nocaima en Cundinamarca, se realizó una propuesta de mejoramiento para la planta de agua potable, parte de este trabajo desarrollado en el 2019 consistió en realizar visitas de identificación de problemas tanto infraestructurales como operacionales, pruebas de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del agua en los procesos unitarios presentes y encuestas a los usuarios, concluyendo en que se debería optimizar los procesos de coagulación y floculación, así mismo mejorar el sistema de bypass (Caceres, 2019).

Masum, Alimed y Pal realizaron un modelado de sistemas de distribución de agua mediante EPANET 2.0, en su caso de estudio en la universidad de ingeniería y tecnología de Chittagon en Bangladesh. En donde simularon las condiciones actuales estimando demandas e identificando la presión en diferentes nodos y validando el modelo con presiones manuales. Como puntos clave de este trabajo se encontró que el agua distribuida por la red es de confianza

al cumplir con las presiones necesarias, pero para una demanda futura puede no funcionar con éxito por lo que sugieren cambios en el diámetro de la tubería (Masum, 2020).

4. Marco Teórico

El acueducto se definió a partir de la Ley 142 de julio de 1994 como un servicio de distribución de agua apta para consumo humano a una comunidad, el cual se compone de una parte técnica (conexión y medición) abarcando los procesos de captación, procesamiento, potabilización, conducción y transporte; y una parte empresarial constituida por personal administrativo que vela por el óptimo funcionamiento y mantenimiento de todos los dispositivos del sistema (Pizarro Montenegro, 2018). Así mismo, el Decreto 421 del año 2000, determinó lo siguiente en el Artículo 1: “Para los efectos de lo establecido en la Ley 142 de 1994, en cuanto a los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico, podrán prestar dichos servicios en municipios menores, zonas rurales y áreas urbanas específicas, las comunidades organizadas constituidas como personas jurídicas sin ánimo de lucro”.

El agua potable es un bien público indispensable para la vida y su importancia para la salud pública es mundialmente reconocida, aunque para ser considerada como potable requiere de cumplir con una serie de propiedades químicas, físicas y microbiológicas que se encuentran establecidas en el Decreto 1575 de 2007 y Resolución 2115 del mismo año para el país colombiano que permite el control y protección de la calidad del agua para el consumo humano que son tratadas en infraestructuras denominadas plantas de tratamiento de agua potable las cuales se encuentran construidas de acuerdo a los lineamientos del “RAS” y que a su vez deben tener una eficiencia de tratamiento (Rojas Vargas et al., 2017).

Esta eficiencia está vista como la efectividad en la remoción de determinadas sustancias y microorganismos en el tratamiento del agua, puede verse afectada por un inadecuado diseño. Con el fin de evitar lo anterior, toda planta de tratamiento de agua potable “PTAP” y sistema de distribución deben cumplir con mínimo una serie de aspectos estipulados por el RAS (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017).

El agua es tratada en una planta de tratamiento de agua, pero precisa tener una línea de transporte a presión por acción del flujo en las tuberías para poder abastecer a una comunidad y esto es denominado como red de distribución (Von Sperling et al., 2020).

En cuanto a la evaluación de los sistemas de distribución es necesario conocer algunos datos como diámetros de la tubería, longitudes, accesorios, además de presiones y velocidades que el agua tiene al transportarse a través de las tuberías, con el fin de cumplir con la normativa

vigente y de garantizar que el servicio prestado sea el adecuado, para esto se usan diferentes metodologías con software que buscan la simulación del comportamiento hidráulico real como por ejemplo, EPANET, el cual es desarrollado por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos y de dominio público, su propósito es el de simular la hidráulica del sistema de distribución y como es el comportamiento de la calidad del agua dentro de la misma (Godoy Alvarez & Cifuentes Cifuentes, 2018). Es indispensable aclarar que la presión es la fuerza del flujo de agua a través de una tubería u otro tipo de canal (Brunetti, 2012) y que en este software se debe ingresar en la unidad “Metro Columna de Agua (m.c.a)” siendo la presión ejercida en una columna de agua de un metro (Clark, 2011).

Como producto de la simulación se obtiene un modelo hidráulico conocido como la representación matemática que refleja los elementos de una la red de distribución (Teixeira Choeelho et al., 2006). Si este modelo representa la red en un único instante de tiempo se puede hablar entonces de un modelo estático (Molina Arce, 2014).

Con el fin de que los datos obtenidos en un software de simulación como EPANET sean lo más cercanos a la realidad, se hace uso de la calibración, esta consiste en el ajuste de los datos que describen el comportamiento del sistema objeto de estudio para que concuerden razonablemente con lo observado en campo, como producto de esto, una mayor coincidencia hace referencia a una buena calibración. Por ello, existen múltiples metodologías para calibrar, como métodos iterativo, algoritmos genéticos, método Monte Carlo, CIACUA, entre otros (Alves et al., 2014).

Con respecto a las plantas de tratamiento de agua potable, estas buscan reducir las propiedades no deseadas en el agua para cumplir con estándares de potabilización definidas por la legislación (Otero Torres & Rodríguez Rivera, 2020), las unidades a utilizar dentro de la planta dependen de las características que tenga el agua captada para tratar. Es primordial medir el caudal que ingresa a la PTAP para rectificar que el volumen tratado diariamente cumpla con el valor para el cual fue diseñada ya que con esto se puede garantizar el correcto funcionamiento de la misma, por ello existen determinados elementos primarios como la canaleta Parshall o el macromedidor que se encargan de esta tarea (Von Sperling et al., 2020).

Las plantas de tipo compacta como la estudiada en este trabajo, se constituyen básicamente por las siguientes operaciones unitarias de tratamiento:

Coagulación y floculación, aquí las impurezas presentes en el agua se agrupan por la acción del coagulante (sulfato de aluminio) en partículas más grandes que se pueden eliminar por decantación de manera eficiente (Corniciuc, 2015). Estos dos procesos junto con la sedimentación ocurren en una misma unidad.

La decantación realizada en sedimentadores de alta tasa, consiste en la sedimentación por gravedad de las impurezas sólidas y como resultado se obtiene el agua clarificada. A la salida de ese sistema el agua continúa hacia los filtros que se encuentran llenos de materiales granulares y antracita, allí se remueven pequeñas partículas que no se eliminaron en procesos anteriores reduciendo la turbidez (Maradona & Freitas, 2019). Finalmente, se concluye con desinfección y corrección química, el fluido pasara por cada dispositivo permaneciendo un lapso de tiempo conocido como tiempo de retención que hará que se efectué la función pertinente (Nazih K. Shammam et al., 2015).

Una vez culminado el tratamiento, el agua es transportada a través del sistema de distribución hasta el punto de consumo en los hogares en condiciones aptas siguiendo lineamientos establecidos en la Resolución 811 de 2008 la cual ordena puntos de muestreos en la red para el seguimiento de la calidad del agua para consumo humano, por otra parte, todos los dispositivos mencionados anteriormente deben estar acorde al reglamento técnico para agua potable establecido por la Resolución 0330 de 2017 y cumplir (Otero Torres & Rodríguez Rivera, 2020).

El software EPANET hace uso de diferentes teorías matemáticas que sustentan los resultados obtenidos por medio de este, algunas de las más conocidas son las utilizadas en las tuberías para poder calcular las pérdidas de carga o rugosidad por causa de la fricción (Vijay P. Singh, 2014), siendo tres las más importantes, la fórmula de Hazen Williams, Darcy-Weisbach y Chezy-Manning en las cuales existe un común denominador y es que todas se basan en la ecuación básica de pérdida de carga entre un nodo inicial y un nodo final dada por la siguiente expresión:

$$hL=AqB$$

Donde “hL” es la pérdida de carga, “q” es el caudal, “A” es el coeficiente de resistencia y “B” es el exponente del caudal (Rossman, 2017).

El caudal es definido como el agua que fluye a través de la Sección transversal de un conducto (Oliveira et al., 2017), puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$Caudal (Q) = Velocidad * Área$$

En las plantas de tratamiento de agua se habla del máximo consumo de agua registrado durante un día para un año o mejor conocido como caudal máximo diario (Oliveira et al., 2017). También se suele mencionar el mayor volumen de agua que pasa por el sistema durante cualquier hora del día (caudal máximo horario) (Wagner, 1959) que se usa para diseñar los dispositivos. Estos caudales se basan en la dotación bruta o cantidad de agua máxima necesaria que requiere un habitante para satisfacer sus necesidades básicas teniendo en cuenta el porcentaje de pérdidas que ocurren en el acueducto (Ministerio de Ambiente, 2009) y en la dotación neta que es lo mismo pero despreciando las pérdidas presentes en el sistema (Ministerio de Ambiente, 2009).

5. Metodología

El enfoque metodológico empleado en este trabajo fue cuantitativo, permitiendo determinar el diagnóstico del sistema de tratamiento de agua potable del acueducto comunitario. La Concepción, de tipo descriptivo, exploratorio, no experimental pues se realizó recolección de datos y muestras que fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás de Villavicencio, y en el laboratorio Amparo Restrepo como base para tener un primer acercamiento a la problemática de esta zona que nunca antes había sido abordada. Todo lo anterior con la finalidad de proponer una alternativa que permita mejorar el servicio del acueducto comunitario. Para la ejecución de este proyecto se establecieron tres fases que se comprenden por una serie de actividades necesarias para el cumplimiento de estas.

5.1 Fase 1: Diagnóstico del estado actual de la planta de tratamiento de agua potable de acuerdo a su diseño hidráulico y la eficiencia fisicoquímica y microbiológica del tratamiento

5.1.1 Recopilación de información sobre el acueducto comunitario

Se llevó a cabo trabajo de campo con la intención de obtener toda la información posible de operación que puede brindar el acueducto, tales como análisis de muestras de agua, planos de diseño, bitácoras de operación y mantenimiento, trazados de la red de distribución entre otros. Así de manera descriptiva se realizó un check-list referente a la información con la cual se contaba.

Se hizo una visita en el mes de septiembre con el fin de observar y describir el funcionamiento de cada uno de los procesos unitarios y así poder tener un acercamiento a la situación actual del sistema de tratamiento además de conocer en qué condiciones se encontraba operando actualmente la planta.

5.1.2 Análisis hidráulico actual de la planta

Se realizó en campo la toma de medidas físicas y de velocidad del desarenador ya que carecía de información documental base, lo anterior con la intención de consolidar los datos necesarios para identificar los diseños hidráulicos teniendo en cuenta que si se contaba con información de la planta de tratamiento de agua y poder contrastarlo con lo propuesto en el RAS 2017 Sección 3.

5.1.3 Reactivación de la planta

Partiendo de que la planta estaba fuera de servicio, se llevó a cabo un muestreo inicial a la entrada y salida del desarenador (dispositivo previo a la planta de tratamiento de agua potable compacta) para determinar los parámetros físico-químicos con los que ingresaba el agua a este punto y dialogar con la junta de acción comunal del acueducto el mantenimiento necesario para la reactivación de la planta de tratamiento de agua potable.

5.1.4 Análisis de las características físico-químicas y microbiológicas del agua

Se ejecutaron cinco visitas a campo para tomar muestras de agua en la entrada del tratamiento como a la salida en las condiciones actuales de potabilización del recurso en el acueducto, una en el mes de octubre, un muestreo en noviembre y tres en el mes de diciembre. Las características fisicoquímicas a monitorear fueron las principales establecidas por la Resolución 2115 de 2007 y que podían realizarse en el laboratorio de la universidad Santo Tomás de Villavicencio, por otra parte, los parámetros microbiológicos fueron analizados por el laboratorio Dra. Amparo Restrepo de Ávila, el cual se encuentra certificado por el Ministerio de Salud y Protección Social.

5.1.5 Cálculo de la eficiencia de la PTAP

Se calculó la eficiencia de remoción de los sólidos sedimentables, suspendidos y de la turbidez de manera general (entrada y salida de la planta) como también en dos partes del tren de

tratamiento como lo es el sedimentador y el filtro. La ecuación guía se evidencia de la siguiente manera:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Entrada} - \text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

5.2 Fase 2: Simulación del comportamiento hidráulico del agua en la red de distribución del acueducto comunitario por medio de EPANET versión 2.0.12 conociendo el estado de caudales y presiones

5.2.1 Medición de caudales y presiones

Se tomaron datos de caudal de entrada a la red de distribución por medio del registro del macromedidor como de presiones por medio de un manómetro en los puntos de muestreo disponibles en la red durante las visitas a campo realizadas en los meses de noviembre y diciembre en las condiciones de trabajo actual del acueducto. Dichos valores fueron utilizados para corroborar que los resultados obtenidos en el modelo hidráulico representaran las condiciones reales del sistema.

5.2.2 Simulación del modelo inicial

Se diseñó la red de distribución del acueducto comunitario en EPANET 2.0.12 basándose en un documento que poseía la junta de acción comunal y que fue realizado por la alcaldía municipal, además de datos tomados en campo y por medio de Google Earth, posteriormente se ingresaron los valores de diámetros en milímetros, cotas en metros, y demandas en litros por segundo a los nodos y tuberías establecidos en el software según el caso. Para las demandas asignadas a los nodos se hizo de acuerdo a la cantidad de casas, establecimientos comerciales e industrias aledañas a cada uno. Seguidamente se ejecutó la primera simulación del modelo inicial para un único instante de tiempo con el fin de verificar que no existieran errores en el modelo y este se pudiera ejecutarse sin problema alguno para compararlo con los datos obtenidos previamente.

5.2.3 Calibración del modelo estático por el método iterativo (ensayo y error)

Debido a que el modelo diseñado no representaba la realidad, este tuvo que ser calibrado de manera iterativa ya que se desconocía el estado actual de las variables que influyen en el funcionamiento de la red como son la rugosidad, pérdidas menores, emisores, entre otros (Godoy Alvarez & Cifuentes Cifuentes, 2018).

Para ello se crearon diferentes escenarios en los cuales al no tener medidores domiciliarios se multiplicaron las demandas bases por factores multiplicadores hasta conseguir que el error medio cuadrático global fuera inferior al 5%.

5.2.4 Interpretación del comportamiento hidráulico

Se identificó si el comportamiento hidráulico de la red cumple con lo establecido en el RAS 2017 respecto a presiones en los nodos y a los diámetros mínimos permisibles de tal forma que se pudiera proponer una posible solución a las deficiencias identificadas en la red de distribución del acueducto comunitario La Concepción.

5.3 Fase 3: Propuesta de una alternativa que permita mejorar el funcionamiento del servicio de abastecimiento de agua

Con base a la información alcanzada se diseñó una alternativa que podría dar solución a los aspectos identificados previamente mediante el uso de EPANET 2.0.12 y la literatura.

Por otro lado, el diagrama con el cual se sintetiza la presente metodología se encuentra en la Figura 32 del Anexo 1.

6. Análisis y discusión de resultados

6.1 Fase 1

Diagnóstico del estado actual de la planta de tratamiento de agua potable de acuerdo a su diseño hidráulico y la eficiencia fisicoquímica y microbiológica del tratamiento.

6.1.1 Información sobre el sistema de abastecimiento

Como parte descriptiva se realizó un check-list a fin de conocer con qué información se contaba como insumo para la ejecución de este trabajo, obteniendo así la siguiente Tabla:

Tabla 1. Check list

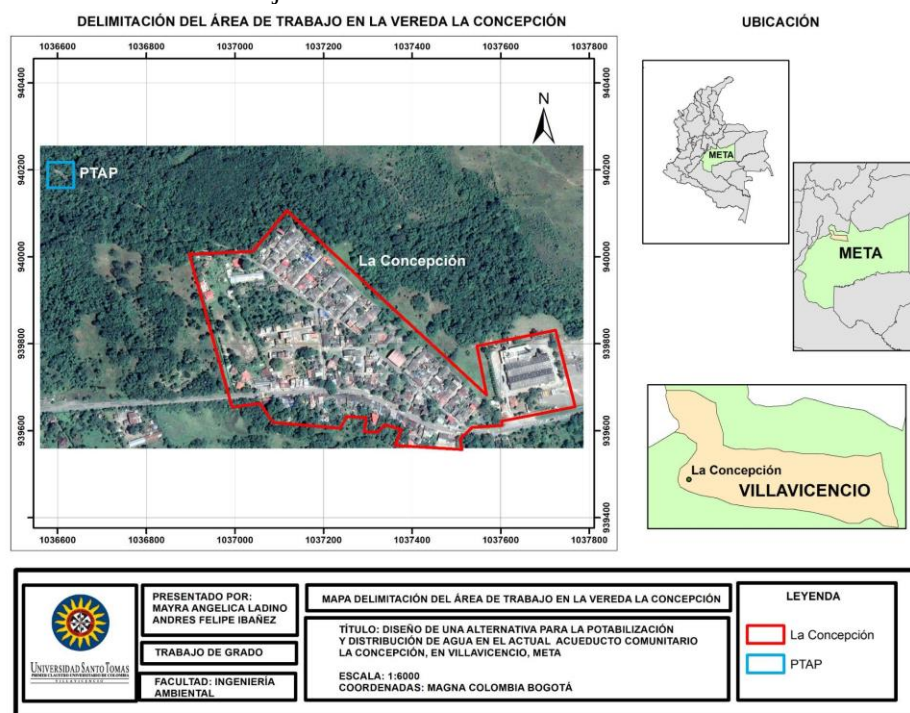
ITEM	SI	NO
¿Existe un plano de la red de distribución con los diámetros de las tuberías?	X	
¿Existe un documento con la información de la planta de tratamiento de agua potable?	X	
¿Hay un plano de los dispositivos de la planta de tratamiento de agua potable?		X
¿Se tiene un censo poblacional vigente de la vereda La Concepción?	X	
¿La vereda cuenta con medidores de consumo de agua en cada casa?		X
¿Se conoce de alguna manera el consumo de agua por casa?		X
¿Cuenta con macro-medidor el punto de salida de la planta de agua potable?	X	
¿Se cuenta con información o planos del desarenador?		X

Nota: Check-list utilizado para conocer la información base disponible para la ejecución del proyecto. Por Ibañez & Ladino (2021).

Se evidencia que se cuenta con información importante del acueducto como lo es el plano de la red de distribución y de un documento relacionado a la planta de tratamiento de agua potable la cual se encuentra fuera de funcionamiento actualmente y que son insumos para la consignación de la información presentada más adelante, sin embargo, se carece de datos como dimensiones del desarenador y de consumos de agua por casa ya que no hay medidores instalados en las viviendas ni comercios, entre otros.

6.1.2 Descripción del acueducto comunitario

Figura 1. Delimitación del área de trabajo



Nota: Mapa de delimitación del área de trabajo de la Vereda La Concepción, en Villavicencio, Meta. Por Ibañez & Ladino (2021).

