

**PRE-DISEÑO DE LA PLANTA POTABILIZADORA PARA LA VEREDA
ALTOS DE POMPEYA**

LAURA ALEJANDRA MORA PEDRAZA

JORDY ANDRÉS GARCÍA CARRILLO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

2021

**PRE-DISEÑO DE LA PLANTA POTABILIZADORA PARA LA VEREDA
ALTOS DE POMPEYA**

**Trabajo de grado
para optar al título de Ingeniería Civil**

**LAURA ALEJANDRA MORA PEDRAZA
JORDY ANDRÉS GARCÍA CARRILLO**

Director:

ING. FABIO EDUARDO DÍAZ LÓPEZ

Asesores:

ING. OSCAR BAQUERO

ING. JORGE HUMBERTO BENAVIDES

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

2021

Tabla de contenido

Resumen.....	18
Abstract	19
Introducción	20
Estado del Arte.....	22
Formulación del Problema.....	24
Justificación	25
Objetivos.....	26
Objetivo General.....	26
Objetivos Específicos.....	26
Marco Referencial.....	27
Marco Teórico.....	27
Localización del proyecto.	27
Características socioeconómicas del municipio.....	27
Vivienda.	28
Recursos hídricos.	28
Marco Conceptual	29
Agua potable o agua para consumo humano:	29
Calidad del agua.....	29
Fuente de abastecimiento	30

Planta de tratamiento o de potabilización	31
Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano	31
Agua segura	31
Análisis físico-químico de agua:.....	32
Contaminación del agua.....	32
Ensayo de tratabilidad.....	32
Tratamiento del agua.....	32
Marco Legal	35
Recursos Para Ejecutar El Trabajo De Grado.....	38
Materiales.....	38
Institucionales	38
Financieros.....	38
Metodología	39
Flujograma	41
Cronograma.....	42
Resultados – Etapa I.....	43
Evaluación y diagnóstico de las condiciones actuales del funcionamiento de la PTAP ubicada en “Altos de Pompeya”, Meta.....	43
Aspectos funcionales de la planta	43
Punto de captación antiguo	43
Punto de captación nuevo.	44

Sistema de aireación	45
Floculación y sedimentación.....	46
Sistema de filtros.....	48
Desinfección	48
Tanque de almacenamiento.....	49
Diagramas de flujo del funcionamiento de la planta	51
Aspectos operativos	52
Aspectos técnicos.....	52
Georreferenciación de las unidades existentes de la planta.	54
Resultados – Etapa II	56
Análisis de las características del agua suministrada a la población de estudio.	56
Análisis físico-químico de la primera muestra	56
Turbiedad y pH	57
Alcalinidad.....	57
Acidez	57
Cloruros.....	58
Análisis fisicoquímico de la segunda muestra (multiparámetro).....	59
Análisis fisicoquímico de la tercera muestra	61
Turbiedad y pH	61
Alcalinidad.....	61
Dureza total.....	62
Dureza cálcica	62

Cloruros.....	63
Acidez	64
Comparación entre los parámetros de la muestra 1 y la muestra 3.....	65
Ensayo de jarras	68
Resultados – Etapa III.....	72
Plantear Alternativas para el Mejoramiento de la PTAP	72
Proyección de población.	72
Proyección de población	76
Método Aritmético.....	76
Método geométrico.	77
Método exponencial.....	79
Comparativa de proyección de población.....	81
Determinación de caudales	82
Dotación neta máxima	82
Dotación bruta.....	83
Caudal medio diario.....	84
Caudal máximo diario.....	84
Operaciones unitarias involucradas	86
Aireación.....	88
Mezcla rápida – Canaleta Parshall.....	92
Floculador.	100
Sedimentación.....	105

Filtración	113
Desinfección	123
Tuberías.....	123
Bombas	124
Bomba que dirige el agua hacia el tanque de almacenamiento:	125
Bomba que dirige el agua hacia los lechos de lodos:.....	125
Bomba de retorno, reinicio del tratamiento:	125
Tratamiento de lodos.....	125
Lodos producidos por el sedimentador	126
Lodos producidos por el filtro.....	128
Disposición Final de los Lodos.....	131
Utilización de lodos en recuperación.	131
Alimento para los animales.....	131
Fabricación de ladrillos.....	132
Conclusiones	133
Referencias Bibliográficas	135

Lista de Tabla

Tabla 1. Tabla de coordenadas. Autoría propia.	54
Tabla 2. Parámetros calculados. Fuente: Autoría propia.	56
Tabla 3. Alcalinidad de la muestra. Fuente: Autoría propia, 2020.	57
Tabla 4. Acidez de la muestra. Fuente: Autoría propia, 2020.	58
Tabla 5. Cloruros de la muestra. Fuente: Autoría propia, 2020.....	59
Tabla 6. Resultados de las pruebas fisicoquímicas de la muestra 1. Fuente: Autoría propia, 2020.	59
Tabla 7. Resultados de las pruebas fisicoquímicas de la muestra 2 – Multiparámetro. Fuente: Autoría propia, 2020.	60
Tabla 8. Alcalinidad de la muestra 3. Fuente: Autoría propia, 2020.	61
Tabla 9. Dureza total de la muestra 3. Fuente: Autoría propia, 2020.	62
Tabla 10. Dureza cálcica de la muestra 3. Fuente: Autoría propia, 2020.	63
Tabla 11. Cloruros de la muestra 3. Fuente: Autoría propia, 2020.....	63
Tabla 12. Acidez total de la muestra 3. Fuente: Autoría propia, 2020.	64
Tabla 13. Resultados de las pruebas fisicoquímicas de la muestra 3. Fuente: Autoría propia, 2020.....	65
Tabla 14. Resultados de ensayos de laboratorio. Fuente: Asociación Comunitaria de Servicios Públicos, 2008.....	67
Tabla 15. Tratamientos para el hierro y manganeso en el agua potable. Fuente: Problemas del Agua Potable: El Hierro y el Manganeso.	67
Tabla 16. Requisitos mínimos del sulfato de aluminio tipo B. Fuente: NTC 53.	69

Tabla 17. Datos iniciales – Prueba de jarras. Fuente: Autoría propia, 2020.....	69
Tabla 18. Resultados – Ensayo de jarras 1. Fuente: Autoría propia, 2020.	70
Tabla 19. Resultados – Ensayo de jarras 2. Fuente: Autoría propia, 2020.	70
Tabla 20. Proyección de población rural de Villavicencio. Fuente: DANE, 2005 y DANE, 2018.	73
Tabla 21. Censos de Villavicencio. Fuente: DANE, 2005 y DANE, 2018.	73
Tabla 22. Censos del departamento del Meta. Fuente: DANE 2005 y DANE 2018.	74
Tabla 23. Método aritmético población de Villavicencio. Fuente: Autoría propia, 2020.	76
Tabla 24. Método aritmético población del Meta. Fuente: Autoría propia, 2020.	77
Tabla 25. Proyección de población para la ciudad de Villavicencio. (Método geométrico) Fuente: Autoría propia, 2020.	78
Tabla 26. Proyección de población para el departamento del Meta. (Método geométrico). Fuente: Autoría propia, 2020.	78
Tabla 27. Proyección de población para la ciudad de Villavicencio. (Método exponencial). Fuente: Autoría propia, 2020.	79
Tabla 28. Proyección de población para el departamento del Meta. (Método exponencial). Fuente: Autoría propia, 2020.	80
Tabla 29. Dotación neta máxima. Fuente: Resolución 0330, 2017.	83
Tabla 30. Punto geodésico JPL-3023-S. Fuente: IGAC, 2011.	83
Tabla 31. Proyección de demanda para el caudal máximo diario. Fuente: Autoría propia, 2020.	86
Tabla 32. Parámetros seleccionados para diseño de aireación. Fuente: Autoría propia, 2020.	89
Tabla 33. Dimensiones típicas de medidores Parshall. . Fuente: (Arboleda, 2000).	92

Tabla 34. Resumen parámetros Canaleta Parshall. . Fuente: Autoría propia, 2020.	97
Tabla 35. Características canal de conexión. Fuente: Autoría propia, 2020.....	100
Tabla 36. Parámetros de diseño. Fuente: Resolución 0330 del 2017.	101
Tabla 37. Parámetros de diseño – zona 1. Fuente: Autoría propia, 2020.	102
Tabla 38. Parámetros de diseño – zona 2. Fuente: Autoría propia, 2020.	103
Tabla 39. Parámetros de diseño – zona 3. Fuente: Autoría propia, 2020.	104
Tabla 40. Características canal de conexión. Fuente: Autoría propia, 2020.....	105
Tabla 41. Parámetros de referencia de diseño de sedimentación. Fuente: Resolución 0330 de 2017.....	106
Tabla 42. Parámetros pantalla perforada. Fuente: Autoría propia, 2020.	108
Tabla 43. Compilación valores calculados – sedimentador.....	109
Tabla 44. Parámetros para el diseño de filtros convencionales. Fuente: Resolución 0330 de 2017.	114
Tabla 45. Recomendaciones para el lecho filtrante. Fuente: Arboleda Valencia, Jorge, 2000. .	116
Tabla 46. Parámetros adoptados. Fuente: Autoría propia, 2020.....	116
Tabla 47. Compilación de los valores calculados. Fuente: Autoría propia, 2020.	119
Tabla 48. Pérdidas en la arena. Fuente: Autoría propia, 2020.....	120
Tabla 49. Pérdidas por la antracita y pérdida total. Fuente: Autoría propia, 2020.	120
Tabla 50. Parámetros de diseños. Fuente: Potabilización del agua, Romero, 2007.	127
Tabla 51. Parámetros de diseños. Fuente: Potabilización del agua, Romero, 2007.	129

Lista de Figuras

Figura 1. Sistema actual Altos de Pompeya. Fuente: Autores, 2019.....	23
Figura 2. Plano de veredas del municipio de Villavicencio. Fuente: Morales Vásquez, 2016- 2019.....	27
Figura 3. Recursos Hídricos. Fuente: Google Maps, 2019.	29
Figura 4. Flujograma de las Actividades. Fuente: Autoría propia, 2019.....	41
Figura 5. Cronograma de las Actividades. Fuente: Autoría propia, 2019.	42
Figura 6. Captación de Agua Antigua Fuente: Autoría propia, 2019.	43
Figura 7. Captación de Agua Nueva. Fuente: Autoría propia, 2019.....	45
Figura 8. Torre de Aireación. Fuente: Autoría propia, 2019.	46
Figura 9. Floculadores de flujo ascendente. Fuente: Autoría propia, 2019.	47
Figura 10. Sedimentador. Fuente: Autoría propia, 2019	47
Figura 11. Batería de Filtros. Fuente: Autoría propia, 2019.....	48
Figura 12. Desinfección. Fuente: Autoría propia, 2019.....	49
Figura 13. Tanque de Almacenamiento. Fuente: Autoría propia, 2019.....	50
Figura 14. Diagrama de flujo antiguo. Fuente: Autoría propia, 2019.....	51
Figura 15. Diagrama de Flujo actual. Fuente: Autoría propia, 2019.	51
Figura 16. Viviendas de la vereda Altos de Pompeya. Fuente: Autoría propia, 2019.....	52
Figura 17. Calidad del agua en los hogares. Fuente: Autoría propia, 2019.....	53
Figura 18. Instalaciones existentes de la planta.	53
Figura 19. Comparación de parámetros. Fuente: Autoría propia, 2020.....	66
Figura 20. Dosis óptima de sulfato de aluminio. Fuente: Autoría propia, 2020.....	71

Figura 21. Comportamiento de la población rural basado en los censos realizados. Fuente: DANE, 2005 y DANE, 2018.	74
Figura 22. Número de personas por cada hogar. Fuente: Censo General DANE, 2005.....	75
Figura 23. Proyección de población de la zona rural del Meta y Villavicencio. Fuente: Autoría propia, 2020.	81
Figura 24. Proyección de población zona rural de Villavicencio. Fuente: Autoría propia, 2020.	82
Figura 25. pH versus Alcalinidad. Fuente: Daniel J, 2019.	87
Figura 26. Diagrama del proceso. Fuente: Autoría propia, 2020.....	87
Figura 27. Torre de aireación. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.....	90
Figura 28. Detalle bandejas. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.	91
Figura 29. Torre de aireación en 3D. Fuente: Autoría propia, 2020.....	91
Figura 30. Detalle conexión del aireador con la canaleta Parshall. Fuente: Autoría propia, 2020.	92
Figura 31. Gráfica de la función V_1 . Fuente: Autoría propia, 2020.....	94
Figura 32. Diseño final Canaleta Parshall. Fuente: Autoría propia, 2020.	98
Figura 33. Bomba dosificadora. Fuente: (Momentos Piscina, s.f.).....	99
Figura 34. Dimensiones canal de conexión. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.	99
Figura 35. Dimensiones canal de conexión. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.	104
Figura 36. Pantalla de orificios. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.....	109
Figura 37. Dimensiones cámara de recolección de lodos. Fuente: Autoría propia, 2020.....	110
Figura 38. Dimensiones cámara de recolección de lodos. Fuente: Autoría propia, 2020.....	111
Figura 39. Detalle compuerta tipo guillotina. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.....	112
Figura 40. Sedimentador vista en planta. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.....	112

Figura 41. Plano del sedimentador, corte A-A. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.	113
Figura 42. Filtros vista en planta. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.	121
Figura 43. Lechos filtrantes. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.	121
Figura 44. Pozo de succión. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.	122
Figura 45. Pozo receptor de lodos. [m] Fuente: Autoría propia, 2020.	126
Figura 46. Lecho de lodos producidos por el sedimentador. Fuente: Autoría propia, 2020.	128
Figura 47. Lecho de lodos producidos por los filtros. Fuente: Autoría propia, 2020.	130
Figura 48. Estructura del lecho de lodos. Fuente: Autoría propia, 2020.	131

Glosario

- **Agua cruda:** Agua que no ha sido sometida a un proceso de tratamiento (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Alcalinidad:** Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3) (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Análisis físico-químico del agua:** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Análisis microbiológico del agua:** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Calidad del agua:** Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Caudal de diseño:** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Coagulación:** Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).