El acueducto comunitario La Concepción está ubicado en el corregimiento número uno de la ciudad de Villavicencio sobre la vía al municipio de Acacias, satisface a 1273 habitantes según el censo poblacional que se realizó en el mes de agosto del año 2021 por la junta de acción comunal, además tienen una concesión de captación de aguas superficiales del caño La Candelaria para uso doméstico por 7,28 l/s.

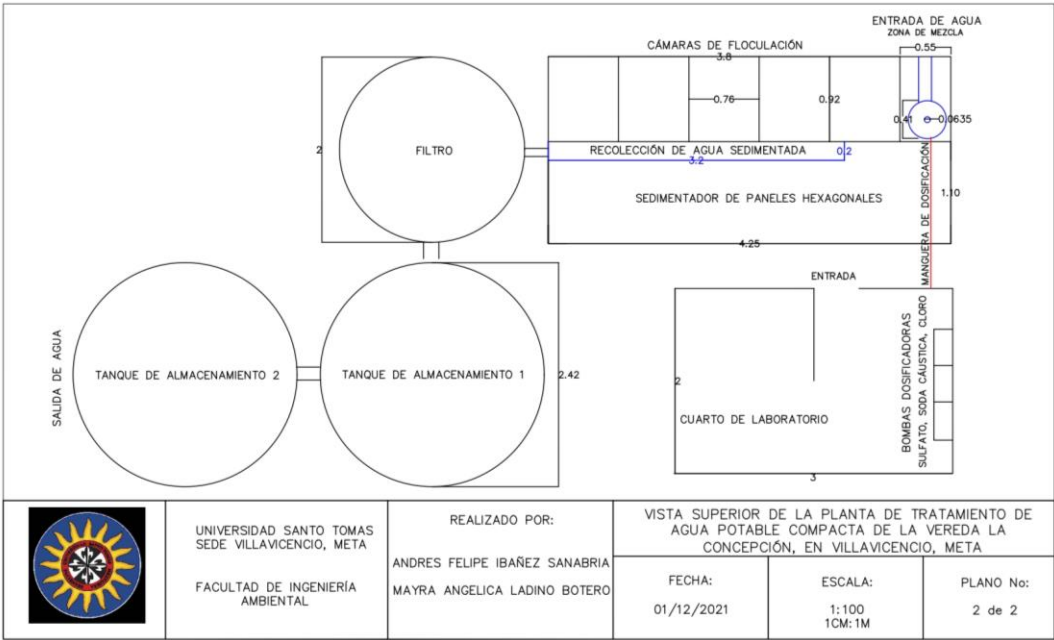
Cuenta desde 2011 con una planta de tratamiento compacta diseñada para tratar un caudal de 7 l/s (Figura 2), fue construida por la empresa SERVIACUEDUCTO LTDA y que a partir de variaciones en la calidad del agua del caño La Candelaria en cuanto a turbiedad y coliformes totales se diseñó con los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (Figura 3). Luego de su instalación y puesta en marcha estuvo activa un mes y hasta la fecha no ha vuelto a ser operada según información suministrada por la junta de acción comunal de la Concepción.

Figura 2. Planta de tratamiento de agua potable compacta



Nota: Estado actual de la planta de tratamiento de agua potable compacta de la vereda La Concepción vista desde afuera. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 3. Planta de tratamiento de agua compacta de la vereda La Concepción

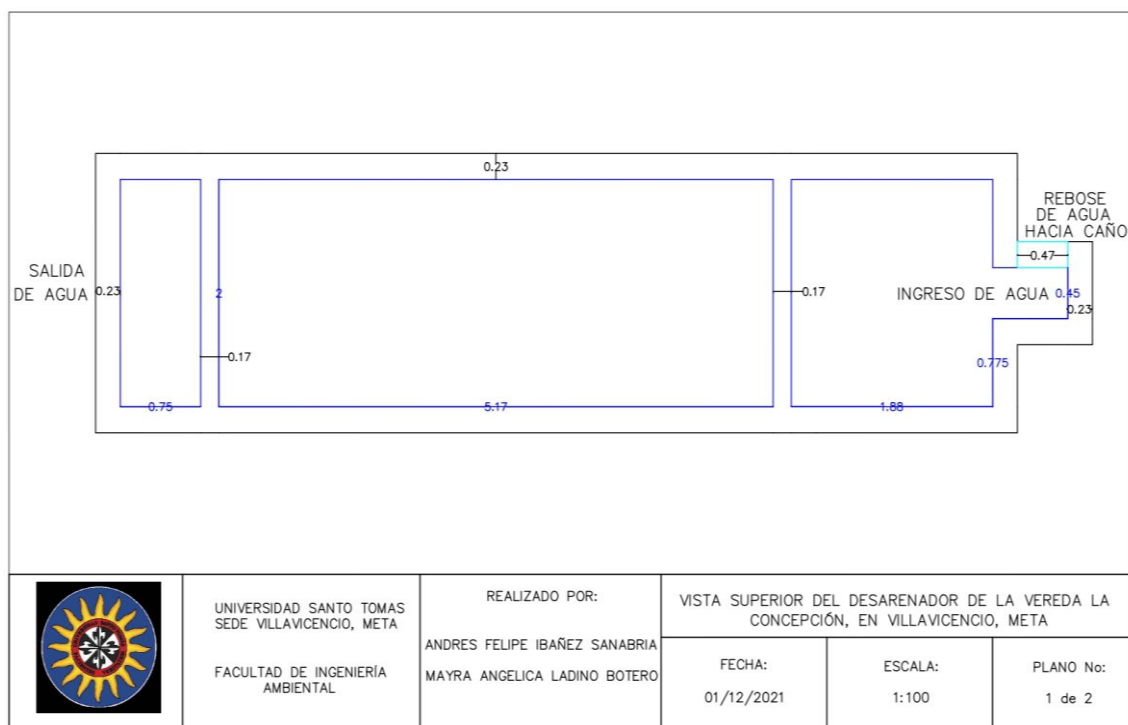


Nota: Vista desde planta de la PTAP Compacta de la vereda La Concepción. Por Ibañez & Ladino (2021).

La captación de agua en el acueducto se hace mediante una rejilla de fondo de 0,30 metros de ancho por 0,60 metros de largo, posteriormente es conducida por gravedad al sistema de tratamiento donde actualmente se comprende únicamente por un desarenador rectangular convencional de flujo horizontal teniendo en cuenta que la PTAP se encuentra fuera de servicio.

Sin embargo, dado el alcance de este trabajo, los resultados van enfocados al tren de tratamiento de agua potable atendiendo a la metodología propuesta, excluyendo así los procesos que anteceden al momento en que el recurso llega a este lugar. Por otro lado, es importante decir que el desarenador (Ver *Figura 4*) no fue construido por SERVIACUEDUCTO LTDA y es el dispositivo que actualmente opera para disminuir la turbiedad en el agua captada y distribuida a la población.

Figura 4. Desarenador de la vereda La Concepción



Nota: Vista desde planta del desarenador de la vereda La Concepción. Por Ibañez & Ladino (2021).

Respecto a la red de distribución, cuentan con cuatro puntos de muestreo de agua, sin embargo, no se le hace seguimiento a la calidad del agua en estos puntos ni a las presiones presentadas. En la siguiente Tabla se puede observar las coordenadas de dichos puntos.

Tabla 2. Puntos de muestreo en red de distribución

Punto de muestreo	Coordenadas	Descripción
1	4°3'24.71" N - 73°44'55.31" O	Salida de PTAP
2	4°3'12.67" N - 73°44'37" O	Carrera 20 con calle 8
3	4°3'6" N - 73°44'34" O	Al lado de la iglesia de la vereda
4	4°2'59.0" N - 73°44'21.94" O	Frente al parque a la salida del centro poblado vía Villavicencio

Nota: Ubicación de los puntos de muestreo en la red de distribución. Por Ibañez & Ladino (2021).

Según los documentos compartidos por la JAC sobre la planta de tratamiento de agua potable, se evidencio que las condiciones de diseño en cuanto a caudal fueron las que se presentaban en su momento, es decir, no se hizo una proyección a un horizonte de 25 años como lo establece el RAS en su capítulo 1 especialmente para asegurar que el caudal captado y tratado en la planta de agua potable fuera el suficiente para dar abasto a la vereda. Dicho caso fue igual para la solicitud de la concesión a la corporación, la cual se desglosa la siguiente manera:

Debido a que en el año 2011 no se contaba con un censo poblacional, se tomó la cantidad de suscriptores que para aquel año eran 420 y asumiendo 5 personas por casa, obtuvieron un total de 2100 habitantes, se adoptó una complejidad baja (100 L/hab*día) para un caudal máximo horario de 6,64 L/s, por otro parte se tomó una dotación de 40 L/hab*día para una escuela que contaba con 800 estudiantes en ese momento, resultando así un total de 0,18 L/s de dotación en la escuela y un caudal por concepto de población flotante de 0,46 L/s; relacionando todo lo anterior se obtuvo la concesión de captación de agua por 7,28 L/s.

Al contrastar lo mencionado previamente en las visitas a campo, se encontró que el caudal suministrado promedio es de 15,41 L/s para el abastecimiento de la vereda según registros del macro medidor. Teniendo en cuenta lo anterior, se calculó el caudal teórico necesario actual para satisfacer las necesidades hídricas actuales de la población partiendo del censo realizado recientemente por la junta de acción comunal y de esta forma determinar si es necesario una concesión mayor; en este orden de ideas se obtuvo lo siguiente.

6.1.3 Estimación de caudal necesario

Para poder obtener un resultado confiable, la JAC realizó un censo poblacional en el año 2021, consiguiendo así la siguiente figura:

Figura 5. Censo poblacional

ITEM	ruta 1	ruta 2	ruta 3	ruta 4	TOTAL
FAMILIAS	228	80	27	62	397
FAMILIAS VENEZOLANAS	21	1	4	2	28
PERSONAS VENEZOLANAS	81	6	19	10	116
NIÑOS	162	46	22	55	285
TERCERA EDAD	133	31	20	29	213
MUJERES	370	117	53	115	655
MUJERES EMBARAZADAS	3	0	0	3	6
HOMBRES	351	111	40	103	605
PERSONAS	726	233	92	222	1273

Nota: Censo poblacional a septiembre del año 2021 en la Vereda La Concepción de Villavicencio, Meta. Por la Junta de Acción Comunal de La Concepción (2021).

Con esta información se calculó el caudal máximo horario doméstico, comercial y educativo, estos cálculos se encuentran detalladamente en el Anexo 2. Por otro lado, en la siguiente Tabla se puede observar los caudales actuales necesarios para satisfacer a la vereda La Concepción incluyendo las industrias.

Tabla 3. Consumo por área

Área de consumo	Consumo		
	Cantidad	Factor de consumo	Caudal (l/s)
Doméstico	1273	140 L/(hab*día)	5,36
Educativo	800	50 L/(hab*día)	0,46
Comercial	50	6 L/(m ² *día)	0,57
Gravicon (Industria)	-	Medidor	0,17
Nabor Drilling (Industria)	-	Medidor	0,09
Finca Cumaribo	-	Medidor	0,12
Granja Agrocom ecoturística pollos	-	Medidor	0,19
Local (Choriparrilla)	-	Medidor	0,03
Agropecuaria Galeano Rueda y CIA SAS (Industria)	-	Medidor	0,05

Total (L/s)	7,04
-------------	------

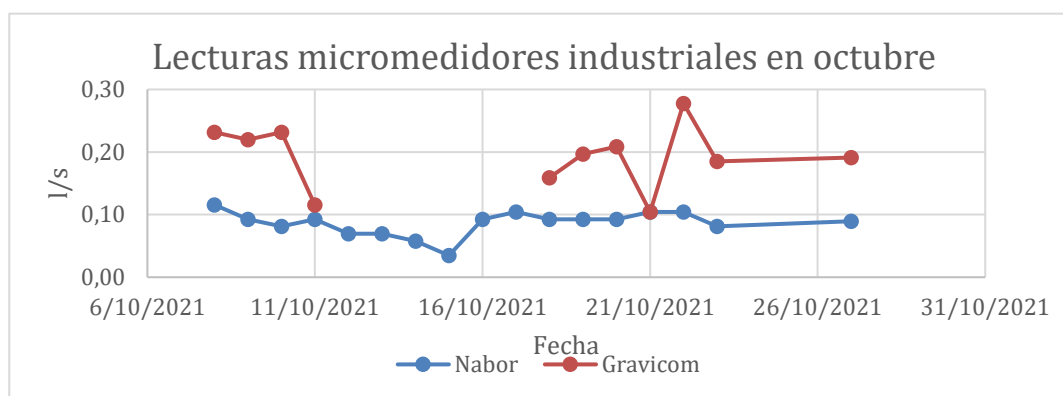
Nota: Caudal necesario para satisfacer las condiciones actuales de la Vereda La Concepción. Por Ibañez & Ladino (2021).

Según información de la JAC, los inscritos en el CARDEX son actualmente 6 industrias presentes en la zona, los micromedidores empezaron a ser instalados en el mes de octubre, los dos primeros fueron para las industrias Nabors drill y Gravicon, iniciando su registro el 6 de octubre, el tercero instalado fue el del molino el día 5 de noviembre, los dos siguientes que se instalaron para la empresa Cumaribo y el local Choriparrilla el 17 de noviembre del 2021, finalmente el ultimo instalado fue el 17 de enero del 2022 para la granja Gravicom. Sin embargo, en el mes de enero la empresa Cumaribo desistió de su captación por eso para el año 2022 no se realizó una lectura al registro según lo indicado por la junta de acción comunal. En función de lo anterior, las industrias que captan de la red de distribución y su principal actividad se evidencian en la Tabla 4, mientras que el comportamiento de sus consumos de acuerdo a la toma de lecturas se encuentra en las Figura 6, Figura 7, Figura 8.

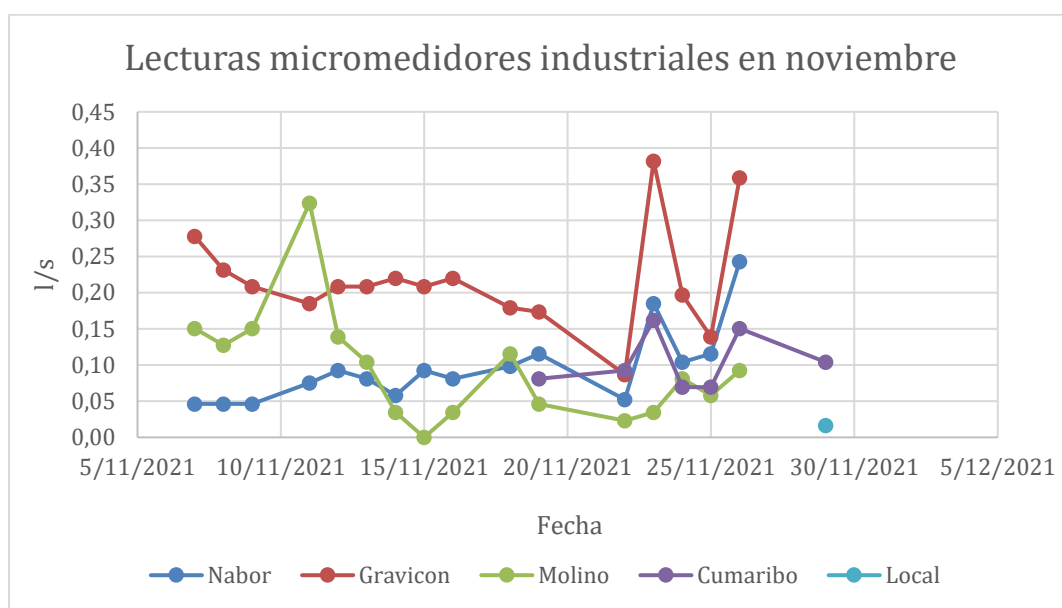
Tabla 4. Industrias conectadas a la red de distribución

Nombre	Actividad	Medidor de agua
Gravicon	Agregados pétreos	SI
Nabors Drilling	Extracción petrolera	SI
Finca Cumaribo	Ganadería	SI
Granja Agrocom	Agropecuaria	SI
Local: Choriparrilla	Venta de alimentos	SI
Agropecuaria Galeano Rueda y CIA SAS	Arrocera	SI

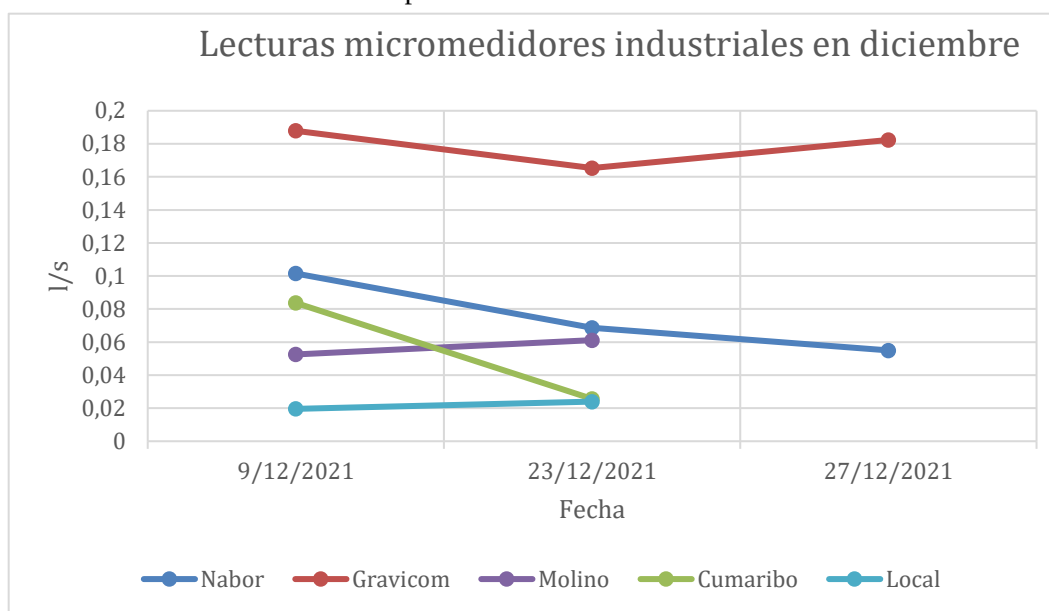
Nota: Industrias que captan agua del acueducto comunitario La Concepción, su actividad y si cuentan con dispositivos de medición de consumo. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 6. Lectura medidores industriales instalados en octubre

Nota: Comportamiento de consumo (L/s) de las industrias Nabor y Gravicon. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 7. Lectura medidores industriales presentes en noviembre

Nota: Comportamiento de consumo (L/s) de las industrias Nabor, Gravicon, Agropecuaria Galeano Rueda y CIA SAS, Cumaribo y Local Choriparrilla. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 8. Lectura medidores industriales presentes en diciembre.

Nota: Comportamiento de consumo (L/s) de las industrias Nabor, Gravicom, Agropecuaria Galeano Rueda y CIA SAS, Cumaribo y Local Choriparrilla. Por Ibañez & Ladino (2021).

No fue posible conseguir un registro constante de sus consumos debido a que las tomas de lecturas no se realizan a diario, por ejemplo, durante el mes de enero de 2022 únicamente se realizó la toma de mediciones el día 26 representando un consumo aproximado total industrial de 0,50 L/s entre la granja Agrocrom, Choriparrilla (0,03 l/s), Molino Galeano Rueda, Gravicom y Nabors Drilling respectivamente.

Siendo las cosas así , actualmente 7,04 L/s es la cantidad teórica necesaria de agua a suministrar en condiciones constantes a la población, valor que no supera los 7,28 L/s ya concesionados por la Corporación, es decir, se mantiene dentro de lo permitido y es una cantidad vigente hasta la fecha, por lo que es importante determinar cuáles son las posibles razones para que en campo este caudal no sea suficiente y se estén distribuyendo hasta 15,41 L/s. Siendo esta información de suma importancia para generar recomendaciones a la junta de acción comunal de la vereda.

6.1.4 Estado físico de los componentes

El día 04 de septiembre de 2021 se realizó una visita a campo con el fin de hacer el reconocimiento visual del estado de los dispositivos que componen la planta de tratamiento de agua potable (Ver Anexo 3). En la visita se revisó si habían fugas, daños o deterioros en los componentes de la planta, sin embargo, sus condiciones se encontraban en buen estado a excepción del tanque dosificador que precisaba de un mantenimiento, por otra parte, en el momento había agua estancada por más de 4 meses dentro de la planta (Ver *Figura 9*) por lo cual fue necesario que se le realizara una limpieza a la planta tanto interna como externa ya que esto iba a influir en los resultados microbiológicos teniendo en cuenta que la planta iba a encenderse para realizar un muestreo.

Figura 9. Estado de la PTAP compacta



Nota: Agua estancada y estado físico actual de los dispositivos de tratamiento de agua del acueducto comunitario La Concepción. Por Ibañez & Ladino (2021).

Las mangueras y tuberías mediante las cuales se dosifican los químicos al agua (en condiciones de operación) se encontraban desprendidas de los equipos de bombeo marca SEKO, además estas bombas se encontraban sin mantenimiento y desconectadas de los tanques donde se almacena la soda caustica, hipoclorito de sodio y sulfato de aluminio y este se encontraba oxidado (Ver *Figura 10*). Por otro lado, el laboratorio cuenta con un test de jarras, el cual no contaba con las jarras ni las paletas y los agitadores se encontraban oxidados. A partir de lo anterior, los dosificadores y el equipo de jarras fueron enviados a reparación por parte de la junta de acción comunal, sin embargo, estos no fueron entregados en el periodo de ejecución de ese trabajo.

Figura 10. Estado de bombas y tanque dosificador

Nota: Tanque de almacenamiento de químicos y bombas dosificadoras en mal estado. Por Ibañez & Ladino (2021).

6.1.5 Descripción de los procesos unitarios y sus parámetros hidráulicos

En función de los documentos suministrados por la JAC y de mediciones en campo se contrastaron algunos valores sobre las dimensiones de los dispositivos de la planta de tratamiento de agua potable con lo establecido por el RAS 2017 y la literatura de ser el caso.

6.1.5.1 Desarenador. Actualmente es el único dispositivo funcionando, no cuenta con información documental y no hace parte de la construcción de la planta de tratamiento compacta, según el fontanero fue construido aproximadamente 30 años atrás. Su objetivo es remover en lo posible la arena que trae el agua cruda captada y demás partículas en suspensión de gran tamaño (Spellman, 2014). Se caracteriza por ser convencional de flujo horizontal y presenta tres zonas en su estructura, la zona de llegada, de aquietamiento y de salida, cuenta con una válvula de regulación al inicio que permite gestionar la entrada de agua, adicionalmente tiene un vertedero lateral de rebose que permite retornar al cuerpo hídrico los excedentes de agua que ingresan a la estructura.

Se realizaron mediciones de este dispositivo para poder comparar los valores respecto al RAS ya que no existía información documental del mismo (Ver Anexo 4). Referente a las características hidráulicas, el RAS 2010 título B recomienda que la relación largo:ancho sea de

4:1, valor que cumple el desarenador. Por otro lado, el RAS 2017 hace énfasis en la profundidad, la cual debe estar entre 0,75 y 1,50 metros, rango que cumple al tener una de 1,50 metros, si bien es el máximo valor, el reglamento indica que esta puede ser hasta el 100% de la recomendada, finalmente el tiempo de retención en la estructura es de 24,37 minutos, cumpliendo ya que el reglamento establece un mínimo es de 20 minutos.

Se encontró que a la salida del desarenador existe un by-pass que dirige el agua directamente a la red de distribución como ocurre actualmente o hacia la planta de tratamiento en caso que esta sea operada (Ver Figura 11), en el punto de salida se encuentra instalado desde septiembre del año 2021 un macromedidor (Ver Figura 112) que permite hacer seguimiento a la cantidad de agua saliente únicamente del desarenador, siendo este valor en promedio 15,41 L/s desde los registros de septiembre hasta enero del 2022 cuyo mínimo caudal es 7,04 l/s y el máximo de 29,47 l/s (Ver Anexo 5).

Figura 11. By-pass hacia la PTAP



Figura 12. Macromedidor



Nota: Macromedidor y by-pass después del macro hacia PTAP o red de distribución. Por Ibañez & Ladino (2021).

Según los datos registrados en campo el desarenador cumple con los parámetros hidráulicos cuando se registra un caudal próximo a 15,40 l/s, de esta manera las velocidades en la cámara de aquietamiento y sedimentación son inferiores a 0,25 m/s con un valor promedio de 0,04 m/s de acuerdo a los valores reportados por el corrientometro Hach el día 3 de diciembre cuando se realizó un muestro físico-químico del que se hablara más adelante. Es importante que se cumplan estas velocidades para el correcto funcionamiento del sedimentador en la remoción de sólidos presentes en el agua y de esta manera la turbidez al ser el único dispositivo funcionando. Lo anterior en mención debido a que el fontanero abre o cierra la válvula de registro de acuerdo a la demanda diaria lo que ocasiona algunas veces que el agua se desborde del sedimentador y que las velocidades apropiadas no se cumplan. La Tabla de los datos de velocidad se encuentra en el Anexo 6.

Figura 13. Entrada desarenador



Figura 14. Desarenador



Nota: Turbulencia ingreso del desarenador y vista completa de los compartimientos siguientes. Por Ibañez & Ladino (2021).

6.1.5.2 Mezcla rápida. Es la primera parte de la planta de tratamiento de agua potable compacta, aquí ingresa el flujo de agua proveniente del desarenador para mezclarse con las sustancias químicas a aplicar. Según el RAS 2017, para plantas de tratamiento de media-baja complejidad se recomienda el uso de mezcladores hidráulicos, contrastando en campo se identifica que la planta cuenta con un cono de mezcla de este tipo, en su interior se genera un vórtice que garantiza la disolución de manera uniforme y rápida del sulfato de aluminio y soda caustica con el agua que ingresa. Posterior a esta etapa, el flujo ingresa al primer compartimiento o cámara de llegada del floculador donde se disipa la energía y empieza la formación de los flocs (Nazih K. Shammass et al., 2015) (Ver Figura 15).

Figura 15. Cono de mezcla rápida.



Nota: Cono de mezcla rápida en el cual ingresa el agua y se adicionan las sustancias químicas. Por Ibañez & Ladino (2021).

En cuanto a los parámetros hidráulicos de este dispositivo (Ver Anexo 7) se evidencia que el gradiente de velocidad en el cono es de 1118 s^{-1} , valor que se encuentra dentro del rango de 1000 y 3000 s^{-1} recomendado por el reglamento técnico para la correcta mezcla de las sustancias químicas con el agua, por otra parte, el tiempo de adsorción-desestabilización de las partículas suspendidas en el agua oscila entre 1 a 5 segundos buscando garantizar que el coagulante pueda actuar óptimamente. Finalmente, el borde libre del cono es de 0,2 metros, para lo cual Arboleda recomienda que este valor sea de 0,2 a 0,3 metros con el objetivo de que el flujo no se desborde de la estructura (Arboleda Valencia, 2000). En lo que compete con el tiempo de retención para un caudal de diseño de $0,007 \text{ m}^3/\text{s}$ el agua demanda un minuto en este proceso desde que ingresa por el cono de mezcla hasta que pasa por la cámara de llegada.

6.1.5.3 Floculador tipo Alabama. Una vez el flujo del agua desciende por el cono de mezcla, entra al floculador hidráulico tipo Alabama (Ver Figura 16) el cual cuenta con cinco cámaras de flujo vertical que garantizan la formación de flocs, se encuentra modificado ya que no cuenta con codos que transporten el agua hacia el siguiente compartimiento (característico de este tipo), sino que lo hace por medio de orificios, ahora bien , cada cámara cuenta con tuberías de salida inferiores para la extracción de lodos generados allí.

Figura 16. Cámaras de floculador tipo Alabama.



Nota: Proceso de floculación mediante cinco cámaras. Por Ibañez & Ladino (2021).

En cuanto a sus parámetros hidráulicos, el tiempo de retención durante el proceso es de 20 minutos, tiempo que se encuentra entre el rango de 20 a 40 minutos establecidos en el RAS 2017 en su Artículo 112 (Ver Anexo 8). De igual forma cumple con el rango de gradientes de velocidad en las cinco cámaras que lo componen de tal manera que la formación de flocs es el adecuado, sin embargo, existe la posibilidad de presentar problemas a causa de la velocidad en los orificios entre cámaras ya que según la literatura, la velocidad durante el paso de estos debería ser desde 0,20 a 0,40 m/s (Arboleda Valencia, 2000), al contrastarlo con la información presentada en el anexo 8, los orificios que conectan desde la primera a la tercera cámara de floculación no cumplen con esta condición, por tanto los flocs son propensos a rupturas durante estos traslados. Frente a lo anterior, lo recomendado es que los diámetros de los orificios

identificados se mantengan entre 0,15 a 0,19 metros y así adaptarse a los valores entre 0,20 y 0,40 m/s.

6.1.5.4 Sedimentador. La planta compacta cuenta con un sedimentador de alta tasa con paneles tipo colmena inclinadas a 60 grados (Ver Figura 17), el mecanismo empleado es la sedimentación acelerada mediante placas ya que una vez el agua llega a la última cámara del floculador sale a través de tubería hacia el sedimentador por la parte inferior donde se distribuye de manera uniforme y empieza a ascender, al entrar en contacto con las placas tipo colmena, los flocs formados previamente empiezan a precipitar y se acumulan lodos en la parte inferior que tienen que ser evacuados periódicamente (Arboleda Valencia, 2000). Una vez el agua llega a la altura por encima de las placas, rebosa e ingresa por medio de orificios a una canaleta de recolección para ser transportada hasta el filtro.

Figura 17. Estado sedimentador PTAP



Nota: Estado actual del sedimentador con tubos hexagonales tipo colmena de la PTAP compacta de la vereda La Concepción. Por Ibañez & Ladino (2021).

En cuanto al periodo de retención, este valor es de 19 minutos, tiempo que se encuentra dentro del rango de 10 a 20 minutos establecidos por el Artículo 113 del RAS 2017; Igualmente la carga superficial tomada para dimensionar el sedimentador de módulos hexagonales 6x6 es de $150 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, valor que se mantiene en lo recomendado para este tipo de dispositivos (Ver Anexo 9).

6.1.5.5 Filtración. La planta cuenta con un filtro rápido de lecho mixto, auto lavable, automático y no requiere de electricidad (Ver Figura 18), el agua proveniente del sedimentador entra al filtro de manera uniforme sobre los lechos de arena, grava y antracita, asciende por el colector de agua filtrada hasta el depósito localizado en la parte superior del mismo de donde se dirige a los tanques de almacenamiento. Sus parámetros hidráulicos comparados respecto al RAS pueden observarse en el Anexo 10 y Anexo 11.

Este cumple con la tasa de filtración ya que está dentro de los rangos establecidos, además la altura del lecho filtrante es 0,9 m también cumple con lo establecido en el título C del RAS 2010. Así mismo al considerarse un lecho mixto debe cumplir con los parámetros establecidos en el reglamento haciendo énfasis en su espesor, evidenciándose así en el Anexo 11 (Ministerio de vivienda, 2017). En lo que compete el tiempo de retención al tener un diámetro de dos metros y una altura del módulo de filtración de 3,2 metros se obtiene un volumen de 10 m^3 que requiere de un tiempo de 24 minutos para un caudal de $0,007 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 18. Filtro rápido PTAP



Nota: Unidad de filtro auto lavable de la PTAP compacta. Por Ibañez & Ladino (2021).

Finalmente, el tiempo total que transcurre desde la entrada de agua a la planta de tratamiento hasta su ingreso en el tanque de almacenamiento es de 64 minutos para un caudal de 7 L/s, es decir una hora y cuatro minutos.

6.1.5.6 Almacenamiento. Finalmente, una vez el flujo de agua pasa por los diferentes procesos que comprende la actual planta de tratamiento de agua potable de la vereda, esta ingresa a dos tanques disponibles para almacenamiento con capacidad de 10.000 litros cada uno e interconectados entre si (Ver Figura 19) para dar salida al agua hacia la red de distribución (Ver Figura 19).

Figura 19. Tanque de almacenamiento



Figura 20. Tubería de salida de PTAP



Nota: Tanque de almacenamiento de agua número 1 de 10000 litros y tubería de salida hacia la red de distribución desde la PTAP compacta. Por Ibañez & Ladino (2021).

6.1.5.7 Laboratorio. Consiste en un cuarto donde se encuentra el sistema de dosificación que funciona por gravedad y está integrado por un (1) tanque en PRFV (Poliéster Reforzado en Fibra de Vidrio) con tres divisiones para una capacidad de 400 litros donde deberían almacenarse los productos: Sulfato de aluminio, soda caustica y cloro líquido. El llenado de estos tanques, se realiza con la manguera y la tubería dejada para tal fin.

No se encuentra en óptimas condiciones físicas para análisis de muestras, cuenta con probetas, vasos precipitados, erlenmeyer, pero no con instrumentos de medición como multiparámetros, phmetro, entre otros para el seguimiento de la calidad del agua.

6.1.6 Parámetros físico-químicos y microbiológico

Se hicieron visitas a campo para la toma de muestras de agua los días 01/10/2021, 26/11/2021 y 1-2-3/12/2021 en la planta de tratamiento de agua potable y en el desarenador teniendo en cuenta que es el único que está operando actualmente. Las muestras referentes a la PTAP se hicieron los días 1, 2 y 3 de diciembre debido a que estuvieron en arreglo las cajas dosificadoras de la planta, sin embargo, estas finalmente no fueron entregadas e instaladas en los tiempos esperados por lo cual se muestreo sin dosificar químicos, es decir, atendiendo a las condiciones actuales del acueducto. No se hicieron muestras microbiológicas a la salida del desarenador debido a que en la zona de muestreo el recipiente es mayormente susceptible a contaminarse ya que se encuentra por debajo de la tubería con una inclinación hacia el suelo y es de dificultad el muestreo, el color en todas las visitas fue aceptable de acuerdo a lo visto.

En este orden de ideas se obtuvieron los siguientes resultados divididos por fechas de muestreo y contrastados con la Resolución 2115 de 2007 y porcentajes de remoción de ser el caso, las Tablas pueden observarse en el Anexo 12.

6.1.6.1 Muestreo 01/10/2021. Los parámetros muestreados con un caudal promedio de 15,40 l/s en el desarenador cumplen con lo establecido en la Resolución 2115 de 2007 en las condiciones actuales de operación, hay remoción de solidos sedimentables y suspendidos, aunque no se realizó muestreo microbiológico (Ver Anexo 12).

6.1.6.2 Muestreo 26/11/2021. Se analizó una muestra en el desarenador y en el punto de muestreo #2 de la red de distribución (Ver Anexo 12) para saber si había cambios significativos en el agua que se suministra, no se encontró parámetros físico-químicos fuera de los rangos de la Resolución 2115 de 2007, aumento en un 71% la turbidez y en 77% los sólidos en el agua , donde el primer dato tomado es a la salida del presedimentador y el ultimo es en la red de distribución, podría ser originado por falta de mantenimiento de la red de distribución .

6.1.6.3 Muestreo 01/12/2021. Aumentaron los sólidos suspendidos porque hubo cambio en el flujo de agua por demanda, lo que significó mayor volumen de agua a tratar, aumentando la velocidad dentro del desarenador causando la re-suspensión de los sólidos retenidos en la malla del mismo que se encuentra en la cámara de salida.

Se enciende la PTAP por primera vez sin dosificación de químicos por carencia de las bombas para tal fin y de las sustancias a aplicar, se toma una muestra microbiológica a la salida del tanque de almacenamiento cuyo resultado fue la remoción del 98% de Coliformes totales (ufc/100 ml) partiendo de que en la entrada del desarenador se encontraron 55 (ufc/100 ml). En cuanto a E. coli (ufc/100 ml) ingresaron 4 (ufc/100 ml) y se obtuvo una remoción del 100% en todo el proceso.

Se muestrea en el sedimentador para saber si cumple con su función de remover sólidos sedimentables, se encuentra que el agua entrante a la PTAP trae 0,01 (mL/L) de sólidos sedimentables por lo cual a la salida de este dispositivo este valor es cero, siendo eficiente en tal sentido la estructura, igualmente la turbidez disminuye en un 46,81 % entrando al sistema con 2,35 (UNF) y los demás parámetros se encuentran dentro de los rangos establecidos por la Resolución.

Igualmente se muestrea en el filtro, pero en este caso para conocer si cumple con su función de remover sólidos suspendidos, analizando la muestra se observa que en efecto cumple con su función disminuyendo este valor en un 57,78% respecto a cómo ingresaba el agua al sistema, sin embargo, se encuentra que el pH disminuye estando en 6,5 a la salida y esto se puede deber a que hay remanentes de cloración ya que antiguamente según lo relatado por el fontanero allí se realizaba la desinfección (Ver Anexo 12).

6.1.6.4 Muestreo 02/12/2021. El pH a la salida del tanque de almacenamiento se mantuvo dentro del límite permisible para consumo humano con 6,5 unidades de pH, aumentaron en un 20,75% los sólidos suspendidos respecto a lo que entraba, posiblemente se debe a una re-suspensión de partículas depositadas en el fondo del tanque ya que se encontraban llenándose.