- **Coagulante:** Sustancia química que induce el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Dosificación:** Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Dotación:** Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Dureza:** 1. Resistencia que opone un determinado material a ser rayado por otro; se relaciona con su estructura cristalina. 2. Característica del agua debida a la presencia de varias sales (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Efluente:** Flujo proveniente de un sistema hidráulico (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Floc:** Resultante de la unión de las partículas coloides en suspensión y el coagulante (por ejemplo, el agua con el sulfato de aluminio. (Alunni).
- **Floculación:** Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Mantenimiento:** Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).

- **Mezcla lenta:** Agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Mezcla rápida:** Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Numero de Froude:** Relación entre las fuerzas inerciales y la fuerza de gravedad (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Periodo de diseño:** Período de diseño Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Prueba de jarras:** Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Resalto hidráulico:** Discontinuidad de la superficie del agua en la cual el flujo pasa de una manera abrupta de un régimen rápido (supercrítico) a un régimen tranquilo (subcrítico) y depende del número de Froude (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Tanque de almacenamiento:** Depósito destinado a mantener agua para su uso posterior (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).
- **Unidad de la planta de tratamiento:** Cada uno de los procesos de tratamiento (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).

- **Vertedero:** Dispositivo hidráulico de rebose de un líquido (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017).

Resumen

El proyecto se enfoca en el Pre-diseño de la Planta Potabilizadora para la Vereda Altos de Pompeya, Meta – Colombia. Para el proyecto se realiza inicialmente un levantamiento topográfico de cada una de las unidades existentes en el lugar, se procede a realizar un diagnóstico del funcionamiento de la planta y se identifican las condiciones del agua suministrada a los habitantes del lugar; para esto, se ejecutaron diferentes ensayos de laboratorio al agua y uso de un multiparámetro para conocer sus propiedades físicas. Se clasificaron los resultados físico-químicos encontrados como turbidez, temperatura, olor, color, alcalinidad, acidez, pH, cloruros, dureza, entre otros y de esta manera poder definir las unidades que se deben diseñar para la PTAP.

Seguido a esto, se realizó la proyección de población junto con la determinación del caudal de diseño; conociendo esto, se diseñaron las siguientes unidades de tratamiento las cuales son torre de aireación, canaleta Parshall, floculador, sedimentador, filtros y lecho de secado de lodos. El diseño de las unidades fueron las necesarias ya que se tuvieron en cuenta los factores técnicos y económicos que posee la vereda.

Palabras Clave: Agua potable, Parámetros de diseño, Planta potabilizadora, Calidad del agua, Tratamiento del agua.

Abstract

The project focuses on pre-design the water treatment Plant to the "Vereda Altos de Pompeya, Meta - Colombia". The project initially starts with a survey of each of the existing units located on the site. That was made with the final purpose to diagnose the operations, and the water conditions supplied to the population. As a second stage, the project identified the physical and chemical properties as turbidity, temperature, smell, colour, alkalinity, acidity, pH, chlorides, hardness, etc. With this, establish the units to design the water treatment plant.

The population projection is principal to establish the flow in the treatment plant because knowing this, the following treatment units were designed taking into consideration technical and economic factors, aeration tower, Parshall gutter, flocculant, settler, filter and sludge drying bed.

Keywords: Drinking water, Design parameter, Water treatment plant, Water quality, Water treatment

Introducción

El presente proyecto se basa en el análisis del funcionamiento de la planta de potabilización (PTAP) para la vereda de “Alto de Pompeya”, ubicada a 30,6 kilómetros, por la carretera 40 del municipio de Villavicencio, (Meta); con el fin de identificar las falencias en el proceso del tratamiento del agua que se lleva a cabo y poder proponer un pre-diseño para optimizar su funcionamiento. La zona de influencia del proyecto cuenta con un acueducto que suministra agua a su población sin un tratamiento adecuado, que permite evidenciar ciertas características a simple vista como la turbiedad del producto y su olor a metal.

El proyecto se desarrollará mediante recolección de datos y procesos de evaluación, que permitan identificar las características del agua suministrada, con el fin de proponer un pre-diseño que pueda cumplir con características exigidas por la norma vigente como lo es la Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico (RAS - 2017), mediante la adaptación de lo establecido por la Resolución 0330 del 2017 expedida por el Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, con el fin de realizar el debido tratamiento del recurso hídrico, junto con la capacidad de suministrar el agua de mejor calidad, para un periodo de diseño de 25 años, como lo afirma el decreto. Además de esto, se tendrán en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible, más específicamente el relacionado con el agua limpia y saneamiento (ODS #6) planteados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, dicho objetivo consiste en garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, y para lograr esto, se plantearon 8 metas las cuales se enfocan en, asegurar que el precio del agua sea asequible para todos, lograr un saneamiento e higiene adecuado para las personas, mejorar la calidad del agua, controlar el uso eficiente del recurso hídrico, tener una gestión integrada para

todos los niveles de estrato, contribuir a la protección del ecosistema, buscar un apoyo y colaboración internacional, y finalmente lograr un fortalecimiento en las comunidades más vulnerables; dichas metas están proyectadas a cumplirse en el 2030 a nivel mundial.

Para el desarrollo del proyecto, éste se dividió en 3 fases, la primera se basa en el reconocimiento del proceso de potabilización existente, mediante un análisis a cada uno de las unidades que posee la planta de potabilización, con el fin de definir los aspectos críticos de cada una de estas y estableciendo los limitantes que posee la planta, para su funcionamiento. Seguido a esto, la fase dos consiste en el análisis de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua que se está suministrando a los usuarios y en la fase final se desarrollará el pre-diseño de la planta potabilizadora de agua.

Estado del Arte

Desde la evolución, el hombre conoció el agua como un recurso primordial para asegurar su existencia, debido a esto el tratamiento y almacenamiento de la misma han venido mejorando de manera simultánea. A lo largo de la historia, los humanos se han preocupado por estar junto a una fuente hídrica para vivir, pero en el transcurso de los años la población fue aumentando de una manera abrupta, tanto que ya fue necesario buscar otras fuentes de agua e implementar diferentes sistemas que permitieran almacenar el agua, y que dichos sistemas también funcionaran como distribuidores de agua para distintos puntos, ya sea subterráneos o de cualquier otra manera (Condorchem Envitech, 2014).

Cabe resaltar que no sólo el almacenamiento del agua es netamente necesario, sino que el tratamiento de éste recurso hídrico es indispensable, ya que las personas que están expuestas a consumir agua sin tratar pueden contraer enfermedades de origen hídrico, como intoxicación, irritaciones internas y demás; dicho esto, a el agua se le deben practicar unos debidos tratamientos con el fin de eliminar todas las sustancias que puedan ocasionar lo mencionado anteriormente. Hoy en día se conocen varias técnicas para tratar de manera correcta el agua para el consumo humano, no obstante, según una publicación del Banco Mundial el 45% de la población mundial carece de un acceso directo de este recurso hídrico y que aproximadamente 2.500 millones de personas, no cuentan con un servicio de potabilización digno (López & Rodríguez, 2010).

En Colombia, a mediados de los años 60 se implementaron acueductos en las zonas rurales con ayuda de las entidades gubernamentales que en ese entonces eran las relacionadas con el sector de la salud. No obstante, las administraciones de dichas entidades, quedaron en manos de

las comunidades, y que a causa de las políticas desarrolladas en los 90 el manejo de los acueductos se fue decayendo ya que el apoyo del estado era nulo al proceso de gestión comunitaria para los debidos procesos de distribución del agua potable. (Vargas, 2001).

El sistema de acueducto de la vereda “Altos de Pompeya”, fue construido mediante aportes de la Empresa Colombiana de Petróleos “ECOPETROL” aproximadamente en el año 2001 según información de pobladores del sector y la cual fue diseñada para un período de 5 años. La fuente de abastecimiento para el sistema de acueducto es mediante un pozo de 44 metros de profundidad, con un caudal aproximado de 12 l/s. En cuanto al sistema de tratamiento del agua, será conformado por un sistema de aireación de seis (6) bandejas, floculadores de flujo ascendente dos (2) unidades, un sedimentador, batería de filtros a presión y un proceso de desinfección y estabilización del pH. El sistema de almacenamiento cuenta con un tanque elevado de 19 metros de altura y 30 metros cúbicos de capacidad.

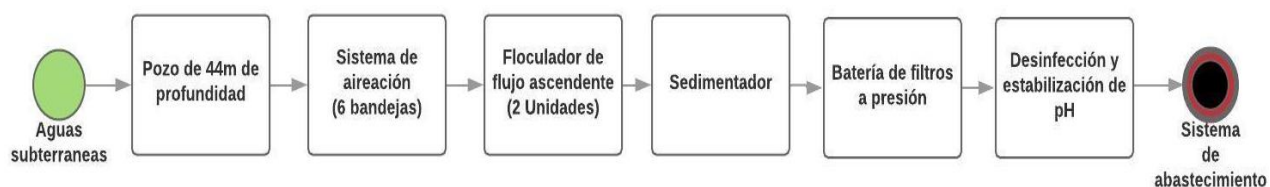


Figura 1. Sistema *actual* Altos de Pompeya.

Fuente: Autores, 2019.

Formulación del Problema

La carencia de un sistema de potabilización en cualquier parte del mundo puede conllevar varias consecuencias, principalmente enfermedades, las cuales pueden estar ligadas a un gasto económico puesto que se tendría que costear un tratamiento médico especializado.

El agua potable es una necesidad básica para los seres humanos, tanto para su consumo, como para el desarrollo de sus actividades económicas, por tal razón, es preciso que los habitantes de la zona Veredal de “Altos de Pompeya” posean un suministro de agua digno, continuo y que cumpla con los requisitos de calidad exigidos por la normativa vigente.

Actualmente, la vereda de “Altos de Pompeya” cuenta con una calidad del servicio de agua aparentemente baja, esto se puede evidenciar a simple vista ya que el olor, color y sabor del agua no es agradable y seguro para su consumo, esto pasa debido a que sus sistemas y estructuras se encuentran deterioradas y con fugas, probablemente por causa de poco o mal mantenimiento que se le realiza a ésta planta, por tal razón, los habitantes de esta vereda se ven obligados a ejecutar procesos de potabilización no convencionales o inadecuados (por ejemplo filtros caseros, sedimentación, hervir el agua, entre otros) que, en muchas ocasiones, no logran conseguir las características del agua apta para su consumo, aumentando la posibilidad de adquirir dichas enfermedades patógenas y que a su vez van generando un detrimento en la calidad de vida de los pobladores.

Justificación

“Por exposición al aire y agua de mala calidad ocurren cada año en Colombia 17,549 muertes, es decir el 8% del total de la mortalidad anual en Colombia.” (Instituto Nacional de Salud, 2019), pero analizando un poco más el número de muertos presentado anteriormente, se aduce que la calidad del agua ocasiona el 71,6% de las muertes, por enfermedades como diarrea aguda, que afecta principalmente a menores de 5 años y mayores de 60 años, por tal motivo los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) específicamente el No. 6 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) busca asegurar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos/as (Programa de las Naciones Unidas, 2016).

Cuando se habla de optimización, se refiere a alcanzar la más eficiente y efectiva calidad de agua producida en una planta de tratamiento, mediante el análisis de las operaciones y procesos unitarios de la estructura de la planta, como de los equipos empleados y el uso que se le hace a los mismos, observando cada uno de los procesos, e identificando si se están llevando a cabo de la manera más ideal posible, con el fin de producir la mejor calidad de agua establecida y con el mayor rendimiento posible.

La probabilidad de contar con una planta de tratamiento con un óptimo funcionamiento para una comunidad, es un factor que genera desarrollo tanto a nivel local como regional. Según información proporcionada por la comunidad local, la vereda posee alrededor de 360 predios con una aproximación de una vivienda por cada predio, por tal razón, la cantidad de personas que se beneficiarán del proyecto, muestran la necesidad de propuestas de diseño como la presente, que fomenten el mejoramiento de la calidad del agua, aplicando lo expuesto en el (ODS 6) del programa de las naciones unidas para el desarrollo.

Objetivos

Objetivo General

- Realizar un diagnóstico del funcionamiento y pre-diseñar la planta potabilizadora mediante procesos de evaluación con el fin de mejorar la calidad del agua suministrada en la vereda de Altos de Pompeya – Meta.

Objetivos Específicos

- Evaluar las condiciones actuales de la PTAP de Altos de Pompeya.
- Identificar las características del agua suministrada para la población de estudio, mediante ensayos de laboratorio y sus respectivos cálculos.
- Plantear alternativas para el mejoramiento de la PTAP.
- Evaluar y recomendar la alternativa de mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable más viable teniendo en cuenta factores económicos y técnicos.

Marco Referencial

Marco Teórico

Localización del proyecto.

La vereda Altos de Pompeya se encuentra localizada en el departamento del Meta, en el municipio de Villavicencio y está a una distancia aproximada de 30,6 kilómetros saliendo por la vía puerto López de dicho municipio, adicional a esto, cuenta con una vía totalmente pavimentada para acceder a esta.

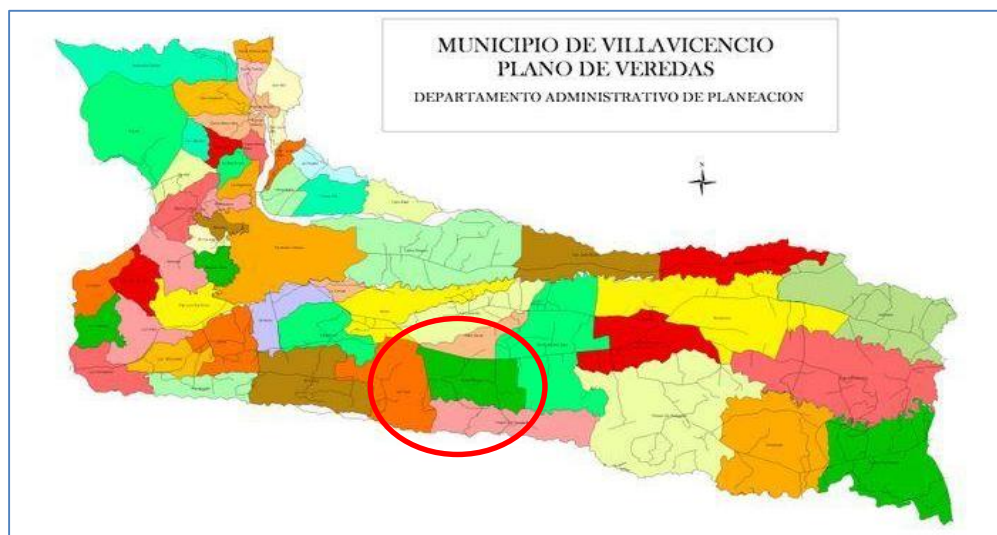


Figura 2. Plano de veredas del municipio de Villavicencio.

Fuente: Morales Vásquez, 2016-2019.

Características socioeconómicas del municipio.

Según información de la comunidad, su economía posee un enfoque agropecuario, destacándose la ganadería de ceba extensiva (es decir; la crianza de ganado en grandes territorios de tierra, siendo un sistema en donde los animales habitan en condiciones de vida

naturales), cría en menor proporción, los cultivos de arroz, plátano, maíz y la extracción de hidrocarburos, estas, entre sus actividades económicas primordiales.

Vivienda.

Un gran porcentaje de propietarios de los grandes predios de la vereda de estudio, no habitan en la misma, dejando encargados o administradores, los cuales son quienes viven en esta vereda, haciendo que los propietarios vayan desapareciendo paulatinamente, las viviendas de quienes viven en la vereda, se caracterizan por ser estructuras en bloque con pañete o ladrillo, en su mayoría con techos de zinc.

Recursos hídricos.

La vereda posee dos fuentes hídricas llamadas, Caño “Quenane” y Caño “cajuy”, los cuales se unen en el río “Pachacaquiario” y desemboca en el río negro, el cual, nace al suroeste del municipio de Villavicencio y desemboca en el río “humea”, como se puede observar en la figura número 3.



Figura 3. Recursos Hídricos.

Fuente: Google Maps, 2019.

-  Caño El Cajuy.
-  Río Quenane.
-  Vereda Altos de Pompeya

Marco Conceptual

Agua potable o agua para consumo humano: Es aquella que, por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el presente decreto y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal (Ministerio de la Protección Social - Decreto 1575, 2007, pág. 1).

Calidad del agua: La calidad del agua incide en diferentes aspectos de los ecosistemas y del ser humano, como lo es la salud, la diversidad biológica, la comida y también en el desarrollo de las actividades económicas. Es por esto que la calidad del agua es un indicador neto de la calidad de vida, puesto que influye de manera directa sobre la riqueza, la pobreza y

los niveles de educación de las personas (Torres, 2009). En Colombia, la calidad del agua ya se encuentra reglamentada por el Decreto 1575 de 2007 y su resolución complementaria 2115 de 2007 (Ministerio de Protección, 2007), en donde se logran señalar los procesos, las características, los instrumentos básicos, sistemas de control y vigilancia a la calidad del agua para el consumo según dicho Decreto.

Fuente de abastecimiento: Depósito o curso de agua superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas (Ministerio de la Protección Social - Decreto 1575, 2007, pág. 2).

Se entiende por fuente de abastecimiento de agua a un sitio específico de ciclo natural de donde se desvía o aparta, temporalmente para ser usada de cualquier manera y seguido a esto regrese finalmente a la naturaleza, teniendo en cuenta que no siempre regresa en las mismas condiciones. Esta agua puede o no volver a su fuente original, lo cual depende de la forma que se disponga de las aguas de desperdicio (Fuentes de Abastecimiento, Aprovechamiento y Consumo de Agua - Tesis, s.f).

Abastecimientos subterráneos. Los depósitos subterráneos son constituidos principalmente por una fuente de agua dulce. En función de la capacidad de almacenamiento, las capas acuíferas subterráneas mundiales contienen más del 90% del agua fresca total que se posee para el uso humano. La gran mayoría de este recurso se encuentra demasiado profundo como para ser explotada en forma económica, de este modo se proporciona agua excesivamente dura, lo cual se debe a que los constituyentes que causan la dureza son lavados de los mismos depósitos minerales. Los abastecimientos subterráneos se clasifican de la siguiente manera: pozos poco

profundos, son aquellos que tienen una profundidad menos a 30 metros, pozos profundos, son aquellos cuya profundidad es superior a 30 metros y finalmente están los manantiales. (Fuentes de Abastecimiento, Aprovechamiento y Consumo de Agua - Tesis, s.f).

Abastecimientos superficiales. En las grandes ciudades, por lo general, las personas dependen de los abastecimientos superficiales, ya sean por corrientes, lagos o embalses que por lo general no son nada seguras para el consumo humano y que requieren de un tratamiento estricto. Dichos abastecimientos se clasifican de la siguiente manera: ríos, lagos naturales, embalses y escurrimientos (Fuentes de Abastecimiento, Aprovechamiento y Consumo de Agua - Tesis, s.f).

Planta de tratamiento o de potabilización: Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable (Ministerio de la Protección Social - Decreto 1575, 2007, pág. 3).

Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano: Es el conjunto de responsables, instrumentos, procesos, medidas de seguridad, recursos, características y criterios organizados entre sí para garantizar la calidad de agua para consumo humano (Ministerio de la Protección Social - Decreto 1575, 2007, pág. 3).

Agua segura: Es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad definidas en el presente decreto, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana (Ministerio de Salud Pública - Decreto 475, 1998, pág. 1).

Análisis físico-químico de agua: Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas (Ministerio de Salud Pública - Decreto 475, 1998, pág. 1).

Contaminación del agua: Es la alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor (Ministerio de Salud Pública - Decreto 475, 1998, pág. 1).

Ensayo de tratabilidad: Son los estudios efectuados a nivel de laboratorio o de planta piloto, a una fuente de abastecimiento específica, para establecer el potencial de aplicación de un proceso de tratamiento (Ministerio de Salud Pública - Decreto 475, 1998, pág. 2).

Tratamiento del agua: Es el conjunto de operaciones unitarias que se logran desarrollar con el fin de modificar las características físico-químicas, biológicas y microbiológicas del agua de acuerdo para el uso que se le desee dar a dicho recurso. Teniendo en cuenta esto, el tratamiento del agua se puede hacer para una purificación o potabilización (en el abastecimiento del agua), también para tratar las aguas residuales ya sea para que sean vertidas en un cuerpo hídrico (ríos, lagos, lagunas, quebradas, etc.) o para una reutilización, o para usos industriales y demás (Manahan, 2007). Son operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas en el presente decreto (Ministerio de Salud Pública - Decreto 475, 1998, pág. 3).

El presente estudio trata específicamente sobre el tratamiento del agua para el consumo humano, el cual es uno de los más grandes problemas a resolver por disciplinas como la ingeniería ambiental y civil, puesto que en Colombia hay varios sectores que no cuentan o tienen deficiencias en los sistemas de purificación del agua. De esta manera, dentro de la caracterización del agua para su correcta potabilización se abordan parámetros físicos como la temperatura, turbiedad, olor, sabor, color y demás, parámetros químicos como la alcalinidad, acidez, dureza, hierro, magnesio, cloruros, nitratos, nitritos, fluoruros y los parámetros microbiológicos como coliformes totales y fecales (López Guzmán, 2008).

Parámetros físicos.

- *Temperatura:* Este es un parámetro físico de gran importancia ya que es un regulador primario de los procesos naturales dentro de ambientes acuáticos. La temperatura puede afectar la velocidad de las reacciones químicas y además, gobierna la fisiología de los organismos y actúa directa o indirectamente en combinación con otros constituyentes de la calidad del agua, perturbando la vida acuática con cada cambio (Ramos, Sepúlveda, & Villalobos, 2002).
- *Turbidez:* Esta es una medida de la capacidad del agua para dispersar y absorber la luz en línea recta a través de una muestra e indica la presencia de material disperso, emulsificado o suspendido, y es importante considerar este parámetro por cuatro aspectos, la antiestaticidad, movilidad, filtrabilidad de contaminantes y eficacia de la desinfección. El último aspecto es el más importante, debido a que en aguas turbias muchos organismos patógenos pueden quedar protegidos del desinfectante porque este queda atrapado en la materia sólida suspendida. Por otro

lado, la transparencia del agua es importante para el agua de consumo humano y procesos industriales, como la fabricación de bebidas, alimentos, y demás (Ramos, et al, 2002).

- *Olor*: La determinación del olor radica en el grado de incomodidad que produce, así como en los efectos tóxicos que pueden producir las sustancias responsables de éste. Generalmente se habla de este término en aguas residuales que pueden ser causadas por los gases producidos o liberados que son producto de biotransformación de materia orgánica y que se depositan en el fondo de estanques o de contenedor creando condiciones propicias para que los organismos anaerobios produzcan gases. El olor más característico se debe al sulfuro de hidrógeno que se producen cuando los sulfatos se reducen a sulfitos por microorganismos anaerobios (Ramos, *et al*, 2002).
- *Color*: El color es un parámetro físico que indirectamente describe el origen y las propiedades del agua. Generalmente las algas y el material orgánico en descomposición le imparten color al agua, además de la presencia de óxidos metálicos como el óxido de fierro, el cual le imparte un color rojizo (Ramos, *et al*, 2002). En el texto del autor anterior se manifiesta que en muchas ocasiones sólo se habla de color para describir aguas residuales por coloraciones grises y negras, ocasionadas por la formación de sulfuros metálicos. Si la presencia de color en el agua se debe a materia suspendida se denomina color aparente, y cuando este se elimina, al restante se le conoce como *verdadero*, siendo este el de interés en la determinación del agua. El color verdadero actúa como filtro de longitudes de

onda que, posiblemente son necesarias para una determinada especie viva en los ecosistemas acuáticos, la cual, si no subsiste puede desestabilizar al cuerpo acuífero receptor interfiriendo en las redes tróficas.