Se evidencia remoción del 80% de sólidos sedimentables en el sedimentador y de 76,2% de sólidos suspendidos en el filtro, siendo eficientes por encima del 70% en la remoción de estas partículas, se mantiene un pH en el filtro por debajo del límite permisible para agua potable

Para saber si había algún cambio en los parámetros microbiológicos en la red de distribución se llevó a cabo un muestreo microbiológico en el punto número 3, encontrando que se presentó una remoción del 84,23% para coliformes totales desde el ingreso del agua cruda al desarenador hasta el punto de la red registrado razón por la cual resulta indispensable realizar la desinfección para alcanzar superar este porcentaje y que sea apta para consumo (Ver Anexo 12).

6.1.6.5 Muestreo 03/12/2021. La remoción de microorganismos desde el desarenador hasta la salida de la PTAP sin cloración fue de 98,61% para coliformes totales y del 100% para E. coli, sin embargo, es necesario que el valor de estos parámetros sea de cero, por tanto, no es apta para consumo humano.

Por otro lado, los dispositivos de la planta cumplen con la función de remover sólidos suspendidos y sedimentables a pesar de no dosificarse coagulantes durante todo el proceso. A la salida del filtro se obtuvieron 0,016 mg/L de sólidos suspendidos alcanzando una remoción del 62,79% respecto a lo que ingresaba, así mismo el sedimentador tuvo una eficiencia del 100% en remover los sólidos sedimentables presentes. Por el contrario, estos mismos parámetros aumentaron a la salida de los tanques de almacenamiento lo que indica que es necesario realizar una evacuación de sólidos sedimentables reposados en estos tanques y realizar un mantenimiento. Los demás parámetros cumplen con lo establecido en la Resolución 2115 del 2007 (Ver Anexo 12).

Finalmente, se gráfica el comportamiento entrada-salida de los parámetros pH, turbidez y conductividad para el desarenador (único dispositivo funcionando actualmente) y en la PTAP en los muestreos realizados durante su operación en los días 1-2-3 de diciembre de 2021, comparados respecto a lo permisible por la Res. 2115 de 2007, obteniendo así:

6.1.6.6 Comportamiento pH, turbidez y conductividad en desarenador.

Figura 21. Comportamiento pH desarenador

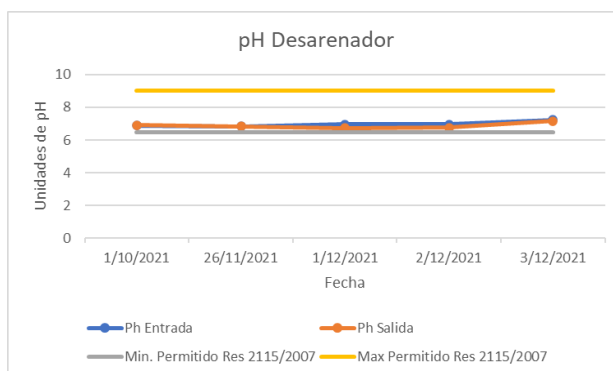


Figura 22. Comportamiento conductividad desarenador

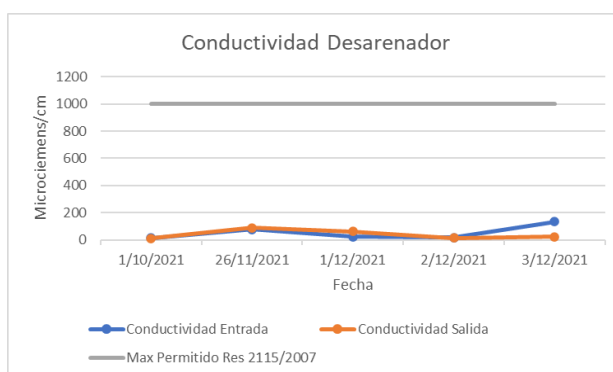
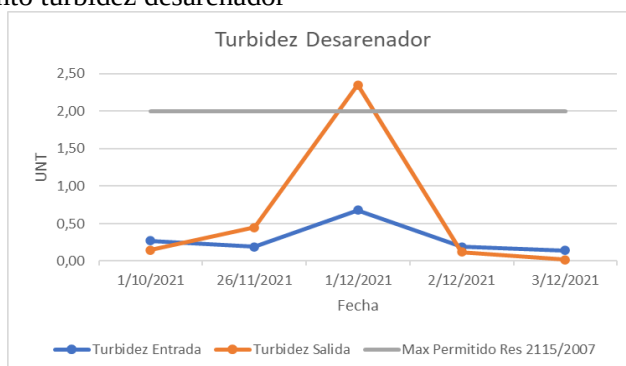


Figura 23. Comportamiento turbidez desarenador



Nota: Comportamiento de parámetros analizados en campo sobre el desarenador y regulados por la Res. 2115 de 2007. Por Ibañez & Ladino (2021).

Los tres parámetros se encuentran dentro de lo permitido por la Resolución en los días muestreados, sin embargo, el día 01/12/2021 la turbidez de salida del desarenador estuvo por

encima del máximo permisible, esto se debe a que en el momento hubo aumento del flujo de entrada re-suspendiendo las partículas ya sedimentadas.

6.1.6.7 Comportamiento pH, turbidez y conductividad PTAP.

Figura 24. Comportamiento pH en PTAP

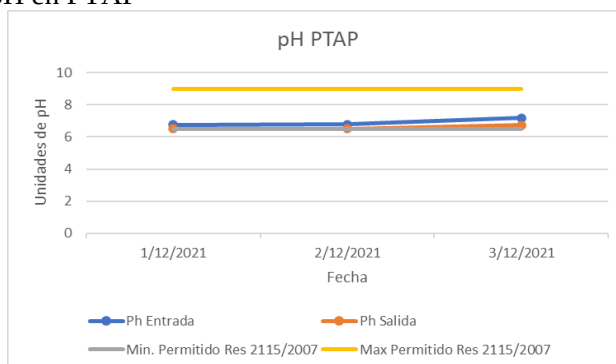


Figura 25. Comportamiento conductividad en PTAP

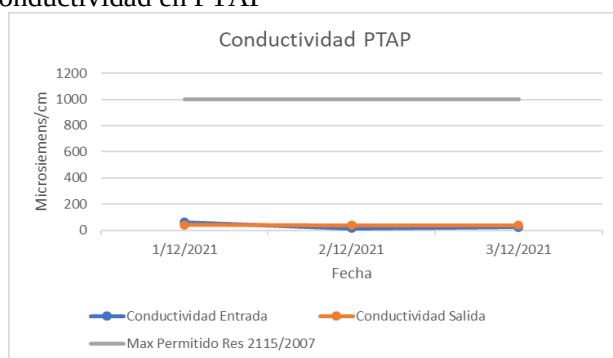
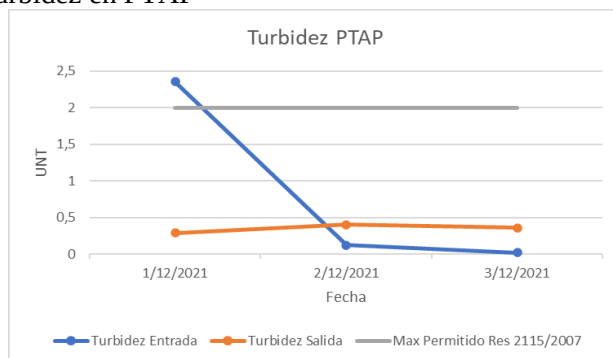


Figura 26. Comportamiento turbidez en PTAP



Nota: Comportamiento de parámetros analizados en campo sobre la PTAP y regulados por la Res. 2115 de 2007. Por Ibañez & Ladino (2021).

El pH disminuyó el día 02/12/2021 hasta llegar al mínimo límite permisible para agua potable (6,5), como se indicó anteriormente por posibles remanentes del proceso de la

desinfección que se realizaba allí. Los demás parámetros se mantuvieron dentro de lo permisible en cuanto a la salida de agua del tanque de almacenamiento.

6.2 Fase 2

Simulación del comportamiento hidráulico del agua en la red de distribución del acueducto comunitario por medio de EPANET versión 2.0.12 conociendo el estado de caudales y presiones.

6.2.1 Medición de presiones

De acuerdo al plano topográfico planimétrico de la red de distribución realizado por la alcaldía municipal en noviembre del año 2020, existen tuberías de PVC de 1 ½, 2 y 3 pulgadas en la vereda para el transporte de agua. La distribución del flujo se hace por medio de gravedad ya que las cotas desde el desarenador hasta la vereda lo permiten, además, en lo conversado con la JAC la edad aproximada de esta red es de 30 años.

Por medio de un manómetro se midieron en los puntos de muestreo de la red de distribución las presiones en diferentes fechas de visita en las condiciones de operación actuales, es decir no se hicieron cambios en el flujo para el muestreo de presiones, obteniendo así la siguiente Tabla.

Tabla 5. Muestreo de presiones en red de distribución

Punto de muestreo	26/11/2021	1/12/2021	2/12/2021	3/12/2021	Promedio	
	Presión (PSI)	Presión (PSI)	Presión (PSI)	Presión (PSI)	Presión (PSI)	P (M.C.A)
1	-	-	-	-	-	-
2	40	40	37	44	40,25	28,29
3	30	30	29	36	31,25	21,97
4	9	10	8	16	10,75	7,56

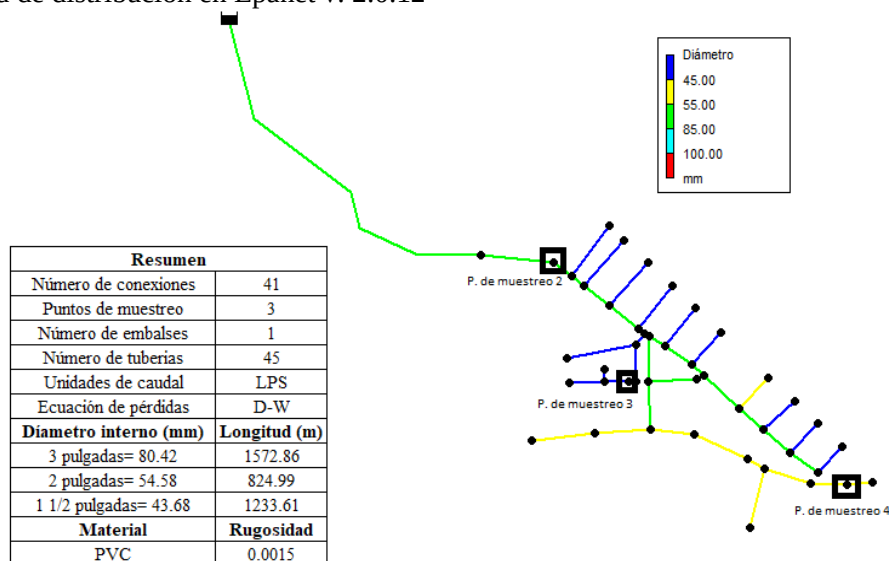
Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

6.2.1 Simulación del modelo

Tomando como guía el documento de la alcaldía municipal, se hizo la geometría de la red de distribución en EPANET v. 2.0.12 dentro de la cual se identificó un total de 41 nodos

interconectados hacia un embalse (desarenador dadas las condiciones actuales) y 4 puntos de muestreo de los cuales el primero no funcionaba durante las visitas. Para las tuberías se tomó como referencia de rugosidad un valor de 0,0015 conforme a la ecuación de Darcy-Weisbach que es utilizada en el software, además los diámetros ingresados corresponden al interno de cada pulgada identificada y extraídos del Manual Técnico Tubosistemas presión PVC de PAVCO (PAVCO Wavin, 2020), todo lo anterior se observa en la **Figura 27** donde las líneas corresponden a tuberías y los puntos a nodos de conexión.

Figura 27. Red de distribución en Epanet v. 2.0.12



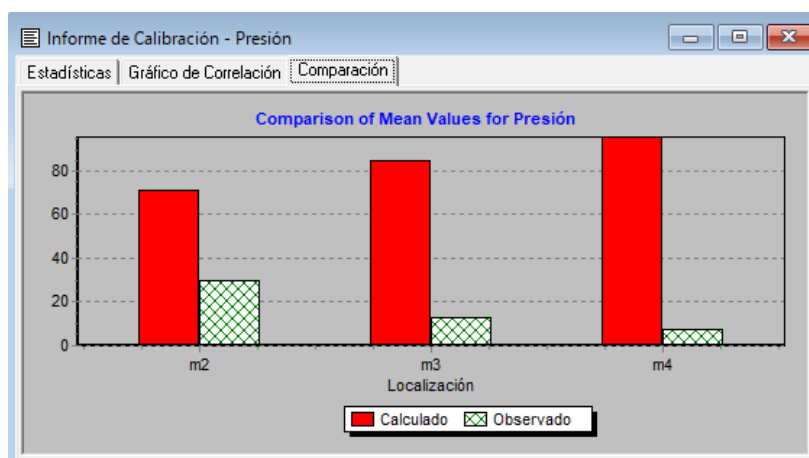
Nota: Geometría de la red de distribución en Epanet v. 2.0.12 e información base de trabajo. Por Ibañez & Ladino (2021).

Es importante destacar que los nodos denominados “m2, m3 y m4” corresponden a los puntos de muestreo, en relación a la asignación de números a cada nodo y tubería, no responde a ningún orden (Ver **Figura 41** del Anexo 13). Igualmente, al no contar con medidores domiciliarios ni comerciales, se asignaron demandas a cada nodo de acuerdo a la cantidad de casas/comercios cercanos a cada nodo multiplicados por una dotación dada en el RAS 2017 (140 L/hab*día por 5 personas por casa y 6 L/m2*día para establecimientos comerciales), por otro lado, se agregaron pérdidas por accesorios a las tuberías teniendo en cuenta que cada 6 metros de tubería se agrega una unión además de las pérdidas por Tee’s y por codos, entre otros, de tal manera que se agregara la mayor información posible al modelo.

Una vez ingresados los datos a los nodos y tuberías se realizó la simulación inicial, consiguiendo resultados sin ningún tipo de error, es decir un modelo funcional, sin embargo, al

comparar los datos arrojados en la simulación con lo medido en campo se encuentra que no hay semejanza en el caudal de salida del desarenador que en el modelo es de 5,6 L/s mientras que en campo es de mínimo de 7,05 L/s y en promedio de 15,41 L/s de acuerdo a los datos registrados por el macromedidor en los meses comprendidos entre octubre de 2021 hasta enero de 2022, en adición a esto, en las presiones (en metros columna de agua) dadas en los puntos de muestreo no hay concordancia como se observa en la **Figura 28** donde la barra de color rojo son los datos del modelo y de verde los medidos en campo, representando un error medio cuadrático de 69.492 % entre lo simulado y lo observado. Es de aclarar que el modelo se hizo para un escenario estático, es decir, para un único instante de tiempo (horas de la mañana) debido a la falta de información sobre el comportamiento del fluido en la red para generar un periodo de simulación extendido.

Figura 28. Informe de presiones Epanet v. 2.0.12



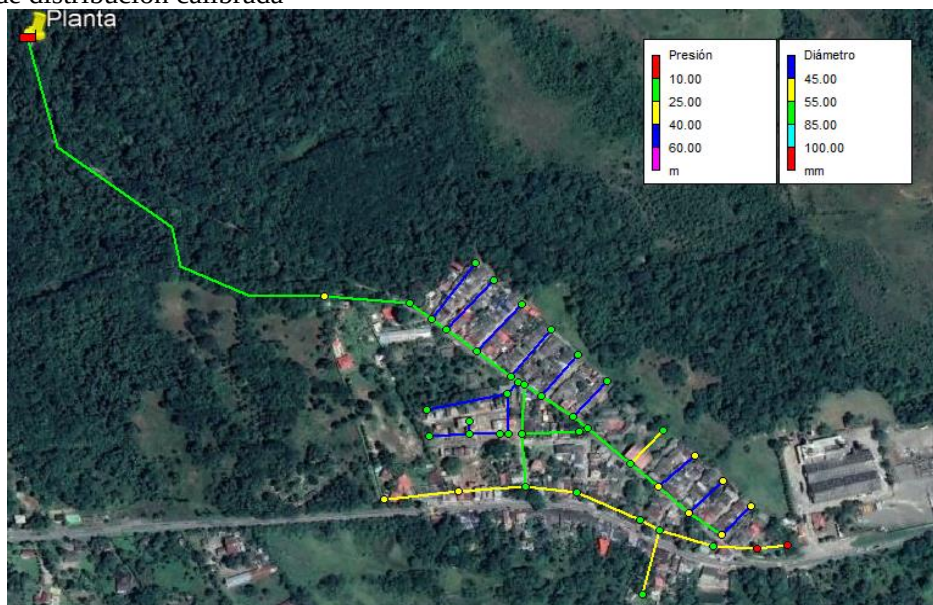
Nota: Comparación gráfica de valores de presión en metros columna de agua observados en campo y simulados por el software. Por Ibañez & Ladino (2021).

A raíz de esta diferencia se procede a calibrar el modelo de manera iterativa (ensayo y error) de tal forma que pueda acercarse lo mayor posible a la realidad para un único instante de tiempo, no se hace por medio de otra metodología debido a que se carece de información de medidores por lugar de consumo y de información de presiones por tiempos más extensos que comúnmente requieren estas. Por ello, se crean escenarios en los cuales se multiplican y redistribuyen las demandas bases asignadas a los nodos por factores multiplicadores buscando que el porcentaje de error entre lo observado y lo calculado sea lo más bajo posible en cuanto a presiones, de igual manera que el caudal de salida de embalse se aproxime al promedio diario.

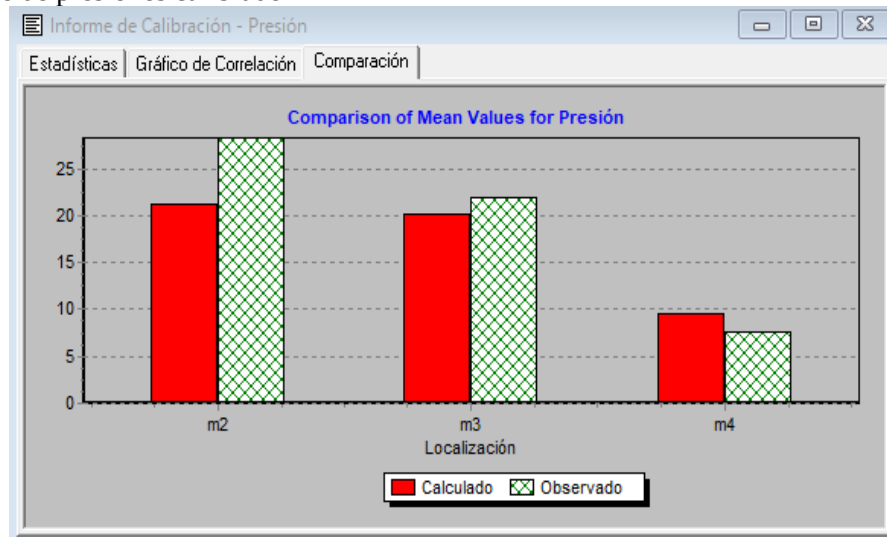
Se aplicaron dichos factores multiplicaciones en diferentes zonas, como por ejemplo la zona de comercio, mitad inferior, mitad superior, los resultados de los diferentes escenarios y clasificaciones por zonas se pueden apreciar en la **Figura 40** y **Tabla 30** del Anexo 13, en adición, los valores finales de demandas bases por nodo se observan en la **Figura 41**. Demandas base ajustadas para calibración. del mismo anexo.