Si debido a sustancias naturales en descomposición las aguas se coloran a un amarillo pardo, no se consideran tóxicas para el humano pero si se califican como antiestética (Manahan S. E., 2007).

Marco Legal

Para la realización del pre-diseño de la planta potabilizadora, se tienen en cuenta varias normativas propuestas, entre esas está el *Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 expedido por el Ministerio de Salud y protección social*, en el cual se establece los lineamientos en cuanto al uso del agua, todos los criterios, los procesos y operaciones para una correcta potabilización del recurso bien sea de naturaleza superficial, subterránea o marina, y residuos líquidos.

En el *Decreto 475 de 1998 expedido por el Ministerio de Salud y protección social*, se muestran todas las normas técnicas que supervisan todo lo relacionado con el manejo de la calidad del agua potable para el consumo de las personas, así mismo regula que el agua suministrada como servicio público sea apta para los suscriptores de dicho servicio.

Dentro del *Decreto 1575 de 2007 expedido por el ministerio de protección social* se encuentra toda la información que establece el correcto Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

También se encuentra la *Resolución 2115 del 22 de junio del 2007 expedida por el ministerio de ambiente* la cual establece las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para su consumo (SOCIAL, 2007).

La Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, estipula los requisitos técnicos que se deben cumplir a la hora de realizar una construcción, en donde se aseguren que las etapas, la puesta en marcha, el mantenimiento, la operación y el mantenimiento de la infraestructura relacionada con el tratamiento del recurso hídrico, como el acueducto, el alcantarillado y el aseo, se realicen bajo ciertas normas.

Artículo 366. El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable (Colombia, s.f.).

Artículo 36. La ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos. Los servicios públicos domiciliarios se prestarán directamente por cada municipio cuando las características técnicas y económicas del servicio y las conveniencias generales lo permitan y aconsejen, y los departamentos cumplirán funciones de apoyo y coordinación. La ley determinará las entidades competentes para fijar las tarifas (Colombia, s.f.).

Artículo 370. Corresponde al presidente de la República señalar, con sujeción a la ley, las políticas generales de administración y control de eficiencia de los servicios públicos

domiciliarios y ejercer por medio de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el control, la inspección y vigilancia de las entidades que los presten (Colombia, s.f.).

Recursos Para Ejecutar El Trabajo De Grado

Materiales

Insumos de laboratorio necesarios para la realización de los ensayos de la calidad del agua, tales como:

- Reactivos (Nitrato de plata, hidróxido de sodio).
- Indicadores (Cromato de potasio, fenolftaleína).
- Utensilios en vidrio (matraz de Erlenmeyer, vaso de precipitado beaker, probetas, entre otros).
- Equipo de jarras (de 6 puestos).

Institucionales

Laboratorio e instrumentos proporcionados por la universidad para realizar las pruebas correspondientes de calidad de agua como:

- Espectrofotómetro,
- Turbidímetro
- Multiparámetro.

Financieros

Los recursos financieros son proporcionados por los autores del presente proyecto, tales como los viáticos.

Metodología

Para el desarrollo metodológico del proyecto, se ha elegido un enfoque de tipo cuantitativo ya que se hará uso de información cuantificable a lo largo de su ejecución, teniendo en cuenta que se usarán métodos estadísticos para el desarrollo de las proyecciones poblacionales de acuerdo al periodo de diseño. Para esto, se necesitan de datos numéricos como lo son el caudal de entrada y los aspectos físico-químicos del recurso hídrico. Así mismo se necesitan los datos numéricos de costos de materiales y construcción que la planta conlleve.

A continuación, se muestran las etapas en las cuales se indica una guía para la realización del proyecto.

Primera etapa: Evaluación y diagnóstico de las condiciones actuales en las que funciona el PTAP de “Altos de Pompeya”, Meta.

- Recolección de información que pueda ser útil como recurso para el desarrollo del diseño de las unidades necesarias para el correcto funcionamiento de la PTAP, como, por ejemplo, estado de las unidades que posee el acueducto actual, y el funcionamiento del mismo, identificando si posee problemas de construcción y operación.
- Levantamiento topográfico de la planta de tratamiento actual, en caso de que la vereda no posea esta información.

Segunda etapa: Análisis de las características del agua suministrada a la población de estudio.

- Recolección de muestras representativas del agua suministrada a la población, siguiendo los procedimientos establecidos por la Norma Técnica Colombiana.
- Realización de pruebas de laboratorio para determinar turbiedad, pH, color aparente, Temperatura, coliformes totales, dureza total y cálcica, alcalinidad, acidez, cloruros, ensayo de jarras, hierro y magnesio, y averiguar su procedimiento.

Tercera etapa: Plantear alternativas para el mejoramiento de la PTAP.

- Establecer cuáles son las operaciones y procedimientos para el correcto tratamiento del agua con el fin de que cumpla con los estándares establecidos por la norma mediante el análisis de las pruebas de laboratorio realizadas y el diagnóstico de las condiciones de la PTAP.
- Según la información obtenida evaluar y recomendar la alternativa de mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable más viable teniendo en cuenta factores económicos y técnicos siguiendo las recomendaciones propuestas por distintos autores.

Flujograma

En la figura 4, se evidencia el flujograma que se utilizaría para el buen uso técnico de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la vereda Altos de Pompeya, con el fin de garantizar la eficiencia de la misma.

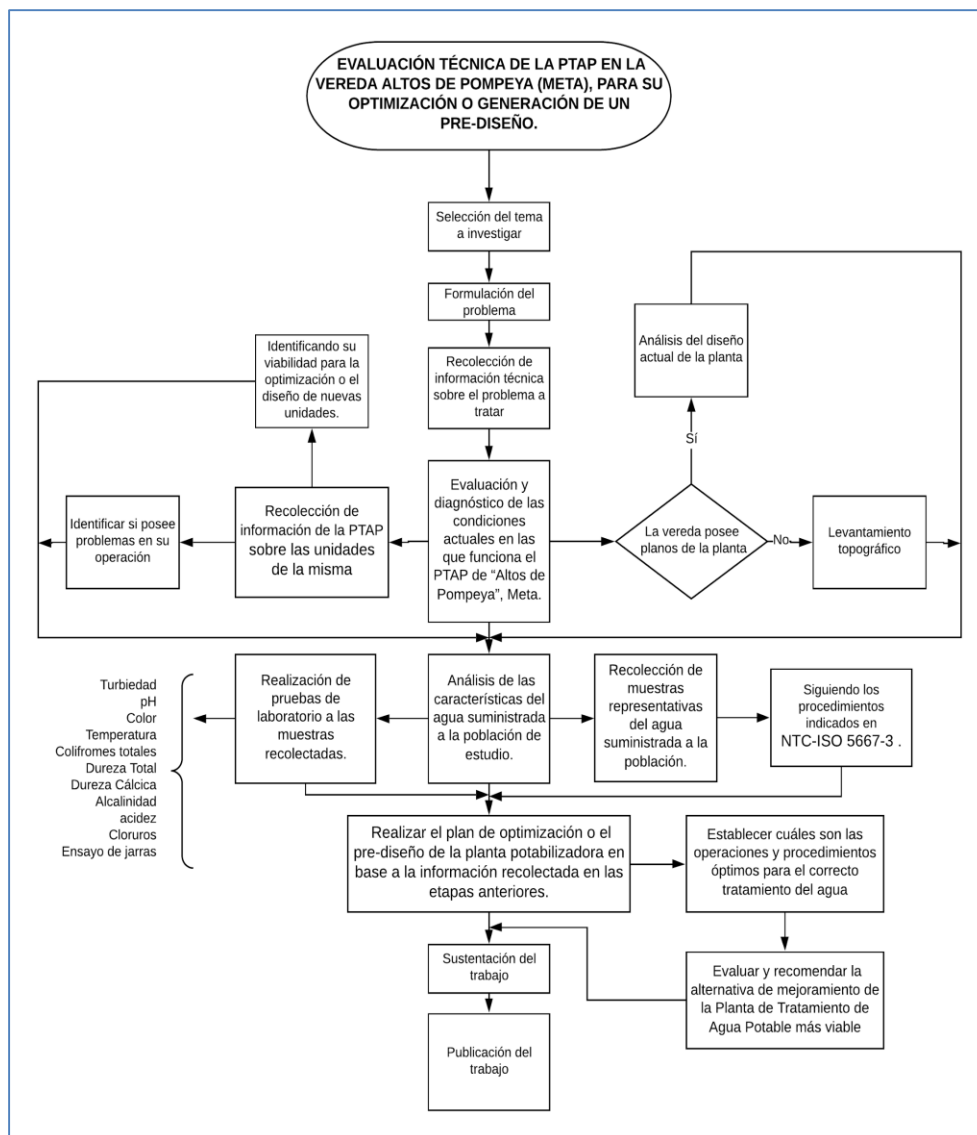
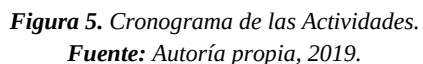


Figura 4. Flujograma de las Actividades.

Fuente: Autoría propia, 2019.

En el cronograma de actividades, se tienen en cuenta todas las etapas que tiene el presente proyecto, como se muestra en la figura 5.



Resultados – Etapa I

Evaluación y diagnóstico de las condiciones actuales del funcionamiento de la PTAP ubicada en “Altos de Pompeya”, Meta.

Durante esta primera fase, se realizaron visitas periódicas en donde se observaron y caracterizaron los componentes de la planta de tratamiento actual, la cual se encuentra en deterioro, estando la mayoría de sus componentes fuera de servicio como se especifica a continuación.

Aspectos funcionales de la planta

Punto de captación antiguo

El sistema de acueducto se abastecía de aguas subterráneas mediante un pozo de 12 (L/seg) con una profundidad de 44 metros, el cual contaba con una bomba tipo lapicero de 15 Hp ubicada a 38 m de profundidad y un diámetro del pozo de 8 pulgadas. Desde este punto de captación, continua con una tubería de 3 pulgadas de diámetro.



Figura 6. Captación de Agua Antigua
Fuente: Autoría propia, 2019.

La información anterior se corrobora en el documento PM-GJ. 1.2.64.09.2228 del 5 de octubre del año 2009, el cual establece: “se inicia tramite de concesión de aguas subterráneas mediante pozo profundo por un caudal de 12 L/s, para uso doméstico y para beneficio del Acueducto Alto de Pompeya de conformidad con la solicitud elevada por la *Junta de Acción Comunal Alto de Pompeya, Libertad y Orden Cormacarena*”

Resolución No. PM-GJ. 1.2.6.10.0355 del 12 de marzo del año 2010, el cual comenta: “por medio del cual se otorga concesión de aguas subterráneas a favor de la *Junta de Acción Comunal Alto de Pompeya*, identificada con Nit. 900.729.904-8, para uso doméstico en beneficio del acueducto alto de Pompeya. Localizado en jurisdicción del municipio de Villavicencio — Meta.”

Punto de captación nuevo.

La planta de tratamiento cuenta con una fuente de abastecimiento de aguas subterráneas, la cual actualmente suministra agua a la vereda de Altos de Pompeya para consumo doméstico, según información suministrada por la junta de acción comunal, el pozo cuenta con una capacidad de 20 L/s, el material de revestimiento es de acero de carbón, una presión de trabajo de 16 bar y el diámetro del pozo es de 8 pulgadas, sin embargo, su funcionamiento se encuentra entre los 12 (L/s) a 15 (L/s) con un tiempo de operación entre 2 a 4 horas dependiendo la decisión del “fontanero”, dicho pozo se encuentra a 68 metros de profundidad, el cual lleva las aguas hasta el tanque de almacenamiento, el cual se encuentra en buen estado. A la fecha de la elaboración de este informe (julio 2020), no se cuenta con la información actualizada del pozo.

Realizando un análisis de los datos anteriores, se puede inferir que, el volumen del agua que se extrae del pozo se encuentra en un intervalo de 86.4 a 216 metros cúbicos diarios. Teniendo en cuenta el número de habitantes referenciados posteriormente, se deduce que la dotación neta actual, se encuentra entre 48 - 120 L/hab/día; la cual es menor al consumo propuesto en la resolución 0330 del 2017 de 140 L/hab/día.



Figura 7. Captación de Agua Nueva.
Fuente: Autoría propia, 2019.

Sistema de aireación

El sistema de aireación se encuentra fuera de servicio, como se evidencia en la figura 8, además presenta un evidente estado de oxidación debido a su falta de mantenimiento. Este se encuentra conformado por seis (6) bandejas de aireación, las cuales contenían carbón activado y servía para la disminución de las cantidades de hierro mediante procesos de oxidación y absorción.



Figura 8. Torre de Aireación.

Fuente: Autoría propia, 2019.

Floculación y sedimentación.

La planta de agua potable posee dos (2) floculadores que se encuentran fuera de servicio y sin mantenimiento, en donde se denota un alto estado de deterioro y oxidación; estos floculadores, se caracterizan por funcionar mediante un sistema de flujo ascendente que trabajaba en paralelo, en ellos se le aplicaba un coagulante y se transportaba el agua a tratar hasta el sedimentador. Este, al igual que los floculadores, se encuentra fuera de funcionamiento y en estado de deterioro.



Figura 9. Floculadores de flujo ascendente.
Fuente: Autoría propia, 2019.



Figura 10. Sedimentador.
Fuente: Autoría propia, 2019

Sistema de filtros

Después de pasar por el sedimentador, el agua a tratar era enviada a un sistema de batería de filtros de presión para remover el material suspendido que no fue removido en el proceso de sedimentación, estos filtros son de referencia “Triton II” que se caracterizan por tener largos periodos de servicio, permitiendo un flujo de agua constante. En la actualidad, estos filtros se encuentran deteriorados y fuera de servicio.



Figura 11. Batería de Filtros.

Fuente: Autoría propia, 2019.

Desinfección

En este proceso se le inyectaba hidróxido de sodio para la estabilización de pH y cloro para su desinfección, actualmente no se realiza ningún procedimiento de este tipo,



Figura 12. Desinfección.
Fuente: Autoría propia, 2019.

Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento se caracteriza por ser de tipo elevado en concreto de forma hexagonal, con un volumen de 70.15 m^3 y una altura de la base de 19 metros (estos datos fueron obtenidos mediante el uso de una estación total), actualmente se encuentra en funcionamiento, recibiendo las aguas subterráneas directamente del pozo nuevo con una tubería de 4 pulgadas y repartíendola en tuberías de 3 pulgadas. desinfe



Figura 13. Tanque de Almacenamiento.

Fuente: Autoría propia, 2019

Diagramas de flujo del funcionamiento de la planta

Diagrama de flujo del funcionamiento antiguo.

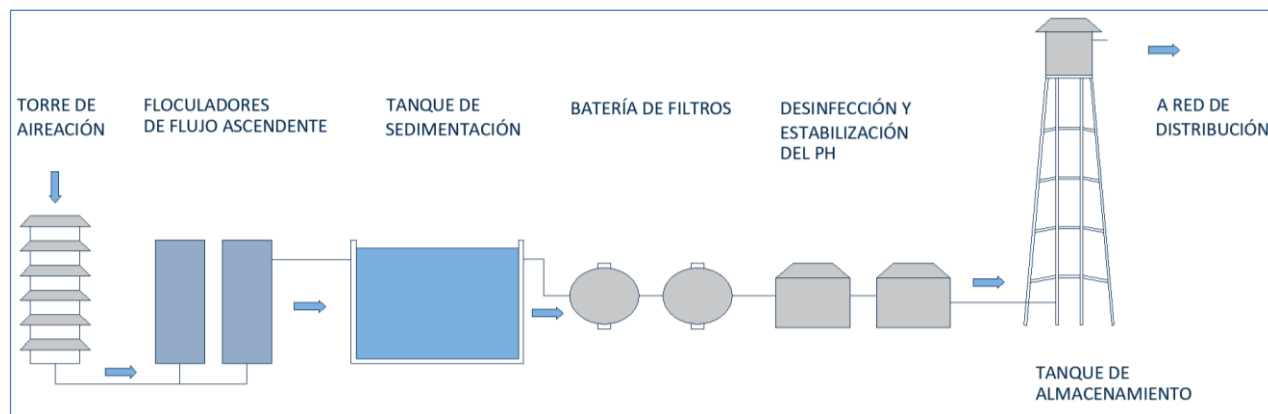


Figura 14. Diagrama de flujo antiguo.

Fuente: Autoría propia, 2019.

Diagrama de flujo del funcionamiento actual.

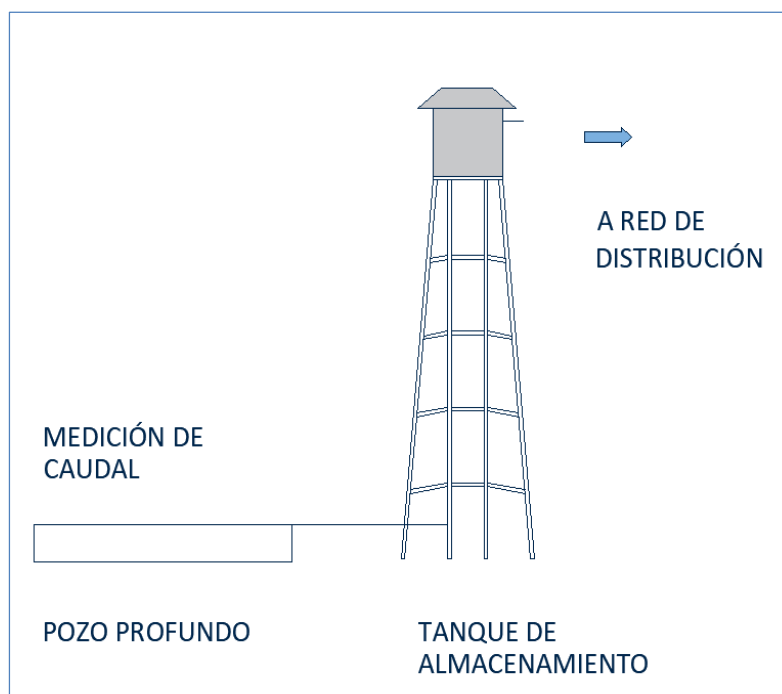


Figura 15. Diagrama de Flujo actual.

Fuente: Autoría propia, 2019.

Aspectos operativos

Actualmente, no hay un operario permanente que garantice un funcionamiento constante de la planta potabilizadora, además, el operario actual, carece de conocimientos básicos de los procesos generales de una planta de tratamiento, como estudios de laboratorio, análisis de agua y mantenimiento de las unidades, por lo cual se recomienda una capacitación al personal que vaya a estar a cargo de la PTAP.

Aspectos técnicos

La planta potabilizadora no cuenta con ningún equipo para la medición de la calidad del agua que se está suministrando, además, no le agrega ningún tipo de aditivo para el mejoramiento de la misma.



Figura 16. Viviendas de la vereda Altos de Pompeya.

Fuente: Autoría propia, 2019.



Figura 17. Calidad del agua en los hogares.
Fuente: Autoría propia, 2019.

En la figura 12, se puede observar la turbiedad del agua al llegar a los hogares de la vereda. Se evidencia a simple vista que el agua suministrada es de baja calidad para el consumo directo. Cabe resaltar que, según los habitantes de las viviendas visitadas, el agua que llega, se deja sedimentar por varios días y se le agrega cloro, con el fin de contar con una fuente hídrica menos contaminada.



Figura 18. Instalaciones existentes de la planta.
Fuente: Autoría propia, 2019.

Georreferenciación de las unidades existentes de la planta.

El levantamiento topográfico se realizó por medio del uso de una estación total, utilizando el método de radiación simple con el fin de georreferenciar las unidades existentes de la actual PTAP ubicada en la vereda Altos de Pompeya. El proceso se efectuó por medio de la superposición de los planos oficiales de la vereda, proporcionados por la Junta de Acción Comunal de la misma; cabe resaltar que las coordenadas de origen fueron MAGNA Sirgas / Colombia Bogotá zona.

En el siguiente cuadro, se muestran los dos puntos de referencia con coordenadas y altura conocidas, seguido a las coordenadas del lote, filtros, sedimentador, tanque, bodegas, pozos y demás elementos ya existentes.

Tabla 1. Tabla de coordenadas.
Autoría propia.

COORDENADAS			
Nombre	X	Y	Especificación
Referencia	1075828,738	941014,281	Poste 1
	1075852,599	941012,483	Poste 2
Lote	1075827,866	940980,958	Malla
	1075841,118	940975,430	Malla
	1075848,747	940972,248	Esquina
	1075850,861	940983,317	Malla
	1075852,467	940991,728	Malla
	1075855,222	941006,158	Esquina
	1075851,879	941006,359	Malla
	1075843,551	941006,858	Malla
	1075837,847	941006,058	Malla
	1075827,452	940993,544	Malla
	1075819,794	940984,325	Esquina
Bodega 1	1075829,542	940991,276	Esquina
	1075832,403	940988,866	Esquina
	1075830,580	940986,702	Esquina
	1075827,719	940989,111	Esquina

COORDENADAS			
	X	Y	Especificación
<i>Bodega 2</i>	1075853,888	941003,886	Esquina
	1075852,036	940995,302	Esquina
	1075849,768	940995,791	Esquina
<i>Pozo antiguo</i>	1075845,785	940985,471	Punto
<i>Pozo nuevo</i>	1075845,238	940993,402	Punto
<i>Filtros</i>	1075831,796	940985,574	Filtro 1
	1075832,820	940984,767	Filtro 1
	1075833,553	940984,231	Filtro 2
	1075834,430	940983,573	Filtro 2
<i>Floculadores</i>	1075836,220	940980,984	Floculador 1
	1075837,061	940979,828	Floculador 1
	1075834,704	940979,862	Floculador 1
	1075835,881	940978,685	Floculador 1
	1075838,008	940978,404	Floculador 2
	1075839,411	940979,549	Floculador 2
	1075840,132	940977,723	Floculador 2
	1075839,185	940977,227	Floculador 2
<i>Sedimentador</i>	1075844,146	940980,391	Punto
	1075846,791	940978,329	Punto
	1075842,127	940978,232	Punto
	1075844,467	940975,813	Punto
<i>Tanque</i>	1075837,480	940987,333	Columna
	1075839,821	940986,422	Columna
	1075840,079	940983,755	Columna
	1075837,940	940982,141	Columna
	1075835,685	940983,249	Columna
	1075835,373	940985,823	Columna

Resultados – Etapa II

Análisis de las características del agua suministrada a la población de estudio.

Para el desarrollo de la presente etapa, se realizaron tres muestras compuestas, es decir, se tomaron en el mismo punto (en la bocatoma del pozo) pero en diferente fecha y horario, con el fin de poder analizar los cambios físicos-químicos ocurridos en la fuente hídrica.

Tabla 2. Parámetros calculados.

Fuente: Autoría propia.

Muestra	Fecha	Parámetros calculados
Muestra 1	30/05/2019	pH, turbiedad, Acidez, Alcalinidad, Dureza total, dureza cálcica, cloruros.
Muestra 2	10/12/2019	Temperatura, pH, solidos disueltos totales, salinidad, conductibilidad, ORP, presión atm, turbiedad.
Muestra 3	23/01/2020	Turbiedad, Acidez, pH, cloruros, alcalinidad, dureza total, dureza cálcica.

Análisis físico-químico de la primera muestra

El primer análisis se realizó el 30 de mayo de 2019, en donde se midieron in-situ el pH y la turbiedad; los parámetros de acidez, alcalinidad, dureza y cloruros se analizaron mediante ensayos de laboratorio, realizando cinco pruebas por cada parámetro. Estos ensayos se realizaron aproximadamente un día después de tomar la muestra, evitando lo máximo posible la alteración de esta.

Turbiedad y pH

La turbiedad y pH de la muestra se tomaron del agua subterránea de la planta de tratamiento, estos datos se determinaron de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 4707 de 1999 y la NTC 3651 de 2012, donde se hizo uso de un turbidímetro y papel indicador de pH, dónde se obtuvo 65 NTU y 6,5 respectivamente.

Alcalinidad

El ensayo de alcalinidad se hizo de acuerdo con la NTC 4803 de 2016, donde se usó como reactivo el ácido sulfúrico (H_2SO_4) con una normalidad de 0,02 N y como indicador el naranja de metilo. La toma de datos se encuentra en el anexo b.

Para el cálculo de la alcalinidad total, se usó la fórmula 1:

$$Acidez\ Total = \frac{T * N * 50000}{mL\ muestra} \quad (1)$$

Dónde:

T: Volumen total de H_2SO_4 gastado en la Titulación.

N: Normalidad del reactivo H_2SO_4 .

Tabla 3. Alcalinidad de la muestra.
Fuente: Autoría propia, 2020.