Una vez comparados los diferentes escenarios obtenidos de diferentes simulaciones se tomó como punto de partida el escenario número 9 ya que era el que más se acercaba a los datos de presión medidos en campo y al caudal saliente del desarenador, además los valores arrojados se encontraban por encima de lo medido en campo, por lo que permitía poder trabajar sobre este escenario y acercarlo lo más posible a la realidad distribuyendo las demandas bases. En este orden de ideas se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 29. Red de distribución calibrada



Nota: Red de distribución calibrada lo más próximo a la realidad mediante validación de presiones. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 30. Informe de presiones calibrado**Tabla 6.** Presiones simuladas vs observadas

Punto de muestreo	Presión simulada (m.c.a)	Presión observada (m.c.a)	Diferencia (m.c.a)
m2	28,29	21,2	7,09
m3	21,97	20,07	1,9
m4	7,56	9,63	-2,07

Nota: Resultados de presiones simuladas a partir del modelo calibrado comparado con lo observado en campo. Por Ibañez & Ladino (2021).

Para que un modelo hidráulico se considere calibrado en cuanto a mediciones de presiones, estas pueden diferir hasta $\pm 3,5$ metros columna de agua frente a la realidad (Molina Arce, 2014). Contrastando esta diferencia con los valores de la Tabla 6, se identifica que los valores obtenidos en los puntos de muestreo 3 y 4 cumplen esta teoría, caso que no ocurre con el punto de muestreo 2 ya que hay relación entre los puntos de muestreo 2 y 3 lo cual implicaba que al aumentar demandas en diferentes nodos disminuía o aumentaba simultáneamente la presión en estos sectores, por otro lado, fue la calibración más apropiada del modelo teniendo en cuenta la información con la sé que contaba, pues este modelo representa un error medio cuadrático total de 4,4 %, significando que no hay variación considerable entre lo observado vs lo simulado.

Acerca del caudal, a partir del factor multiplicador y del ajuste de demandas por ensayo y error, el modelo trabajó con un caudal de salida del embalse de 14,08 L/s, valor que se aproxima a los 15,41 L/s promedio y que está por encima del mínimo de 7,05 L/s con los que se trabaja actualmente en el acueducto comunitario, considerándose así un valor confiable para los datos obtenidos.

Al estar ligado este trabajo al reglamento técnico RAS 2017, se comparan diferentes Artículos del mismo con lo encontrado durante el desarrollo del presente trabajo, por ejemplo, el Artículo 61 hace referencia a presiones mínimas en la red de distribución indicando que debe ser de mínimo 10 metros columna de agua para poblaciones menores a 12.500 habitantes, en relación a los resultados del modelo se aprecia que esta condición no se cumple hacia la zona del punto de muestreo número 4, al tener valores en campo de 7,56 y en el modelo de 9,63 m.c.a, por lo cual es importante aumentar la presión dinámica allí de tal forma que el agua llegue adecuadamente a estos puntos de la vereda y cumpla en concordancia al reglamento técnico. El Artículo 63 establece que el diámetro interno real mínimo para sectores rurales no debe ser inferior a 50 mm, contrastando con las características de la red actual, hacia las zonas de distribución en las viviendas estas cuentan con tuberías de pulgada y media con un diámetro interno de 43,68 mm, por tanto, no se está cumpliendo con esta condición, esto repercute en que a menores diámetros se pueden presentar menores presiones en los nodos, sin embargo, en las zonas de mayor consumo también se presentan mayores presiones. Las condiciones de solución en Epanet a partir de lo establecido por el RAS se presenta en los resultados de la fase 3.

El Artículo 73 del reglamento establece que se deben instalar medidores de caudal para la lectura de datos en mínimo cinco puntos en el sistema de suministro de los cuales cuatro aplican a este caso de estudio, relacionando esto al actual acueducto comunitario de La Concepción, únicamente se cumple con un punto de lectura a la salida de la planta de tratamiento que al día es únicamente el desarenador al tener instalado un macromedidor tipo Woltmann, claro está que, si se encendiera y operará la PTAP compacta existente no se estaría cumpliendo con este requisito al no tener un medidor instalado ni a la entrada ni a la salida de esta. El Artículo 75 argumenta que deben instalarse medidores domiciliarios para cada suscriptor individual, factor clave a trabajar en el acueducto al no contar con estos dispositivos minimizando la cantidad de información confiable para el diseño de modelos hidráulicos de este sistema.

6.3 Fase 3

6.3.1 Propuesta de una alternativa que permita mejorar el funcionamiento del servicio de abastecimiento de agua.

De acuerdo a las deficiencias identificadas a partir de toda la información consignada durante el desarrollo de este proyecto se propone una alternativa conjunta que podría dar solución o mejoramiento a dichos aspectos en cuanto a potabilización y distribución según sea el caso, siendo así la siguiente:

Se propone operar la planta de tratamiento de agua potable compacta para tratar los 7 L/s para la cual fue diseñada ya que el diagnostico refleja que en cuanto a parámetros hidráulicos y eficiencia de remoción cumple los criterios, aunque se requiere primero que se capacite al personal de operación en el ensayo de jarras para la correcta dosificaciones de coagulante, desinfectante y así mismo que pueda realizar pruebas diarias de seguimiento a las propiedades físico-químicas del agua y al mantenimiento que debe realizarse a la planta. En vista de que los dosificadores no estaban disponibles en el tiempo de muestreo de este trabajo, se realizó el test de jarras en el laboratorio de la universidad para que el acueducto conociera aproximadamente la cantidad de sulfato de aluminio tipo “A” requerido para hacer eficiente el proceso de coagulación, sin embargo, se recalca que el operario debe saber hacer el test de jarras ya que las dosificaciones varían de acuerdo a cambios en la calidad del agua entrante. A partir de lo anterior se determinó que según la calidad del agua en la fecha de ejecución se necesitaba dosificar 1 gramo por cada litro de agua (Ver Anexo 14), en lo que compete al análisis realizado por el laboratorio Dra Amparo Restrepo de Ávila en junio del año 2021, se debe dosificar 0,046 ml/L de cloro líquido al 15% para conseguir un cloro residual libre de 1,03 mg/L y cumplir con lo establecido en la Resolución 2115 de 2007.

En cuanto a los 8,40 L/s restantes del caudal promedio consumido, según la analítica realizada al caño La Candelaria en el mes de junio por el laboratorio, el flujo de agua presenta variaciones únicamente de turbidez y de coliformes (Ver Anexo 15), de modo que se propone realizar un tratamiento de filtración y desinfección (precedidos de una sedimentación en el desarenador) que se caracteriza por ser el mínimo tratamiento que debe tener el agua para consumo humano (Rojas, 1999).

Para ello se propone mandar a fabricar otro filtro rápido de lecho mixto a presión semejante al que se encuentra actualmente, adecuado dentro de las instalaciones de la PTAP junto al filtro y que se conecte al segundo tanque de almacenamiento. Mediante este proceso se removerá el material suspendido disminuyendo la turbidez de tal manera que posteriormente pueda realizarse una óptima desinfección ya que la presencia de sólidos puede influir en una mayor resistencia por parte de los microorganismos al desinfectante (Rojas, 1999). Además, según el diagnóstico del filtro existente (sin coagulación dada las condiciones actuales), este disminuyó hasta un 88,80% la turbidez con la que ingresaba el agua como ocurrió el día primero de diciembre del 2021. Con estas condiciones se podría ampliar la caja dosificadora en el laboratorio y adaptar las mangueras que dosifican con hipoclorito de sodio en la tubería antes de cada tanque de almacenamiento.

Es importante instalar otro tanque de almacenamiento que actúe como depósito de agua almacenando y compensando las diferentes variaciones máximas y mínimas que se presentan entre el consumo normal de los suscriptores y el caudal constante que ingresa al tanque. La compensación se realizaría recuperando el volumen en los horarios de menor consumo para suministrar agua almacenada en los máximos picos del día sin necesidad de que el fontanero abra o cierre la válvula de caudal según el nivel del agua en el desarenador como lo está haciendo actualmente ya que la planta no está encendida y no hay más tanques disponibles. Para ello la Resolución 0330 del 2017 en su Artículo 81 propone que la capacidad de almacenamiento será igual a 1/3 del volumen de agua en el día de máximo consumo partiendo de que 15,40 l/s es lo que en promedio consumen según lo expuesto en el diagnóstico, este valor se tomaría como el máximo ya que el desarenador no podría cumplir sus funciones si excede el caudal.

$$Vol\ máximo = \frac{15,40\ l}{s} * \frac{m^3}{1000l} * \frac{86400}{día}$$

$$Vol\ máximo = 1330,56\ m^3/día$$

$$Vol\ tanque = 1330,56 \frac{m^3}{día} * \frac{1}{3}$$

$$Vol\ tanque = 443,52m^3$$

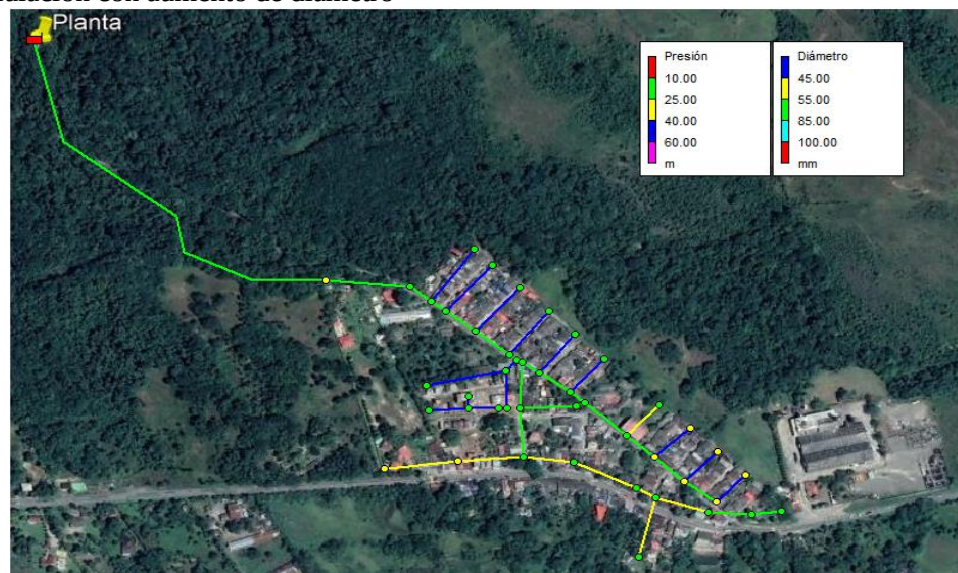
Partiendo de que ya existen dos tanques de 10 m³ cada uno en la planta, el volumen del tanque de almacenamiento sería de 423,52 m³. La junta determinara por medio de un estudio

técnico y económico el número de tanques teniendo en cuenta la función de compensación, regulación y operación de este. Además, es indispensable realizar un estudio que permita determinar el lugar apropiado de instalación del tanque teniendo en cuenta que lo ideal es que el agua ingrese por gravedad y salga de esta forma hacia la red de distribución cumpliendo con las velocidades y presiones establecidas por el RAS 2017, así mismo que el terreno no sea susceptible a deslizamientos ni inundaciones.

6.3.2 Aumento de diámetro de tubería en zonas con presiones por debajo de 10 m.c.a

Esta problemática de bajas presiones ha sido manifestada por la JAC en cuanto a la distribución del recurso, es por ello que, se propone aumentar el diámetro de tubería en aquellas zonas que presentan estas deficiencias de presión que además se encuentran por debajo de lo establecido en el RAS 2017. No obstante, el cambio de tuberías y en este caso a un mayor diámetro implican mayores costos económicos, por ello se validó en Epanet v. 2.0.12 el aumento únicamente de la Sección de tubería donde se presentaba presiones por debajo de 10 metros columna de agua (aproximadamente 103,18 metros), se propone en el modelo un aumento de 2 a 3 pulgadas en esta Sección y se volvió a simular, se obtuvo como se aprecia en la figura 31 un aumento de presión por encima de 10 metros columna de agua, significando así una respuesta frente al problema identificado.

Figura 31. Simulación con aumento de diámetro



Nota: Resultados de presiones simuladas a partir del aumento de 2 a 3 pulgadas en la zona del punto de evidente 4 estado por encima de 10 mca Por Ibañez & Ladino (2021).

Con lo que se refiere al Artículo 63 del RAS 2017 recomienda diámetros internos superiores a 50 mm para zonas rurales, se observa que en los sectores de para las viviendas cuentan con tuberías de pulgada y media, es decir, diámetro menor a lo recomendado, sin embargo, dado los resultados del modelo, no se presentan presiones por debajo de 10 m.c.a, por ello no se menciona dentro de esta alternativa hacer la sustitución ya que representa altos costos económicos dada la cantidad de tuberías de este diámetro, sin embargo, puede ser estudiado por parte del acueducto a largo plazo su sustitución a 2 pulgadas.

6.3.3 Instalación de medidores domiciliarios

Para dar respuesta al Artículo 75 del RAS 2017, parte de la alternativa consiste en la instalación de medidores domiciliarios para cada suscriptor del acueducto, esto servirá para hacer seguimiento a consumos de agua por viviendas, comercios, industrias y demás zonas que hagan uso del recurso suministrado por el acueducto comunitario de La Concepción y que a su vez pueda existir una re-organización del acueducto para el cobro por el servicio de agua.

Además, la información de estos medidores servirá para actualizar el modelo hidráulico y tener cada vez resultados más confiables e información base para diferentes estudios, finalmente se podrá hacer seguimiento a la cantidad de agua necesaria para suministrar a la red de distribución y no abrir la válvula de flujo adrede significando altos consumos de agua que podrían disminuirse y conseguir surtir el caudal necesario para la población.

Impacto social y humanístico

Se genera una alternativa como posible solución frente a las deficiencias identificadas en el sistema de agua potable de La Concepción, lo cual beneficiaría a 1273 habitantes de la vereda según el último censo poblacional del año 2021 ya que cuentan con una planta de tratamiento de agua potable fuera de servicio desde hace 8 años. Además, este trabajo está en pro del cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, encaminados al bienestar y la salud de la población orientado especialmente al objetivo seis: agua limpia y saneamiento. Con ello también se vela por el uso adecuado del recurso hídrico, en especial el Caño La Candelaria el cual es un proveedor de servicios ecosistémicos para la población.

La comunidad por medio del desarrollo de esta solución adquiere conocimientos importantes permitiendo brindar agua para consumo humano mediante una gestión adecuada en cuanto a operatividad del sistema de abastecimiento disminuyendo la posibilidad de presentar daños en la infraestructura que generen inversiones de grandes costos económicos e impacte de manera negativa al recurso hídrico y finalmente a la comunidad.

Lo anterior coincide con lo señalado en el plan de desarrollo Villavicencio cuenta contigo 2020-2023, que en su pilar “Desarrollo social: Vivienda y Agua Potable” trazó la estrategia agua y alcantarillado cuyo objetivo es brindar “servicio de asistencia técnica permanente orientados a fortalecer la gestión comunitaria del agua” en el cual se apoya el principal enfoque de esta investigación (Alcaldía de Villavicencio, 2020).

Conclusiones

La junta de acción comunal de La Concepción cuenta con información importante sobre la planta de tratamiento que tienen construida, como del censo poblacional del año 2021 aunque precisa de la instalación de medidores para el seguimiento de consumos por domicilio y hacer un seguimiento y uso más eficiente del agua y mantener el catastro de la red de distribución frente a cualquier cambio que se realice.

Es primordial determinar el caudal necesario para satisfacer los requerimientos de la vereda que según lo calculado es 7,04 L/s pero que en campo no es suficiente, por lo cual se precisa de un monitoreo más exacto de consumo por punto de conexión como se mencionó anteriormente mediante la instalación de medidores u otro método.

Dado que se requiere más de 7 L/s para dar abasto a la vereda, en caso de volverse a operar la PTAP compacta es necesario instalar un método de medición de caudal en la entrada de esta para asegurar que ingrese el caudal de diseño y no disminuya la eficiencia de tratamiento.

El diagnóstico de la planta de tratamiento de agua permitió determinar que esta aun es funcional para tratar únicamente 7 L/s ya que no presenta fugas ni daños significativos y cumple con las recomendaciones establecidas por el RAS 2017 en cuanto a su diseño, sin embargo, requiere de mantenimientos y compra de químicos para su operación.

El agua cruda captada en el acueducto comunitario La Concepción presenta contaminación microbiológica por E. colí y Coliformes totales, por lo cual requiere de un proceso de desinfección para ser distribuida a la población teniendo en cuenta que en las condiciones actuales únicamente se está realizando un pretratamiento al flujo de agua entrante.

Respecto a la simulación realizada en la red de distribución se encontró que se presentan presiones por debajo de lo establecido en el Artículo 61 del RAS 2017, lo cual afecta el suministro adecuado del recurso a la población hacia el sector del punto de muestreo 4.

No se cumple en la red de distribución con los diámetros internos mínimos de tuberías establecidos en el Artículo 63 del RAS 2017 los cuales deben ser iguales o superiores a 50 milímetros.

Se efectúa el propósito de ejecutar el diagnóstico del sistema de potabilización y la simulación de la red de distribución de agua en Epanet 2.0.12 por medio de la información

obtenida y suministrada y su posterior comparación con la Resolución 2115 de 200 y el RAS 2017.

El desarrollo de este trabajo permitió proponer una alternativa frente a las deficiencias identificadas en el sistema de agua para poder dar tratamiento y distribución al flujo de agua captado, considerando importante que se proyecten los diseños de los dispositivos según lo establecido en el RAS 2017 a 25 años teniendo en cuenta que para el diseño de la planta actual no se tuvo en cuenta ninguna proyección y esto afectó notablemente el sistema de abastecimiento.