Alcalinidad total promedio	
$\left[\frac{mg}{L} CaCO_3 \right]$	6,84

Acidez

El ensayo de acidez del agua se hizo de acuerdo con lo establecido en la NTC 4803 de 2016, en el cual se usó como reactivo el hidróxido de sodio (NaOH) en una concentración de

0.02 N y como indicador, se implementó fenolftaleína. La toma de datos se encuentra en el anexo b.

Para el cálculo de la acidez, se usó la fórmula 2:

$$Acidez\ Total = \frac{A * N * 50000}{mLmuestra} \quad (2)$$

Dónde:

A: Volumen total de NaOH gastado en la Titulación.

N: Normalidad del reactivo NaOH.

Tabla 4. Acidez de la muestra.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Acidez total promedio $\left[\frac{mg}{L} CaCO_3\right]$	
33,82	

Cloruros

Como rige la NTC 4844 del año 2000, se realizó el ensayo de cloruros en donde se utilizó como indicador el cromato de potasio (K_2CrO_4) en una concentración de 0.01 N y como reactivo, se hizo uso del nitrato de plata ($AgNO_3$). La toma de datos se encuentra en el anexo b.

Para el cálculo de cloruros se usó la fórmula 3:

$$Cloruros\ ppm = \frac{A * N * 35450}{mL\ de\ la\ muestra} \quad (3)$$

Dónde:

A: Volumen total de $AgNO_3$ gastado en la Titulación.

N: Normalidad del reactivo AgNO_3 .

Tabla 5. Cloruros de la muestra.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Total cloruros promedio [Cl mg/L]	25,40
--	--------------

Los resultados obtenidos en los ensayos para la muestra uno, se evidencian en la tabla cinco en donde se exponen los valores admisibles propuestos por el Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Resolución número 2115.

Tabla 6. Resultados de las pruebas fisicoquímicas de la muestra 1.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Muestra 1				Ministerio de Protección Social	
Parámetro	Magnitud	Unidad	Técnica	Valor máx. admisible	Unidad
Alcalinidad Total	6,84	mg CaCO_3/L	Titulación	200	CaCO_3
Acidez	33,82	mg CaCO_3/L	Titulación	50	CaCO_3
Cloruros	25,40	mg Cl/L	Titulación	250	Cl^-
Dureza total	60,10	mg CaCO_3/L	Titulación	300	CaCO_3
Dureza cálcica	71,00	mg CaCO_3/L	Titulación	--	--
Turbiedad	65	NTU	Turbidímetro	2	UNT
pH	6,5	Unidades	Papel indicador	6.5 – 9.5	Unidades

Observaciones: La dureza cálcica no tiene definido un valor admisible, debido a esto, no se evidencia en la tabla.

Análisis fisicoquímico de la segunda muestra (multiparámetro)

Para la segunda prueba se realizó el muestreo el día 10 de diciembre de 2019 en dos horas distintas, a las 6:00 am y a las 12:00 pm, esto con el fin de poder analizar los cambios físicos del agua durante el día, teniendo en cuenta que entre este intervalo el encargado de la planta potabilizadora la pone en funcionamiento. En la tabla seis, se logró confirmar que, al extraer

cierta cantidad de agua del pozo, hay un aumento en la turbiedad del agua, que podría ser controlable mediante una extracción regular del caudal.

Si un pozo se explota a una velocidad que no arrastre el suelo, la turbiedad debe ser mínima y se garantiza el mantener el medio en su estado original. Cabe resaltar que para la muestra dos, los datos fueron tomados mediante un Multiparámetro HANNA, suministrado por la universidad. Los datos obtenidos se observan en la tabla número seis:

Tabla 7. Resultados de las pruebas fisicoquímicas de la muestra 2 – Multiparámetro.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Parámetro	Muestra 6:00 am		Muestra 12:00 pm	
	Magnitud	Unidades	Magnitud	Unidades
pH	5,940	pH	5,920	pH
Presión atm	14,082	PSI	14,078	PSI
Temperatura	28,450	°C	29,660	°C
Salinidad	0,020	PSU	0,050	PSU
Sólidos totales	23,000	ppm tds	55,000	ppm tds
Resistencia	0,022	MΩ-cm	0,009	MΩ-cm
Conductibilidad	47,000	Ωs/cm	111,000	Ωs/cm
Potencial de óxido reducción	--	MVO ORP	75,100	MVO ORP

Observaciones: La diferencia de magnitud de los sólidos totales entre la muestra y la hora, podrían indicar una extracción excesiva de caudal puede generar un detrimento en las propiedades del pozo.

Análisis fisicoquímico de la tercera muestra

El primer análisis se realizó el 23 de enero del 2020, se midió el pH y la turbiedad como parámetros in-situ, y la acidez, alcalinidad, dureza cálcica, dureza total y cloruros mediante análisis de laboratorio, realizando tres pruebas por cada parámetro.

Turbiedad y pH

En la toma de estos datos, se tuvo en cuenta lo establecido en la NTC 4707 de 1999 para la turbiedad y para el pH se hizo uso de la NTC 3651 de 2012.

Para la tercera muestra, la turbiedad y el pH se tomaron del agua subterránea de la planta de tratamiento, estos datos se determinaron mediante un turbidímetro y papel indicador de pH, dónde se obtuvieron como resultado un promedio de 25 NTU y 5,5 respectivamente.

Alcalinidad

El ensayo de alcalinidad se hizo de acuerdo con la NTC 4803 de 2016, donde se usó como reactivo el ácido sulfúrico (H_2SO_4) con una normalidad de 0,02 N y como indicador el naranja de metilo. La toma de datos se encuentra en el anexo b.

Para el cálculo de la alcalinidad total, se hizo uso de la fórmula 1 en donde se tomaron los tres resultados obtenidos y se promediaron, para dar un resultado final mostrado en la tabla 7.

Tabla 8. Alcalinidad de la muestra 3.
Fuente: Autoría propia, 2020.

Alcalinidad Total	
promedio $\left[\frac{mg}{L} CaCO_3\right]$	54,90

Dureza total

Para este ensayo, se tuvo en cuenta la NTC 4706 de 1999. La dureza total, se determinó mediante el método de titulación, siendo como reactivo el ácido etilendiaminotetracético (EDTA) con una molaridad de 0.01 M; además se usó como indicador el Negro de Ericromo T (NET) y para hacer que el resultado fuera más certero, se implementó un poco de un buffer pH 10. La toma de datos se encuentra en el anexo b.

En el cálculo de la dureza total se hizo uso de la fórmula cuatro, en donde se tomaron los tres resultados obtenidos y se promediaron, para dar un resultado final mostrado en la tabla ocho.

$$Dureza\ Total = \frac{T * N * 1000000}{mL\ muestra} \quad (4)$$

Dónde:

T: Volumen total de EDTA gastado en la Titulación.

N: Normalidad del reactivo EDTA

Tabla 9. Dureza total de la muestra 3.
Fuente: Autoría propia, 2020.

Dureza total promedio [ppm CaCO₃]	218,06
---	---------------

Dureza cálcica

Para este ensayo, se tuvo en cuenta la NTC 4706 de 1999. La dureza cálcica, se determinó mediante el método de titulación, siendo como reactivo el ácido etilendiaminotetracético (EDTA) con una molaridad de 0.01 M; además se usó como indicador el Murexide. La toma de datos se encuentra en el anexo b.

La dureza cálcica se calculó usando la fórmula cinco, en donde se tomaron los cuatro resultados obtenidos y se promediaron, para dar un resultado final mostrado en la tabla nueve.

$$\text{Dureza cálcica} = \frac{T * N * 1000000}{\text{mL muestra}} \quad (5)$$

Dónde:

T: Volumen total de EDTA gastado en la Titulación.

N: Normalidad del reactivo EDTA.

Tabla 10. Dureza cálcica de la muestra 3.
Fuente: Autoría propia, 2020.

Dureza cálcica promedio [ppm CaCO₃]	114,29
---	---------------

Cloruros

De acuerdo con la NTC 4844 de 2000, para el ensayo de cloruros, se utilizó como indicador el cromato de potasio (K₂CrO₄) en una concentración de 0.01 N y como reactivo, se hizo uso del nitrato de plata (AgNO₃). La toma de datos se encuentra en el anexo b.

Para el cálculo de cloruros se usó la fórmula tres, y se obtuvo como resultado lo mostrado en la tabla diez.

Tabla 11. Cloruros de la muestra 3.
Fuente: Autoría propia, 2020.

Total promedio Cloruros [mg Cl/L]	10,14
--	--------------

Acidez

El ensayo de acidez de la tercera muestra se determinó de acuerdo con la NTC 4803 de 2016, donde se usó como reactivo el hidróxido de sodio (NaOH) en una concentración de 0.02 N y como indicador, se implementó la fenolftaleína. La toma de datos se encuentra en el anexo b.

Para el cálculo de la acidez se usó la fórmula dos, se promediaron los totales y dio como resultado:

Tabla 12. Acidez total de la muestra 3.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Acidez Total	
$\left[\frac{mg}{L} CaCO_3\right]$	39,37

Los resultados de las pruebas fisicoquímicas de la muestra tres, se ven expresados en la tabla 13.

Tabla 13. Resultados de las pruebas fisicoquímicas de la muestra 3.**Fuente:** Autoría propia, 2020.

Muestra 3				Ministerio de Protección Social	
Parámetro	Magnitud	Unidad	Técnica	Valor Máx. admisible	Unidad
Alcalinidad Total	54,90	mg CaCO ₃ /L	Titulación	200	CaCO ₃
Acidez	39,37	mg CaCO ₃ /L	Titulación	50	CaCO ₃
Cloruros	10,14	Mg Cl/L	Titulación	250	Cl ⁻
Dureza total	218,06	mg CaCO ₃ /L	Titulación	300	CaCO ₃
Dureza cálcica	114,29	mg CaCO ₃ /L	Titulación	..	..
Turbiedad	24	NTU	Turbidímetro	2	UNT
pH	5,5	Unidades	PH metro.	6.5 - 9	Unidades

Observaciones: Para la muestra tres, se observa que cumple con la mayoría de los parámetros con excepción de la turbiedad.

Comparación entre los parámetros de la muestra 1 y la muestra 3

Al realizar esta comparación, se puede observar que existe una diferencia entre las magnitudes de dureza y alcalinidad, aunque en la magnitud de turbiedad gráficamente se vea una considerable desviación entre la primera y la tercera muestra, numéricamente, esta diferencia no es tan considerable, debido a que estos parámetros son controlables como se especificó en la muestra dos.

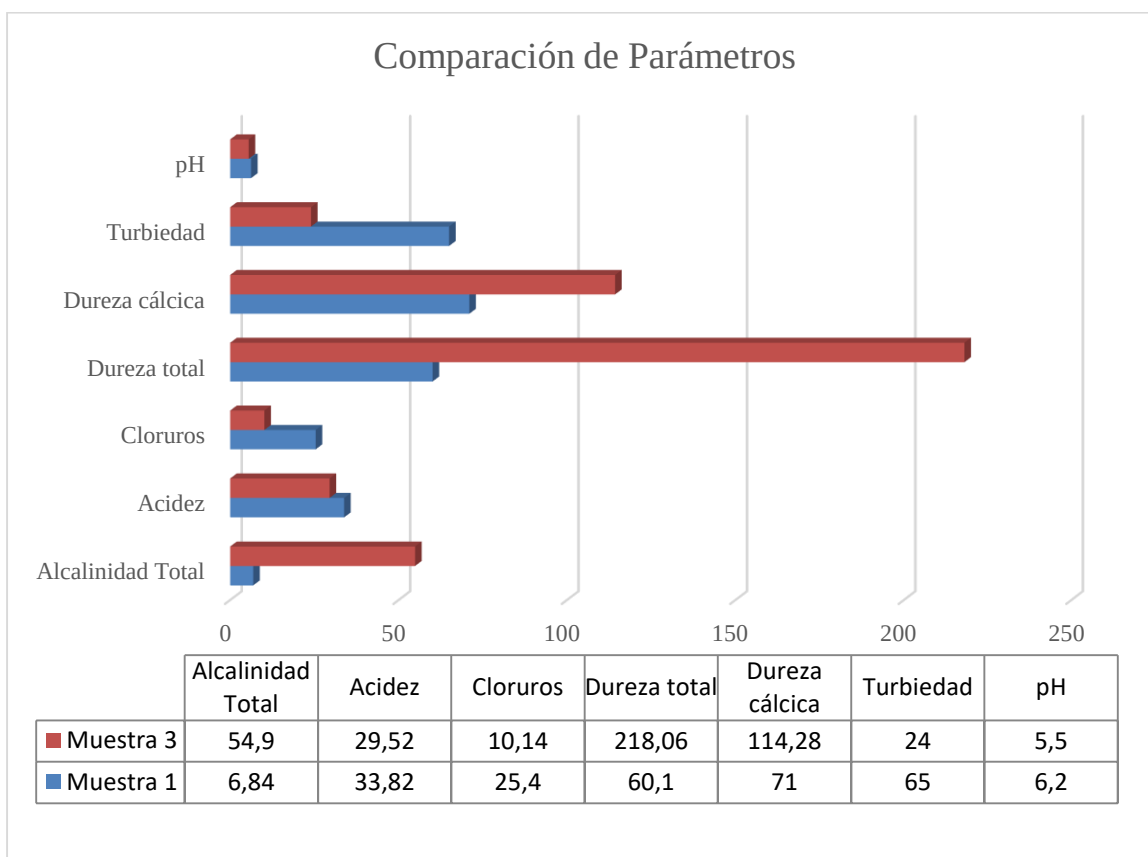


Figura 19. Comparación de parámetros.

Fuente: Autoría propia, 2020.

En contraste con estos parámetros, para la magnitud de cloruros y acidez no se observa una desviación considerable, pero para la magnitud de pH se recomienda un monitoreo constante debido a que cambios en el pH podría conllevar a una disminución en la eficiencia del coagulante que se vaya a utilizar.

Durante la toma de muestras, el encargado de la planta potabilizadora nos dio a conocer los ensayos de laboratorio realizados por la Asociación Comunitaria de Servicios Públicos (A.C.A.P E.S.P.) con la fecha de toma del mes de marzo de 2008, en donde nos enseña los valores de hierro, E. Coli, coliformes totales y magnesio. Se decidió utilizar estos valores para el cálculo de las unidades debido a que la actual emergencia sanitaria en la que está pasando

Colombia (2020), se impide hacer los ensayos de laboratorio respectivos, se recomienda para futuros diseños de la PTAP, se realicen para tomar acciones en disminuir este parámetro.

Tabla 14. Resultados de ensayos de laboratorio.
Fuente: Asociación Comunitaria de Servicios Públicos, 2008.

Parámetro	Resultado	Valor admisible
Magnesio	15 mg Mg/L	Hasta 36 mg Mg/L
Hierro	8 mg Fe/L	Hasta 0.3 mg Fe/L
E. Coli	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml
Coliformes totales	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml

Al analizar los datos de la tabla número 13, es necesario realizar una remoción de hierro del agua, se puede realizar este procedimiento teniendo en cuenta la tabla 14:

Tabla 15. Tratamientos para el hierro y manganeso en el agua potable.
Fuente: Problemas del Agua Potable: El Hierro y el Manganeso.

Causa	Indicación	Tratamientos
Hierro y manganeso disueltos		Compuestos de fosfato (úse para concentraciones < 3 mg/L)
	El agua está clara cuando es tomada, pero aparecen partículas rojizas o negruzcas cuando se estanca.	Suavizador de agua (úse para concentraciones combinadas de hierro y manganeso > 5mg/L)
	Manchas rojizas-café o negras en los accesorios de plomería o en la ropa lavada.	Filtro oxidante – de arena verde de manganeso o zeolita (úse para concentraciones combinadas de hierro y manganeso > 25 mg/L)
		Aireación/filtración (úse para concentraciones combinadas de hierro y manganeso > 25 mg/L)

Causa	Indicación	Tratamientos
		Oxidación y filtración química (úsese para concentraciones combinadas de hierro y manganeso > 10 mg/L)
Hierro o manganeso disuelto (coloidal) (complejos orgánicos de estos minerales)	El agua del grifo está con un tono rojizo o negruzco y el color se mantiene por más de 24 horas (no hay precipitación de partículas)	Oxidación y filtración química
Hierro oxidado en el suministro de agua	El agua del grifo contiene partículas rojizas – cafés que se asientan cuando el agua se estanca	Filtro de partículas
Corrosión de tubería y equipo	El agua del grifo contiene partículas rojizas – cafés que se asientan cuando el agua se estanca	Eleve el pH del agua y use un filtro de partículas
Bacterias de hierro o manganeso	Babas rojizas – cafés en los tanques de los inodoros, drenajes de los lavamanos y las tinas	Filtración

Observaciones: Revisar el documento anexo, pues en éste se encuentran aclarados cada uno de los tratamientos mencionados en la tabla. (Instituto de Recursos de Agua, Texas).

Ensayo de jarras

El análisis de la dosis óptima para el proceso de coagulación y floculación, para la realización de este, se hizo de acuerdo con la NTC 3903 de 2010, en donde se hace uso del sulfato de aluminio, el cual es un reactivo que se puede conseguir en el mercado con gran facilidad. Este factor fue la clave esencial para escoger el reactivo adecuado que funcione como coagulante y ayude a la disminución de la turbiedad del agua cruda de la planta potabilizadora.

Tabla 16. Requisitos mínimos del sulfato de aluminio tipo B.**Fuente:** NTC 53.

Sulfato de aluminio tipo B		
Requisitos	Sólidos	Solución
Al ₂ O ₃ Mínimo	15,2	7,3
Hierro como Fe ₂ O ₃	2	1,2
% materia insoluble	8	0,1

El procedimiento realizado para el ensayo de jarras fue el siguiente; se determinaron los valores iniciales de la muestra, como lo son la turbiedad, el pH y la temperatura. El procedimiento se realizó dos veces, con el fin de aumentar la precisión del resultado.

Tabla 17. Datos iniciales – Prueba de jarras.**Fuente:** Autoría propia, 2020.

Ensayo de Jarras		
Datos iniciales	Valor	Unidades
pH	5,5	--
Turbidez	24	NTU
Temperatura	22	°C

Seguido a esto, se determinó la dosis óptima de sulfato de aluminio que necesita la muestra, como se observa en las tablas 18 y 19.

Tabla 18. Resultados – Ensayo de jarras 1.**Fuente:** Autoría propia, 2020.

Sulfato de Aluminio					
Muestra	Dosis (ml)	Turbiedad			Eficiencia (%)
		EBC	NTU	NEPH	
1	0	1,36	5,5	37,1	77,08
2	4	1,15	4,7	31,4	80,42
3	6	1,65	6,7	45,2	72,08
4	8	1,38	5,5	37	77,08
5	10	1,34	5,5	36,8	77,08
6	12	1,35	5,5	37	77,08

Tabla 19. Resultados – Ensayo de jarras 2.**Fuente:** Autoría propia, 2020.

Sulfato de Aluminio					
Muestra	Dosis (ml)	Turbiedad			Eficiencia (%)
		EBC	NTU	NEPH	
1	1	1.6	6.5	43.6	72.92
2	2	1.52	6.2	41.7	74.12
3	3	1.0	4.0	26.9	83.33
4	4	1.15	4.7	31.4	80.42
5	5	1.36	5.5	37	77.08

Al analizar el comportamiento del sulfato de aluminio como floculante durante el test de jarras, se tuvo en cuenta que era primordial encontrar la menor dosis posible que permitiera una mayor efectividad para la remoción de la turbiedad en el agua a tratar, debido a que un exceso en

el uso de este reactivo, podría llegar a traer consecuencias adversas al propósito final de este producto, es decir, que al aumentar la dosis de floculante la turbiedad va a llegar a un punto en donde su magnitud dejará de bajar y comenzará a subir, debido a que el exceso de reactivo genera igualmente un exceso de residuo (lodos), además de un aumento en el costo que no es productivo y podría llegar a afectar la efectividad de la planta como la economía de la vereda.

Al analizar la figura 20, se concluye que la dosis óptima de sulfato de aluminio es de 3 ml de coagulante por cada 1 L de agua a tratar, esto conlleva a una efectividad del 83.33% en la remoción de la turbiedad gracias a que existe una mayor generación de “Flocs” con un peso específico superior al del agua.

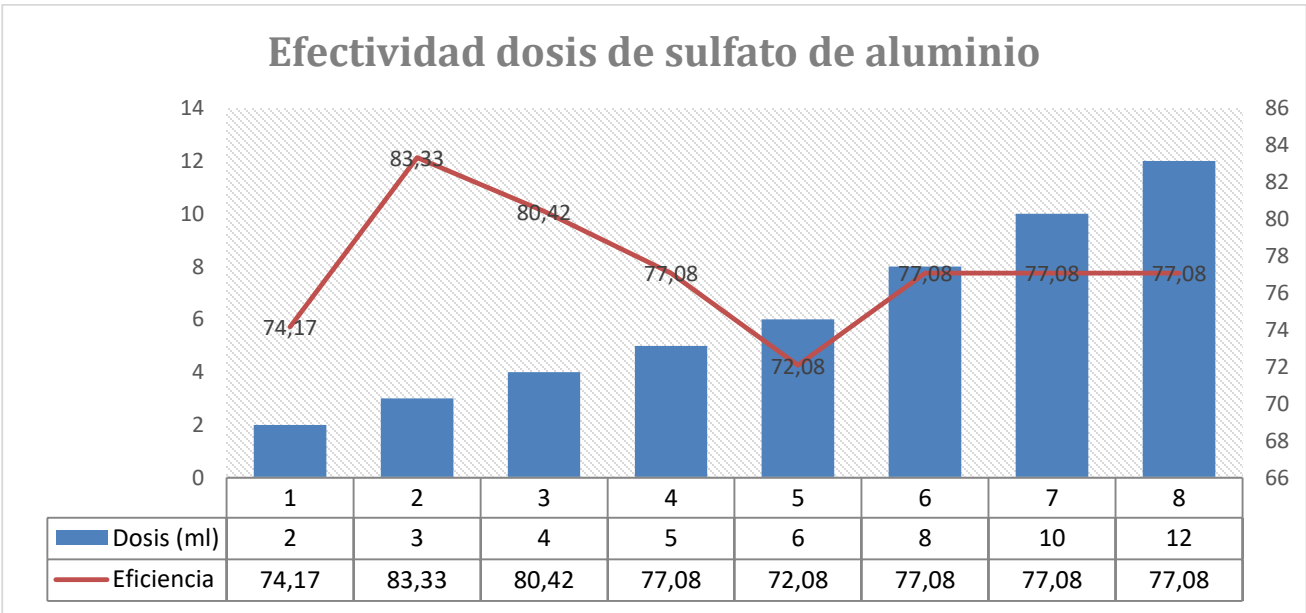


Figura 20. Dosis óptima de sulfato de aluminio.
Fuente: Autoría propia, 2020.

Resultados – Etapa III

Plantear Alternativas para el Mejoramiento de la PTAP

Las etapas anteriores fueron las etapas base para el posible desarrollo de la presente actividad, en estas se realizó un diagnóstico de los elementos que posee la actual planta de tratamiento, verificando su capacidad hidráulica con el fin de poder encontrar el límite de su funcionamiento, basado en el período de diseño y teniendo como base los estudios de proyección de población realizados, se planea definir la viabilidad de su uso para una nueva alternativa de PTAP, siguiendo los parámetros exigidos por la Resolución 0330 del 2017.

Proyección de población.

Hace referencia a un valor aproximado respecto al número de habitantes de una población en un año futuro. Para la proyección de población de la vereda de Altos de Pompeya se tuvo en cuenta que no existen datos estadísticos y específicos acerca del comportamiento de crecimiento de esta, por tal razón, se muestra a continuación las proyecciones de crecimiento poblacional y los censos realizados en los años 1985, 1993, 2005 y 2018 proporcionadas por el DANE como fuente oficial, para la población rural de Villavicencio.

Tabla 20. Proyección de población rural de Villavicencio.**Fuente:** DANE, 2005 y DANE, 2018.