Recomendaciones

Es necesario que el personal sea capacitado para operar la planta de tratamiento en caso de ser re-activada además de las debidas limpiezas que esta deba recibir según Artículo 33 del RAS 2017.

Adquirir equipos e instrumentos de laboratorio para análisis de parámetros de calidad de agua como el pH, cloro residual, turbidez, entre otros y su posterior registro en una bitácora de seguimiento para dar respuesta a la Resolución 2115 de 2007 en su capítulo IV y al control en sistemas de potabilización del Artículo 129 del RAS 2017.

Realizar el control y documentación a los gastos de químicos en caso de existir, así mismo para daños, parámetros del agua y novedades además de los cambios de dosificación que se hagan a raíz de los resultados del test de jarras.

Elaborar un manual de procedimientos para el personal en cuanto a operaciones y mantenimientos preventivos y correctivos conforme a la Sección 6 del RAS 2017.

Realizar medición a pH y cloro residual de acuerdo a la frecuencia establecida en la Resolución 2115 de 2007 para poblaciones menores a 12000 habitantes.

Adaptarse a los lineamientos establecidos en la Sección 3 “sistemas de transporte y distribución” del RAS 2017 respecto a la red de distribución de agua potable en cuanto a diámetros, presiones, mantenimientos, bitácoras, etc.

Hacer el seguimiento a los cambios que se realicen en la red de distribución de la vereda para así tener un modelo hidráulico cada vez más completo y actualizado.

Realizar mediciones y registros de presiones en los puntos de muestro de la red de distribución para llevar la diligencia de las ocurrencias dentro de este y poder actuar frente a una situación determinada de acuerdo al Artículo 86 del RAS 2017.

Instalar la medición domiciliaria para conocer los consumos reales de agua en la vereda de según el Artículo 75 del RAS 2017 y efectuar una mejor facturación por concepto del consumo del recurso además de tener información confiable frente a futuros estudios.

Estudiar las actividades que se realizan aguas arriba de la captación de agua para el acueducto comunitario La Concepción ya que el agua cruda que ingresa al desarenador presenta contaminación microbiológica.

Que los resultados obtenidos en este trabajo sirvan como base para futuros estudios.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Villavicencio. (2020). *Plan de desarrollo Villavicencio 2020-2023*. [http://villavicencio.gov.co/MiMunicipio/ProgramadeGobierno/Plan de Desarrollo Villavicencio Cambia Contigo 2020 - 2023.pdf](http://villavicencio.gov.co/MiMunicipio/ProgramadeGobierno/Plan_de_Developmento_Villavicencio_Cambia_Contigo_2020_-_2023.pdf)
- Alves, Z., Muranho, J., Albuquerque, T., & Ferreira, A. (2014). *Water distribution network's modeling and calibration. A case study based on scarce inventory data*. *Procedia Engineering*, 70, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.005>
- Andrade Ochoa, E. M. (2018). *Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia San Juan de Cerro Azul del Cantón Atahualpa*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12639>
- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (Vol. 1). Mac-Graw Hill.
- Brunetti, F. (2008). *Mecânica dos fluidos* (Pearson (ed.); 2ª). <https://4semestrecivil.files.wordpress.com/2015/03/mecc3a2nica-dos-fluc3addos-2c2b0-edic3a7c3a3o-franco-brunetti.pdf>
- Caceres, L. J. (2019). *Propuesta de mejoramiento a la planta de tratamiento de agua potable en el municipio de Nocaima , Cundinamarca*. [Trabajo de grado, Universidad El Bosque]. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2139/Cáceres_Guana_Laura_Juliana_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Clark, R. M. (2011). *Modeling Water Quality in Distribution Systems* (Gay Porter De Nileon (ed.); Segunda). American Water Works Association. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/reader.action?docID=3116755&query=EPANET>
- Corniciuc, C. M. (2015). *O tratamento convencional coagulação/floculação na remoção de nanopartículas metálicas* [Tesis de maestría, Universidade do Algarve]. <https://core.ac.uk/download/pdf/61528368.pdf>

Dirección de Servicios Públicos Domiciliarios, & Secretaría de Planeación. (2018). *Caracterización de los acueductos comunitarios de Villavicencio*.

Fonseca, A. K. (2018). Propuesta para el mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la escuela de logística del ejército nacional. Colombia. [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14018/FonsecaCallejasAngieKatherine2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Godoy Alvarez, A. F., & Cifuentes Cifuentes, G. (2018). *Mejoramiento de la red de distribución del sistema de acueducto Auacact en la localidad de ciudad Bolívar mediante modelación en EPANET - Bogotá D.C.* [Tesis de especialización, Universidad Católica de Colombia]. [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22578/1/DOCUMENTO - MEJORAMIENTO ACUEDUCTO AUACACT-ESPECIAL. RECURSOS HIDRICOS.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22578/1/DOCUMENTO_MEJORAMIENTO_ACUEDUCTO_AUACACT-ESPECIAL_RECursos_HIDRICOS.pdf)

Maradona, D., & Freitas, A. D. E. (2019). *Otimização do uso de produtos químicos no Lavras-Mg* [Tesis de maestría, Universidade Federal de Lavras]. Repositorio. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/34244>.

Masum, M. A. and P. S. (2020). *Water Distribution System Modeling By Using EPANET 2.0, A Case Study Of Cueta. Proceedings of the 5th International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development*. https://www.researchgate.net/publication/339212680_WATER_DISTRIBUTION_SYSTEM_MODELING_BY_USING_EPANET_20_A_CASE_STUDY_OF_CUET

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2009). Resolución 2320 . *Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS–*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=38487>

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2017*. "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009".

<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>

Molina Arce, S. X. (2014). *Metodología para la calibración preliminar de modelos de redes de distribución de agua mediante la utilización conjunta de demandas y consumos dependientes de la presión* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de València]. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52272/Molina_Stephenson_TFM_Metodología_Calibración.pdf?sequence=1

Nazih K. Shammam, Lawrence K. Wang, & Daniel A. Okun. (2015). *Water Engineering : Hydraulics, Distribution and Treatment*. John Wiley & Sons, Incorporated. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=1895983&query=treatment+of+drinking+water>

Oliveira, J. de S. C., Medeiros, A. de M., Castor, L. G., Carmo, R. F., & Bevilacqua, P. D. (2017). *Soluções individuais de abastecimento de água para consumo humano: questões para a vigilância em saúde ambiental*. *Cadernos Saúde Coletiva*, 25(2), 217–224. <https://doi.org/10.1590/1414-462x201700020371>

Otero Torres, A. M., & Rodríguez Rivera, L. M. (2020). *Propuesta de mejoramiento de la PTAP en el corregimiento Pradilla del municipio de Mesitas del Colegio* [Trabajo de grado, Universidad de la Salle]. Repositorio. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1185

PAVCO Wavin. (2020). *Manual Técnico Tubosistemas Presión PVC*. 2, 22.

Pizarro Montenegro, M. L. (2018). *Autogestión del agua: aproximación a los acueductos comunitarios en el Valle del Cauca*. [Trabajo de grado, Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/12262>

Rojas, J. (1999). Potabilización Del Agua. In *Romero Rojas Jairo Alberto - Potabilización Del Agua* (Tercera). Alfaomega. https://www.academia.edu/43327791/Romero_Rojas_Jairo_Alberto_Potabilización_Del_Agua

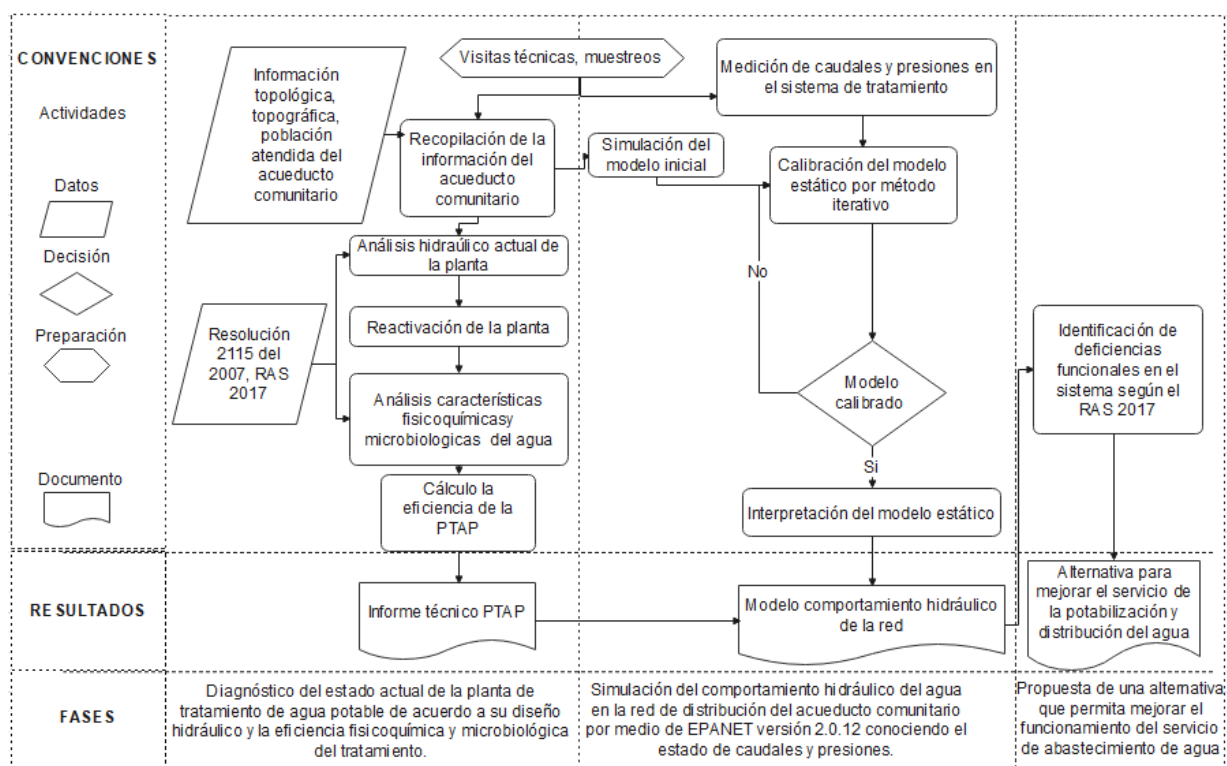
Rojas Vargas, J. F., Robayo Mayorga, V. L., & Córdoba Velandia, D. C. (2017). *Calidad del*

- agua* (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (ed.); Vol. 4, Issue 7). <https://doi.org/10.29057/esat.v4i7.2202>
- Rossman, F. (2017). *EPANET 2.0 en Español: Analisis Hidraulico y de Calidad del Agua en Redes de Distribución de Agua. Manual del Usuario*. https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual_esp_v20012_ext.pdf
- Sorlini, S., Collivignarelli, M. C., Castagnola, F., Crotti, B. M., & Raboni, M. (2014). Methodological approach for the optimization of drinking water treatment plants' operation: a case study. *Water Science and Technology*, 71(4), 597–604. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.503>
- Spellman, F. R. (2014). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Third Edition - Frank R. Spellman - Google Libros* (Tercera). Taylor y Francis Group. https://books.google.com.co/books?id=dXxcAgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=WATER+TREATMENT&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Teixeira Choelho, S., Loureiro, D., & Alegre, H. (2006). *Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água* [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. <http://epanet-curso.lnec.pt/artigos/GT4.pdf>
- United Nations. (2015). The Millennium Development Goals Report. *United Nations*, 72. <https://doi.org/978-92-1-101320-7>
- Vijay P. Singh. (2014). *Entropy Theory in Hydraulic Engineering : An Introductions*. American Society of Civil Engineers. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=3115677&query=darcy+Weisbach>
- Von Sperling, M., Verbyla, M., & Sílvia, O. (2020). *Assessment of Treatment Plant Performance and Water Quality Data: A Guide for Students, Researchers and Practitioners*. (IWA Publishing. (ed.)).
- Wagner, E. G. (1959). *Water supply for rural areas an small communities*. World Health Organization. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/monograph42.pdf

Anexos

Anexo 1. Diagrama de la metodología

Figura 32. Metodología del trabajo



Nota: Metodología con sus respectivas actividades. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 2. Memorias de cálculo sobre caudal de abastecimiento La Concepción

Según la figura 5, el censo poblacional de la vereda La Concepción en el año 2021 es de 1273 personas, relacionando lo anterior con la Tabla 1 del Artículo 43, en el capítulo 1 del RAS 2017 la dotación neta máxima para una altura promedio menor a 1000 metros sobre el nivel del mar es de 140 L/ Hab*día, valor adoptado para el presente ejercicio.

En función de lo anterior, la dotación bruta para la Concepción de acuerdo al capítulo 2, Artículo 44 se calculó mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

d_{bruta} : Dotación bruta en L/ (hab* día).

d_{neta} : Dotación neta en L/ (hab* día).

%P: Porcentaje de pérdidas admisibles (No deben superar el 25%,)

$$d_{bruta} = \frac{140 \text{ L}/(\text{hab} * \text{día})}{1 - 0,25} = 186,66 \frac{\text{L}}{\text{Hab} * \text{Día}}$$

Demanda media poblacional

Según el título B del RAS 2017, la demanda media poblacional está dada por la siguiente ecuación en la cual se hace uso del censo poblacional y la demanda bruta obtenida previamente.

$$Q_{md} = \frac{P * d_{bruta}}{86400 \text{ s}}$$

Donde:

Q_{md} : Demanda media residencial, dada en L/s.

P: Población servida, dada en número de habitantes.

d_{bruta} : Dotación bruta en L/ (hab* día).

$$Q_{md} = \frac{1273 \text{ hab} * 186,66 \text{ L}/\text{hab} * \text{día}}{86400 \text{ s}} \approx 2,75 \text{ L/s}$$

Caudal máximo diario

$$QMD = Q_{md} * k_1$$

Donde:

QMD: Caudal máximo diario en L/s.

Q_{md} : Caudal medio diario en L/s.

k_1 : Coeficiente de consumo diario igual a 1,30 dada las condiciones del sistema.

$$QMD = 2,75 \text{ L/s} * 1.30 = 3,57 \text{ L/s}$$

Caudal máximo horario

De acuerdo al apartado 2.8.2.2 del título B, el caudal máximo horario está dado de la siguiente manera:

$$QMH = QMD * k_2$$

Donde:

QMH: Caudal máximo horario.

QMD: Caudal máximo diario.

k_2 : Coeficiente de consumo máximo horario. Valor entre 1.3 y 1.7

$$QMH = 3,57 \text{ L/s} * 1.5 = 5,36 \text{ L/s}$$

Cálculo consumo institución educativa

La institución educativa cuenta con 800 alumnos en las jornadas mañana y tarde, según la Norma Técnica Colombiana NTC 1500:2004 se establecen valores de 50 litros*usuario⁻¹*día⁻¹ para instituciones educativas, realizando la correspondiente operación y conversión a litros por segundo, el caudal obtenido es el siguiente:

$$Q_{md} = \frac{800 \text{ hab} * 50 \text{ L/hab} * \text{día}}{86400 \text{ s}} \approx 0,46 \text{ L/s}$$

Cálculo de consumo por locales

La concepción cuenta con aproximadamente 50 locales comerciales, donde se asumió un valor estándar de 166,32 m² para el área según la medida de algunos establecimientos en Google Earth, para lo cual se obtiene.

$$Q_{md} = \frac{50 \text{ locales} * 166,32 \text{ m}^2 * \frac{6 \text{ L}}{\text{m}^2 \text{ día}}}{86400 \text{ s}} \approx 0,57 \text{ L/s}$$

Anexo 3. Estado físico actual de los dispositivos de tratamiento

Tabla 7. Estado físico actual de los dispositivos de tratamiento

Dispositivo	Estado Físico Actual			Estructura	Material
	Bueno	Regular	Deficiente		
Pretratamiento					
Desarenador	X			Rectangular	Concreto
Planta de tratamiento					
Cono de mezcla rápida	X			Cónico y rectangular en cámara de agitación	Poliéster Reforzado en Fibra de Vidrio (PRFV)
Floculador tipo Alabama	X			Rectangular (5 cámaras)	PRFV
Sedimentador	X			Rectangular con módulos tipo colmena	PRFV
Filtro Rápido	X			Cilíndrico	PRFV
Zona de Almacenamiento					
Tanque de almacenamiento	X			Cilíndrico	(PRFV)
Cuarto de laboratorio					
Tanque dosificador			X	Rectangular	(PRFV)

Nota: Estado físico actual de los dispositivos de tratamiento de agua del acueducto comunitario La Concepción. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 4. Dimensiones y parámetros hidráulicos del desarenador

Tabla 8. Dimensiones y parámetros hidráulicos del desarenador

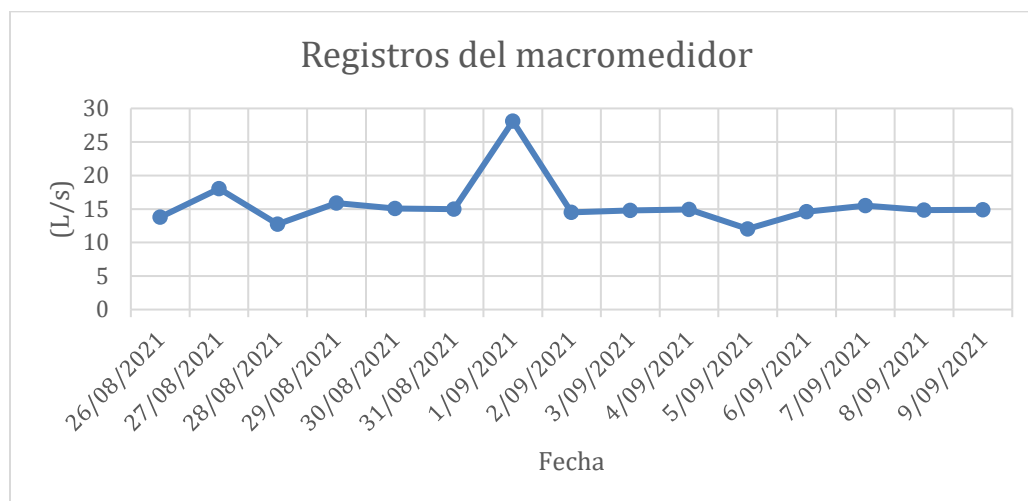
Desarenador						
Caudal actual de trabajo (m ³ /s)	Dimensiones (m)			Según RAS 2017		
	Largo	Ancho	Profundidad	Largo (4 veces el ancho)	Ancho (m)	Profundidad (m)
0,016	7,8	2	1,50	8	No especifica	0,75 a 1,50

Desarenador						
Carga superficial (m ³ /m ² /día)	Volumen (m ³)	Tiempo de retención (V/Q)	Velocidad	Según RAS 2017 Art. 55		
		Minutos	Metros/segundo	Carga superficial (m ³ /m ² /día)	Tiempo de retención (minutos)	Velocidad horizontal (m/s)
110,76	23,4	24,37	0,74	Menor a 1000	Mayor a 20	<0,25

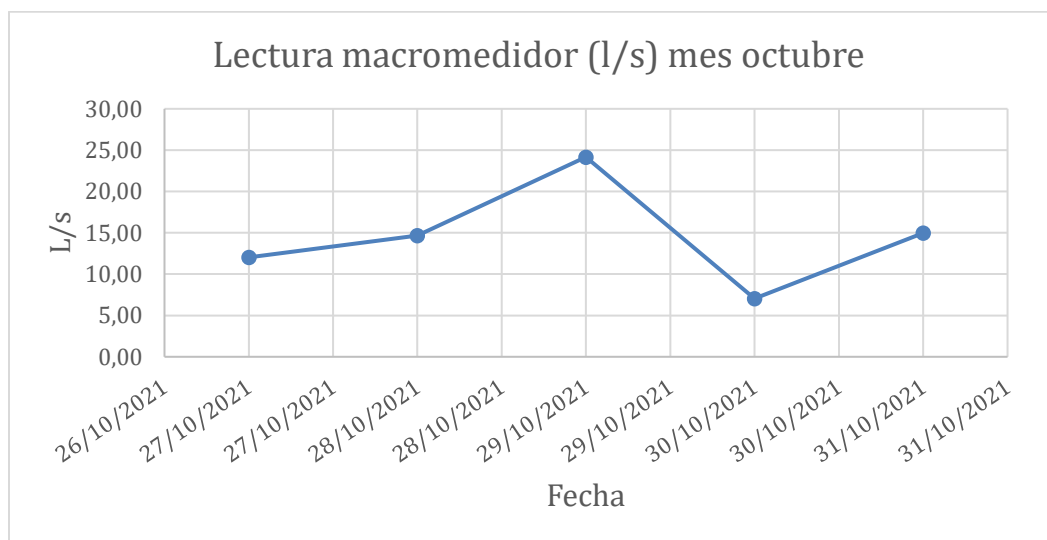
Nota: Dimensiones medidas en campo del desarenador y sus parámetros hidráulicos comparados con el RAS 2017. Por Ibañez & Ladino (2021)

Anexo 5. Lectura de medidores de industrias

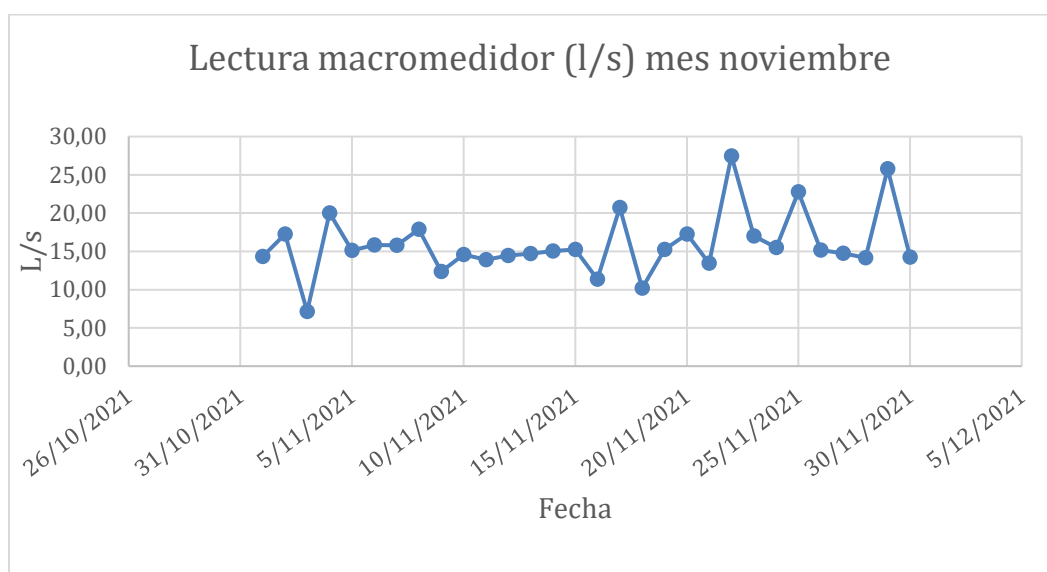
Figura 33. Registro consumo caudal consumido en la Concepción septiembre-octubre de 2021.



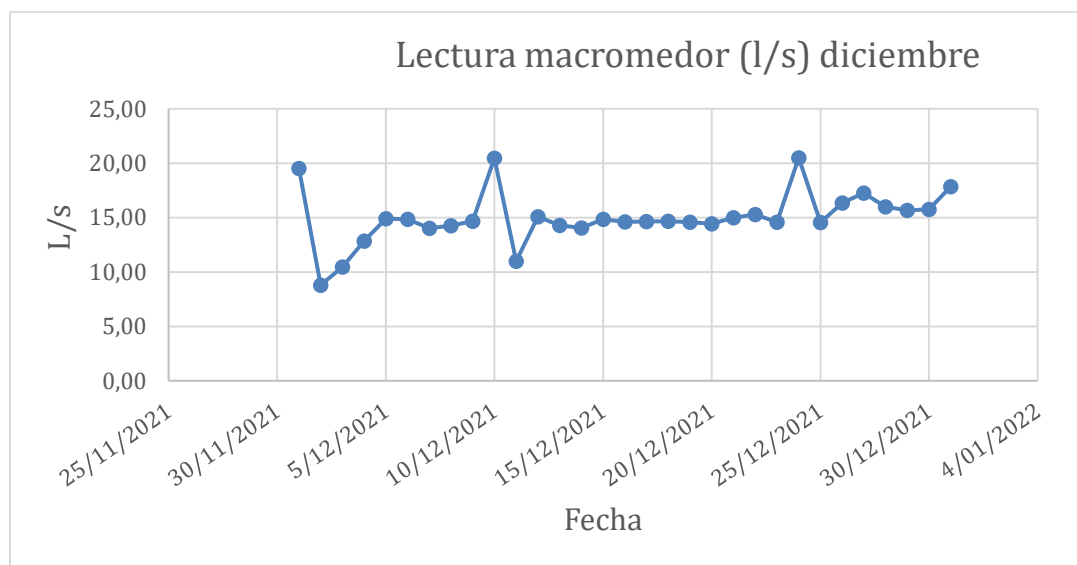
Nota: Comportamiento de salida de agua del desarenador en el macromedidor. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 34. Registro consumo caudal consumido en la Concepción finales de octubre del 2021.

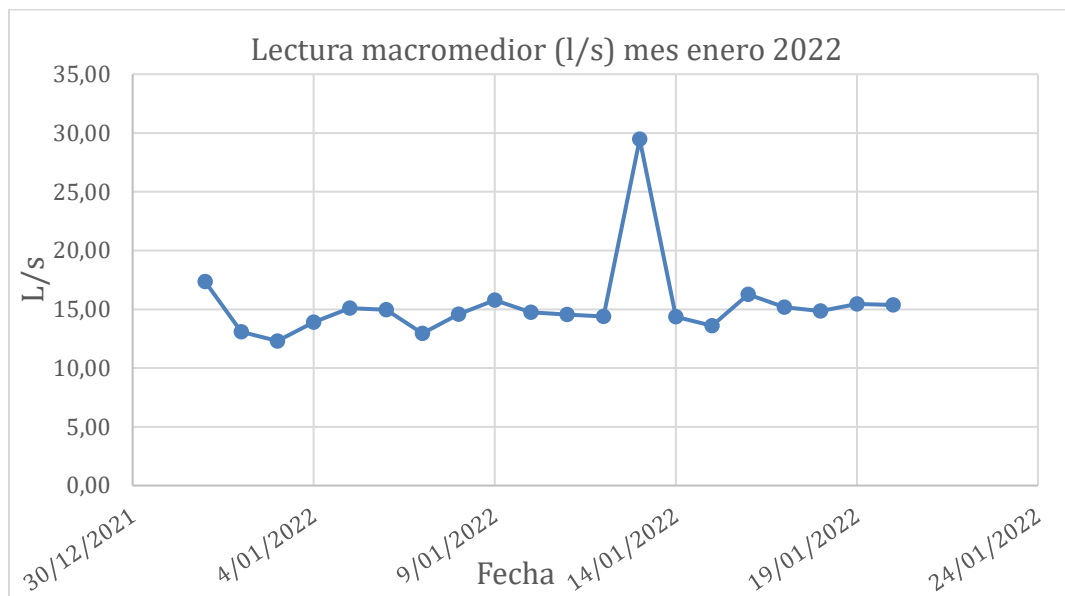
Nota: Comportamiento de salida de agua del desarenador en el macromedidor. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 35. Registro consumo caudal consumido en la Concepción, noviembre del 2021.

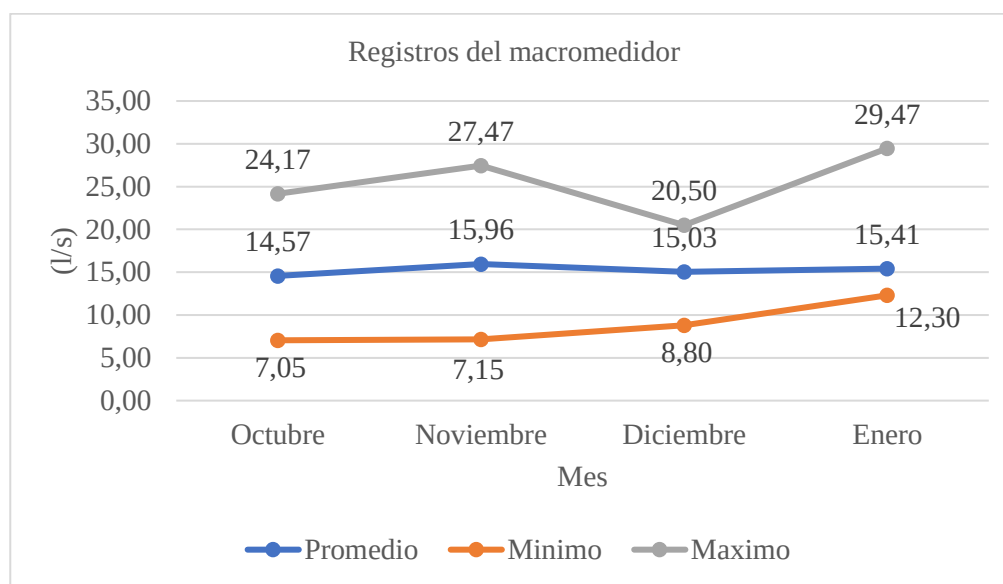
Nota: Comportamiento de salida de agua del desarenador en el macromedidor. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 36. Registro consumo caudal consumido en la Concepción diciembre del 2021

Nota: Comportamiento de salida de agua del desarenador en el macromedidor. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 37. Registro consumo caudal consumido en la Concepción diciembre del 2022.

Nota: Comportamiento de salida de agua del desarenador en el macromedidor. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 38. Registro consumo caudal consumido en la Concepción mensual.

Nota: Comportamiento general de salida de agua del desarenador en el macromedidor. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 6. Velocidades en el desarenador

Tabla 9. Velocidades desarenador con un caudal promedio de entrada 16 L/s.

	Cámara de entrada	Cámara de aquietamiento	Cámara de sedimentación
Velocidad (m/s)	0,97	0,02	0,05
	0,38	0,01	0,04
	0,5	0,02	0,02
	0,76	0,08	0,03
	0,79	0,05	0,04
	1,14	0,04	0,05
	0,91	0,05	0,04
	0,69	0,07	0,06
	0,51	0,01	0,03
	0,65	0,08	0,03
	0,86	0,06	0,08
Promedio	0,74	0,04	0,04

Nota: Dato tomado en campo referentes a las velocidades entrantes al desarenador. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 7. Parámetros hidráulicos del cono de mezcla rápida**Calculo gradiente de velocidad cono de mezcla**

Diámetro: 0,0635m

$$G = [(f * v^3)/(8R_H V)]^{1/2}$$

F: coeficiente de Darcy Weissbach, que va desde 0,01 y 0,03. Para el caso: 0,017

V: Velocidad

$$V = \frac{0,007}{(3,17 * 10^{-3})} = 2,20 \frac{m}{s}$$

Rh: Radio hidráulico

$$R_H = \frac{A}{P} = 0,016 m$$

Y: Viscosidad cinemática (15°C) = 1,146 x 10⁻⁶ m²/s

$$G = [(0,017 * 2,21^3)/(8 * 0,016 * 1,146x10^{-6})]^{1/2}$$

$$G = 1118 s^{-1}$$

Perdida de carga de orificio de paso

$$\Delta h = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{CA} \right)^2$$

$$C=0,72$$

$$\Delta h = 0,051[0,007/(0,72 * 3,17x10^{-3})]^2 = 0,48 m$$

Dimensiones del mezclador hidráulico

Tabla 10. Dimensiones del mezclador hidráulico

Cámara de mezcla				
Dimensión	Valor	Unidades	Según RAS 2017	Cumple Si/No
Largo	0,75	M		
Ancho	0,6	M		
Profundidad con borde libre	0,9	M		
Tiempo de detención	1	Minutos		
Diámetro orificio de paso	0,0635	M		
Área orificio de paso	0,003	m ²		
Velocidad orificio de paso	2,21	m/s		
Radio hidráulico de orificio de paso	0,016	M		
Gradiente de velocidad	1118,71	s ⁻¹	1000 a 2000	Si
Perdida de carga en orificio de paso	0,48	M		

Nota: Dimensiones de la cámara de mezcla y de cono de mezcla en la PTAP de La Concepción. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 8. Parámetros hidráulicos del floculador

Tabla 11. Dimensiones del floculador

Floculador tipo Alabama				
Dimensión	Valor	Unidades	RAS 2017	Cumple Si/No
Caudal de diseño	0,007	m ³ /s		
Largo	3,8	m		
Ancho	0,92	m		
Profundidad	2,39	m		
Volumen	8,36	m ³		
Tiempo de detención	20	Minutos	20 a 40	Si

Nota: Dimensiones del floculador tipo Alabama. Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 12. Parámetros hidráulicos del floculador

Cámaras	Ø Orificio (m)	Sección (m ²)	Δh (m)	Gradiente de velocidad (S ⁻¹)		Tiempo de retención (min)	Velocidad (m/s) en los orificios	
				Cámaras	RAS 2017 art. 112		En los Orificios	Según Arboleda
De 1 a 2	0,11	0,01	0,06	46,14	10 hasta 70	4	0,7	0,20 hasta 0,40
De 2 a 3	0,12	0,01	0,04	38,77		4	0,6	
De 3 a 4	0,13	0,01	0,03	33,04		4	0,5	
De 4 a 5	0,15	0,02	0,02	24,82		4	0,4	
5 a la salida	0,19	0,03	0,01	15,47		4	0,2	

Nota: Parámetros hidráulicos del floculador tipo Alabama. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 9. Parámetros hidráulicos del sedimentador

Tabla 13. Parámetros hidráulicos sedimentador

Sedimentador de alta tasa con módulos ABS				
Parámetro	Valor	Unidades	RAS 2017	Cumple Si/No
Carga superficial	150	m ³ /m ² /día	120 a 185	Si
Sen (60)	0,866			
Área	3,5	m ²		
Ancho	1,1	M		
Largo	3,2	M		
Profundidad	2,23	M		
Volumen	7,85	m ³		
Tiempo de detención	19	Minutos	10 a 20	Si

Nota: Dimensiones y parámetros hidráulicos del sedimentador de alta tasa. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 10. Parámetros hidráulicos del filtro

Tabla 14. Parámetros hidráulicos del filtro

Filtro rápido con lecho mixto						
Diámetro (m)	Altura lecho filtrante (m)	Altura modulo filtrante (m)	Tiempo de retención (min)	Tasa de filtración (m³/m²/día)		Cumple Si/No
2	0,9	3,2	24	PTAP	RAS 2017	SI
				192,51	180 a 350	

Nota: Parámetros hidráulicos del filtro rápido comparados con lo establecido en el RAS 2017 Artículo 114. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 11. Espesor del lecho filtrante

Tabla 15. Parámetros lecho filtrante

Granulometría del lecho	Filtro (mm)	Tamaño		Profundidad del medio (m)	
		RAS 2010 C.Fi.1.2		Filtro	RAS 2017
		Mínimo (mm)	Máximo (mm)		
Antracita (Arena fina)	0,8	0,35	0,45	0,2	0,4-0,6
Arena Estándar (Arena pequeña)	0,5	0,45	0,65	0,2	
Arena Gruesa (Grava)	Grava	25,4		0,05	0,15-0,3
	Grava media	12,7	0,65	0,05	
	Grava fina	6,35		0,05	

Nota: Parámetros lecho filtrante del filtro rápido comparados con lo establecido en el RAS 2017 Artículo 114. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 12. Resultados muestreos físico-químicos por fechas

- **Muestreo día 01/10/2021**

Tabla 16. Muestra desarenador 01/10/2021

Parámetro	Desarenador			
	Entrada	Salida	% Remoción	Res. 2115/2007
pH	6,96	6,75	N/A	6,5 - 9,0
Conductividad (Microsiemens/cm)	23,5	62,6	N/A	1000
Temperatura (C°)	21,9	22	N/A	-
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,01	0,01	0,0%	-
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,030	0,045	Aumento	-
Turbidez (UNF)	0,68	2,35	Aumento	2
Olor	Aceptable	Aceptable	N/A	Aceptable

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

- **Muestreo día 26/11/2021**

-

Tabla 17. Muestra desarenador 26/11/2021

Parámetro	Desarenador			
	Entrada	Salida	% Remoción	Res. 2115/2007
pH (Udes pH)	6,83	6,83	N/A	6,5 - 9,0
Conductividad (Microsiemens/cm)	78	89	N/A	1000
Temperatura (C°)	22,7	22,8	N/A	-
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,1	0,01	90,0%	-
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,032	0,018	44,6%	-
Turbidez (UNT)	0,19	0,18	0,052%	2
Olor (Organoléptico)	Aceptable	Aceptable	N/A	Aceptable

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 18. Muestreo en red de distribución 26/11/2021

Parámetro	Punto de muestreo #2			
	Entrada (salida desarenador)	Salida	% Remoción	Res. 2115/2007
pH	6,83	6,81	N/A	6,5 - 9,0
Conductividad (Microsiemens/cm)	89	45,3	N/A	1000
Temperatura (C°)	22,8	26,4	N/A	-
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,018	0,081	Aumento	-
Turbidez (UNF)	0,18	0,64	Aumento	2
Olor (Organoléptico)	Aceptable	Aceptable	N/A	Aceptable

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

- **Muestreo día 01/12/2021**

Tabla 19. Muestra desarenador 01/12/2021

Parámetro	Desarenador			
	Entrada	Salida	% Remoción	Res. 2115/2007
pH	6,96	6,75	N/A	6,5 - 9,0
Conductividad (Microsiemens/cm)	23,5	62,6	N/A	1000
Temperatura (C°)	21,9	22	N/A	-
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,01	0,01	0,0%	-
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,030	0,045	Aumento	-
Turbidez (UNF)	0,68	2,35	Aumento	2
Olor	Aceptable	Aceptable	N/A	Aceptable
Coliformes totales (ufc/100 ml)	55	-	-	0
E. coli (ufc/100 ml)	4	-	-	0

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 20. Muestra de PTAP 01/12/2021

Parámetro	Planta de tratamiento de agua			
	Entrada	Salida	% Remoción	Res. 2115 de 2007
pH	6,75	6,51	N/A	6,5 - 9,0
Conductividad (Microsiemens/cm)	62,6	41,9	N/A	<1000
Temperatura (C°)	22	26	N/A	N/A
Turbidez (UNT)	2,35	0,29	87,66%	<2
Olor (Organoléptico)	Aceptable	Aceptable	N/A	Aceptable
Coliformes totales (ufc/100 ml)	-	1	N/A	0
E. coli (ufc/100 ml)	-	0	N/A	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,01	0	100,0%	N/A
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,045	0,050	Aumento	N/A

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 21. Muestra sedimentador 01/12/2021

Parámetro	Sedimentador PTAP		
	Entrada (Salida desarenador)	Salida	% Remoción
pH	6,75	6,9	N/A
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,01	0	100%
Turbidez (UNF)	2,35	1,25	46,81%

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 22. Muestra del filtro rápido 01/12/2021

Parámetro	Filtro PTAP		
	Entrada (Salida sedimentador)	Salida	% Remoción
pH	6,9	6,5	N/A
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,045	0,019	57,78%
Turbidez (UNF)	1,25	0,14	88,80%

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

- **Muestreo día 02/12/2021**

Tabla 23. Muestra desarenador 02/12/2021

Parámetro	Desarenador			
	Entrada	Salida	% Remoción	Res. 2115/2007
pH	6,97	6,77	N/A	6,5 - 9,0
Conductividad (Microsiemens/cm)	17,5	13,5	N/A	<1000
Temperatura (C°)	21,8	21,8	N/A	-
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,005	0,005	0,0%	-
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,037	0,042	Aumento	-
Turbidez (UNF)	0,19	0,12	36,8%	<2
Olor (Organoléptico)	Aceptable	Aceptable	N/A	Aceptable
Coliformes totales (ufc/100 ml)	203	-	-	0
E. coli (ufc/100 ml)	1	-	-	0

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 24. Muestra de PTAP 02/12/2021

Parámetro	Planta de tratamiento de agua			
	Entrada	Salida	% Remoción	Res. 2115 de 2007
pH	6,77	6,5	N/A	6,5-9,0
Conductividad (Microsiemens/cm)	13,5	36,9	N/A	1000
Temperatura (C°)	21,8	22,6	N/A	N/A
Turbidez (UNT)	0,12	0,4	Aumento	2
Olor (Organoléptico)	Aceptable	Aceptable	N/A	Aceptable
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,005	0,001	80%	N/A
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,042	0,053	Aumento	N/A

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 25. Muestra de sedimentador y filtro de PTAP 02/12/2021

Parámetro	Sedimentador PTAP		
	Entrada (Salida desarenador)	Salida	% Remoción
pH	6,77	6,95	N/A
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,005	0,001	80%

Parámetro	Filtro PTAP		
	Entrada (Salida sedimentador)	Salida	% Remoción
pH	6,95	6,5	N/A
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,042	0,01	76,2%

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 26. Muestreo en red de distribución 02/12/2021

Parámetro	Punto de muestreo #3			
	Entrada (salida desarenador)	Salida	% Remoción	Res. 2115/2007
Coliformes totales (ufc/100 ml)	-	32	N/A	0
E. Coli (ufc/100 ml)	-	0	N/A	0

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

- **Muestreo día 03/12/2021**

Tabla 27. Muestra desarenador 03/12/2021

Parámetro	Desarenador			
	Entrada	Salida	% Remoción	Res. 2115/2007
pH	7,23	7,17	N/A	6,5 - 9,0
Conductividad (Microsiemens/cm)	133,1	23,6	N/A	<1000
Temperatura (C°)	22,2	22	N/A	-
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,03	0,03	0,0%	-
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,024	0,043	Aumento	-
Turbidez (UNF)	0,14	0,02	85,71%	<2
Olor (Organoléptico)	Aceptable	Aceptable	N/A	Aceptable
Coliformes totales (ufc/100 ml)	72	-	-	0
E. coli (ufc/100 ml)	1	-	-	0

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 28. Muestra de PTAP 03/12/2021

Parámetro	Planta de tratamiento de agua			
	Entrada	Salida	% Remoción	Res. 2115 de 2007
pH	7,17	6,72	N/A	6,5-9,0
Conductividad (Microsiemens/cm)	23,6	36,8	N/A	<1000
Temperatura (C°)	22	22,3	N/A	N/A
Olor (Organoléptico)	Aceptable	Aceptable	N/A	Aceptable
Turbidez (UNT)	0,02	0,36	Aumento	<2
Coliformes totales (ufc/100 ml)	-	1	-	0
E. Coli (ufc/100 ml)	-	0	-	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,03	0,02	33,3%	N/A
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,043	0,048	Aumento	N/A

Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 29. Muestra de sedimentador y filtro de PTAP 03/12/2021

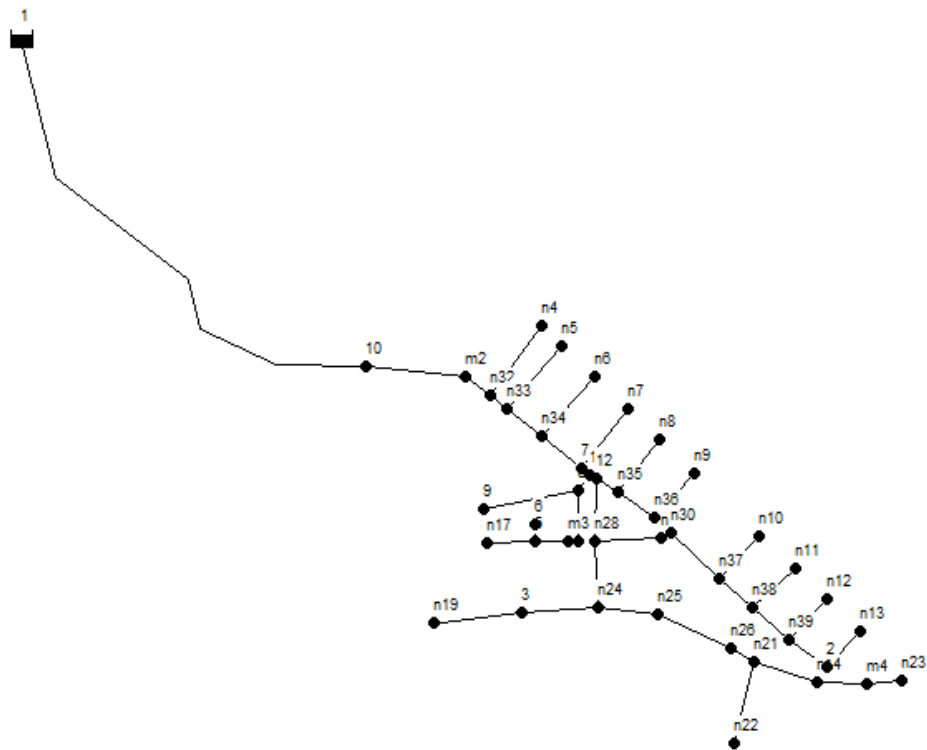
Parámetro	Sedimentador PTAP		
	Entrada (Salida desarenador)	Salida	% Remoción
pH	7,17	6,97	N/A
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,03	0	100%

Parámetro	Filtro PTAP		
	Entrada (Salida sedimentador)	Salida	% Remoción
pH	6,97	6,73	N/A
Sólidos suspendidos (mg/L)	0,043	0,016	62,8%

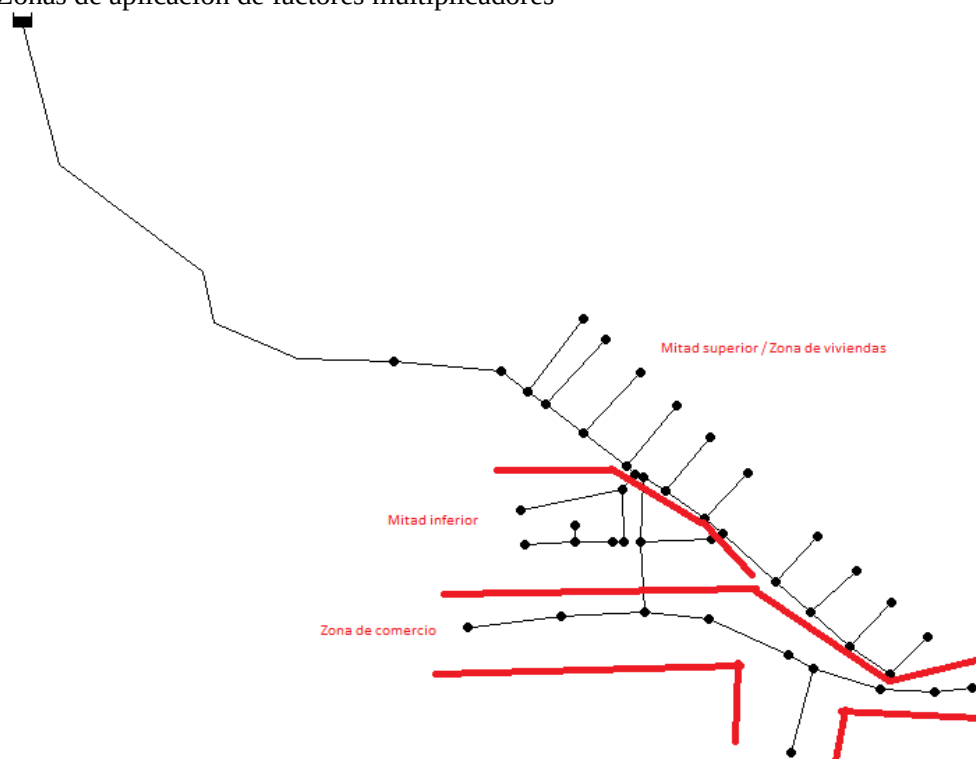
Nota: Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 13. ID de nodos, valores de demandas base y zonas de aplicación de factores multiplicadores y escenarios

Figura 39. Numeración de los nodos de la red de distribución.



Nota: ID de cada nodo de conexión establecido en la geometría de la red de distribución. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 40. Zonas de aplicación de factores multiplicadores

Nota: Distribución por zonas de la red de distribución en las cuales se aplicaron distintos factores multiplicadores para la calibración. Por Ibañez & Ladino (2021).

Tabla 30. Escenarios creados para la simulación

Número de escenario		Escenario 1	E.2	E.3	E.4	E.5
Factor multiplicador		1,5	2	2,2	2,7	2 y 1,5
Resultado presión simulada	P. muestreo 2	57,61	41,21	33,52	12,17	50,1
	P. muestreo 3	67,92	47,61	38,07	11,6	59,3
	P. muestreo 4	75,26	50,59	39,03	6,86	62,25
	Error total simulado vs observado	50,178	29,868	20,632	11,076	40,364
Caudal de salida de embalse		8,44	11,28	12,42	15,2	9,72
Zona de aplicación del factor		General	General	General	General	Comercio x2, otros nodos x1,5

Continuación

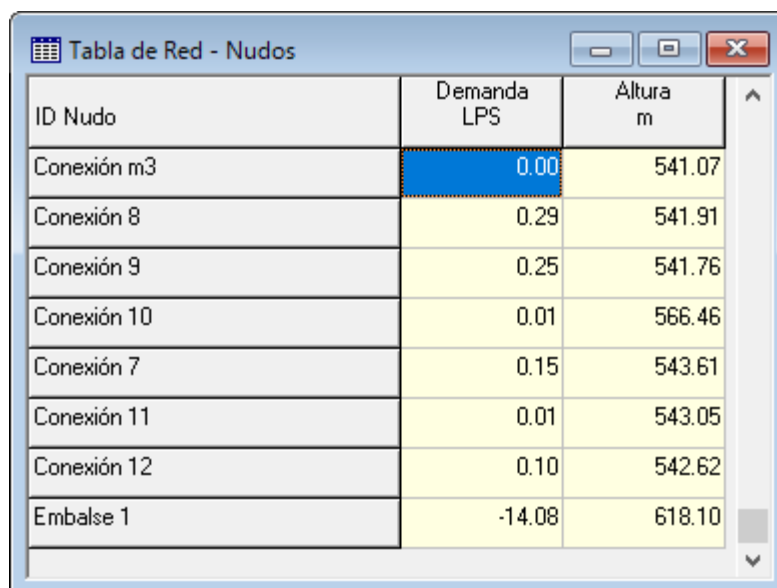
Número de escenario	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
Factor multiplicador	2,5 y 1,7	3 y 2	2,5 y 1,5	3 y 1,5	3 y 2
Resultado presión simulada	P. muestreo 2	39,38	23,15	39,7	28,62
	P. muestreo 3	45,21	25,05	45,04	30,81
	P. muestreo 4	42,84	16,4	43,13	22,9
	Error total simulado vs observado	25,217	6,167	25,347	10,225
Caudal de salida de embalse	11,56	13,83	11,51	13,75	14,4
Zona de aplicación del factor	Comercio x2,5, otros nodos x1,7	Comercio x3, otros nodos x2	Mitad inferior + zona de comercio x2,5 y superior x1,5	Mitad Inferior + zona de comercio x3 y superior x1,5	Mitad Inferior + zona de comercio x3 y superior x2

Nota: Resultados de la generación de diferentes escenarios para la calibración de la red de distribución. Por Ibañez & Ladino (2021).

Figura 41. Demandas base ajustadas para calibración.

The figure shows two screenshots of a software interface titled 'Tabla de Red - Nodos'. The table lists nodes with their ID, demand in LPS, and elevation in meters. The first screenshot shows nodes m2 through n24, with 'Conexión m2' selected. The second screenshot shows nodes n25 through n39, with 'Conexión n39' selected.

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m
Conexión m2	0.00	558.20
Conexión n4	0.11	555.13
Conexión n5	0.12	552.89
Conexión n6	0.13	548.21
Conexión n7	0.17	543.56
Conexión n8	0.11	541.95
Conexión n9	0.05	541.26
Conexión n10	0.04	540.84
Conexión n11	0.11	540.77
Conexión n12	0.14	540.73
Conexión n13	0.24	540.68
Conexión n14	0.40	518.21
Conexión m4	0.00	516.88
Conexión n17	0.30	540.59
Conexión n19	0.60	537.12
Conexión n21	0.57	520.77
Conexión n22	0.40	520.67
Conexión n23	2.34	516.11
Conexión n24	1.03	537.98
Conexión n25	1.60	529.20
Conexión n26	0.50	522.61
Conexión n28	0.17	540.71
Conexión n29	0.40	540.91
Conexión n30	1.00	540.95
Conexión n32	0.10	555.16
Conexión n33	0.11	552.92
Conexión n34	0.14	548.25
Conexión n35	0.15	541.97
Conexión n36	0.05	541.26
Conexión n37	0.20	540.84
Conexión n38	0.22	540.79
Conexión n39	0.21	540.76
Conexión 2	0.20	540.75
Conexión 3	0.74	537.32
Conexión 4	0.30	541.09
Conexión 5	0.10	540.69
Conexión 6	0.22	540.66



ID Nudo	Demanda LPS	Altura m
Conexión m3	0.00	541.07
Conexión 8	0.29	541.91
Conexión 9	0.25	541.76
Conexión 10	0.01	566.46
Conexión 7	0.15	543.61
Conexión 11	0.01	543.05
Conexión 12	0.10	542.62
Embalse 1	-14.08	618.10

Nota: Demandas bases asignadas a cada nodo como proceso de calibración de la red de distribución. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 14. Test de jarras en laboratorio

Tabla 31. Resultados de test de jarras

Turbidez agua cruda (FNU)			
0.47			
Concentración Sulfato de aluminio tipo b (ppm)	Test de jarras	Dosis (ml)	Turbiedad final (FNU)
1000	Jarra 1	1	0.11
1000	Jarra 2	2	0.28
1000	Jarra 3	3	0.15
1000	Jarra 4	4	0.57

Nota: Resultados del test de jarras para la dosificación de sulfato de aluminio tipo b. Por Ibañez & Ladino (2021).

Anexo 15. Analítica del laboratorio Dra. Amparo Restrepo en Caño La Candelaria

Figura 42. Resultados de analítica Caño La Candelaria

DN SOCIAL - RESOLUCIÓN 2625 DEL 27 DE SEPTIEMBRE

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR ADMISIBLE
GRUPO FÍSICO-QUÍMICO			
Color	8 UPC	SM 2120-B-C	Hasta 15 UPC
pH	* 5,46 udes. pH	SM 4500-B	6,50 - 9,00 Unidades de pH
Conductividad	11 µS/cm	SM 2510-B	Hasta 1000 µ S/cm
Turbiedad	0,77 UNT	SM 2130-B	Hasta 2 UNT
Dureza Total	8,9 mg/l	SM 2340-C	Hasta 300 mg/l
Alcalinidad	4,5 mg/l	DIN-ISO 9963-1C23-2C24	Hasta 200 mg/l
Nitratos	<4 mg/l	SM 4500-H	Hasta 10 mg/l
Sulfatos	<20 mg/l	SM 4500-E	Hasta 250 mg/l
Cloruros	<1 mg/l	SM 4500-G	Hasta 250 mg/l
Hierro	<0,1 mg/l	SM 3500-B	Hasta 0,3 mg/l
Manganeso	<0,1 mg/l	DIN 38406-E2	Hasta 0,1 mg/l
GRUPO MICROBIOLÓGICO			
E. Coli	0 ufc/100ml	SM 9222-J	0 ufc/100ml
Coliformes totales	* 42 ufc/100ml	SM 9222-J	0 ufc/100ml

Nota: Resultados del análisis de agua del caño La Candelaria mandados a realizar en el mes de junio de 2021 por la JAC de La Concepción. Por Ibañez & Ladino (2021).