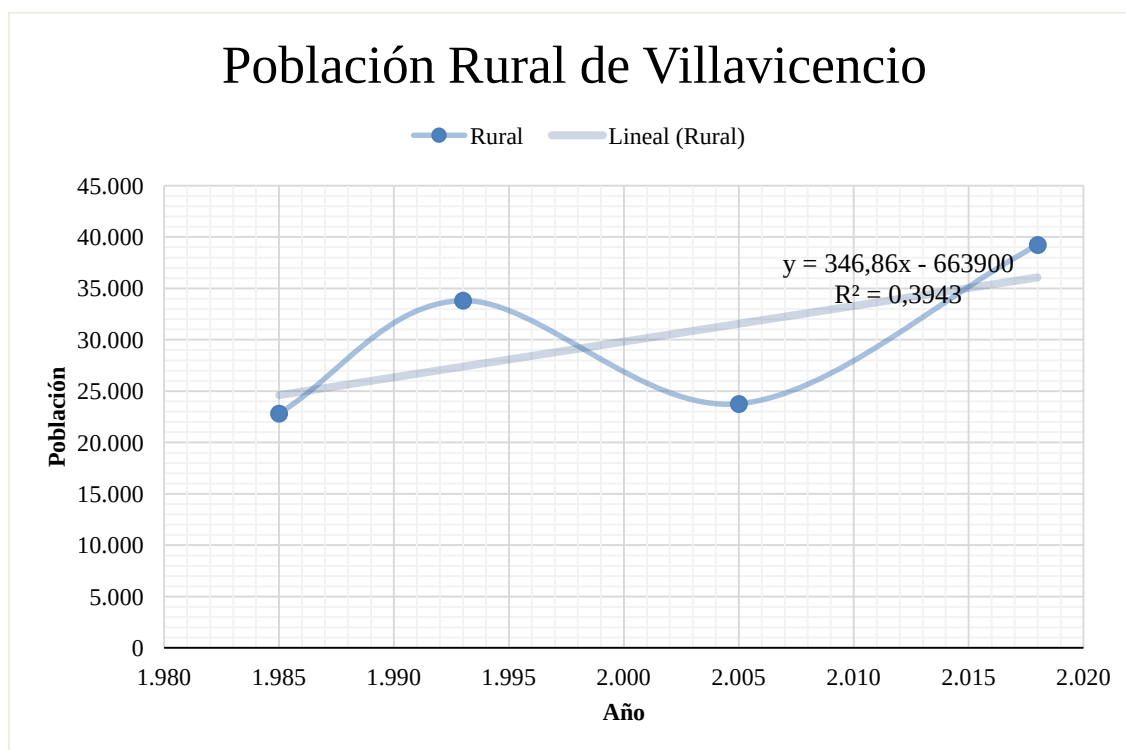
Proyección de población	
Año	Población
2005	23.758
2006	23.667
2007	23.596
2008	23.544
2009	23.512
2010	23.499
2011	23.505
2012	23.531
2013	23.576
2014	23.641
2015	23.725
2016	23.828
2017	23.951
2018	39.223
2019	41.539
2020	43.255
2021	43.777
2022	44.263
2023	44.710

Tabla 21. Censos de Villavicencio.**Fuente:** DANE, 2005 y DANE, 2018.

Año del censo	Población		
	Cabecera	Rural	Total
1.985	189.048	22.818	211.866
1.993	219.976	33.804	253.780
2.005	356.464	23.758	380.222
2.018	492.052	39.223	531.275

Tabla 22. Censos del departamento del Meta.**Fuente:** DANE 2005 y DANE 2018.

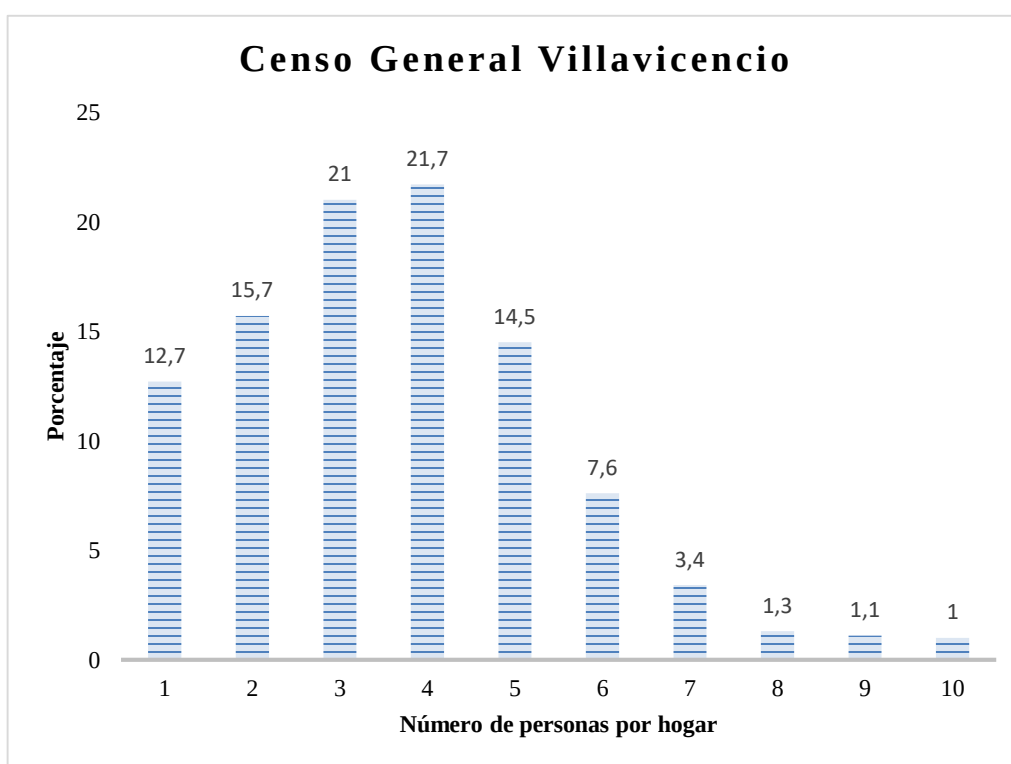
Año del censo	Población		
	Cabecera	Rural	Total
1.985	312.927	197.740	510.667
1.993	358.919	202.202	561.121
2.005	571.055	212.113	783.168
2.018	703.635	215.494	919.129

**Figura 21.** Comportamiento de la población rural basado en los censos realizados.**Fuente:** DANE, 2005 y DANE, 2018.

Según información proporcionada por la Junta de acción comunal de la vereda, esta cuenta con 360 predios en donde se considera una vivienda por cada predio, analizando los datos suministrados por el censo de 2005 realizado por el DANE, se establece que cada vivienda está conformada por un promedio de cuatro personas, según lo muestra la figura 22, considerando la

posibilidad de un aumento en la cantidad de personas por cada vivienda en los años posteriores basado en la relación que establece Charles et al. (2018) la cual dice “un individuo con niveles bajos de ingresos preferirá tener más hijos” se define un número de 5 personas por hogar como factor de seguridad; dando así una población aproximada de 1800 habitantes.

Adicionalmente, no existen medidores en los predios donde se suministra el agua y los suscriptores que pagan el servicio les llega una facturación mensual para el año 2019 de \$15.000 pesos, según lo comentado por los habitantes del lugar.



Observaciones: Aproximadamente el 71,1% de los hogares de Villavicencio tiene 4 o menos personas.

Figura 22. Número de personas por cada hogar.

Fuente: Censo General DANE, 2005.

Proyección de población

Siguiendo las recomendaciones de la Resolución 0330 y las indicaciones de Corcho Romero y Duque Serna realizadas en el 2005, con el fin de obtener el método más apropiado para la determinación del comportamiento del crecimiento de la población.

Método Aritmético

Este método asume que el crecimiento de la población está definido por una tasa constante de crecimiento, “este método es aplicable a pequeñas localidades en especiales rurales y ciudades grandes con crecimiento muy estabilizado” (Corcho Romero & Duque Serna, 2005) (p. 16).

Tabla 23. Método aritmético población de Villavicencio.
Fuente: Autoría propia, 2020.

Villavicencio	
Población último año	39223
Población censo inicial	22818
Año último censo	2018
Año censo inicial	1985
Año proyección	2045
<i>Población final</i>	52645

Tabla 24. Método aritmético población del Meta.**Fuente:** Autoría propia, 2020.

Meta	
Población último año	215494
Población censo inicial	197740
Año último censo	2018
Año censo inicial	1985
Año proyección	2045
Población final	230020

Método geométrico.

Según el RAS (2017), este método es útil en poblaciones que muestran una actividad económica importante

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (6)$$

Donde:

P_f : Población Final

P_{uc} : Población último censo

r : es la tasa de crecimiento anual. (Ecuación 7)

T_f : Año de proyección final.

T_{uc} : Año último censo.

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}}} - 1 \quad (7)$$

Haciendo uso de esta ecuación expuesta por el RAS 2017, se obtuvieron los siguientes resultados tanto para la población rural de la ciudad de Villavicencio como para el

departamento del Meta, teniendo en cuenta que el año de proyección de población para el presente proyecto es del 2045.

Tabla 25. Proyección de población para la ciudad de Villavicencio.
(Método geométrico)
Fuente: Autoría propia, 2020.

Villavicencio	
Población último año (2.018)	39.223
Población censo inicial (1.985)	22.818
Año proyección	2.045
Tasa de crecimiento [r]	0,017
Población final [Hab]	61.098

Tabla 26. Proyección de población para el departamento del Meta.
(Método geométrico).
Fuente: Autoría propia, 2020.

Departamento del Meta	
Población último año (2.018)	215.494
Población censo inicial (1.985)	197.740
Año proyección	2.045
Tasa de crecimiento [r]	0,0026
Población final [hab]	335.678

Según los resultados obtenidos, en las tablas 25 y 26 se muestra la población rural futura para la ciudad de Villavicencio y el departamento del Meta, las cuales dan como resultado 61.098 y 335.678 respectivamente, esto para el año 2045.

Método exponencial.

Este método es recomendado por el RAS para pequeñas poblaciones.

$$P_f = P_{ci} * e^{k*(T_f - T_{ci})} \quad (8)$$

Donde:

P_f : Población Final

P_{ci} : Población censo año inicial.

T_f : Año de proyección final.

T_{ci} : Año censo inicial.

K : Tasa de crecimiento de la población anual. (Ecuación 9)

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (9)$$

Donde:

P_{cp} : Población del censo posterior.

P_{ca} : Población del censo anterior.

T_{cp} : Año del censo posterior.

T_{ca} : Año del censo anterior.

$\ln$: Logaritmo natural.

Tabla 27. Proyección de población para la ciudad de Villavicencio.
(Método exponencial).

Fuente: Autoría propia, 2020.

Villavicencio	
Población censo inicial (1.985)	22.818
Año proyección	2045
k_1	0,02
k_2	0,04
k_3	0,03

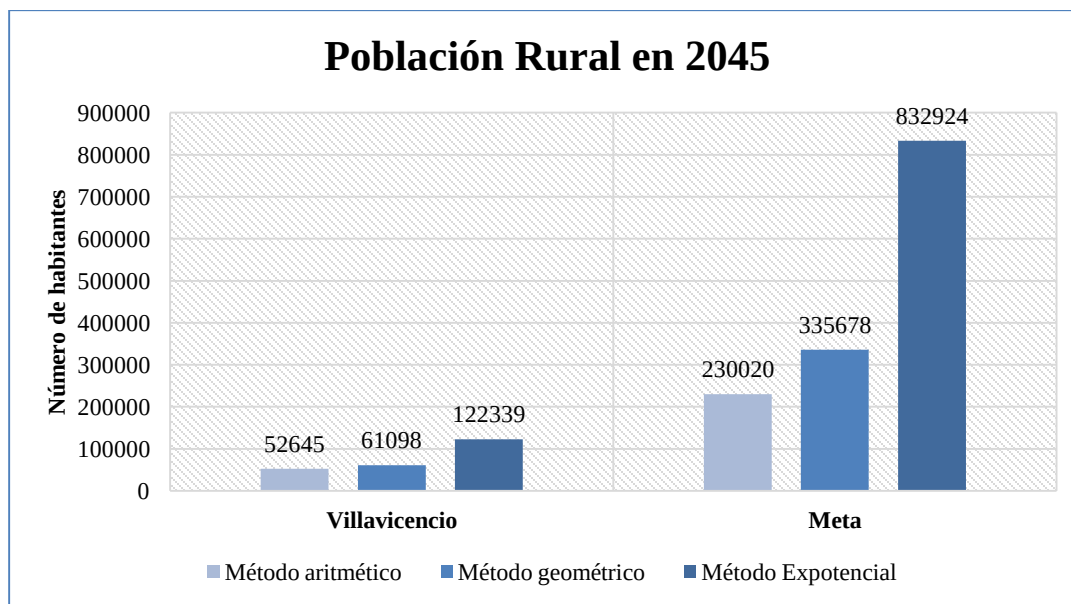
k_{prom}	0,03
Euler (e)	2,72
<i>Población final [hab]</i>	122.339

Tabla 28. Proyección de población para el departamento del Meta. (Método exponencial).

Fuente: Autoría propia, 2020.

Departamento del Meta	
Población censo inicial (1.985)	197.740
Año proyección	2045
k_1	0,017
k_2	0,04
k_3	0,02
k_{prom}	0,02
Euler (e)	2,72
<i>Población final [hab]</i>	832.924

En el método exponencial, se obtienen los resultados mostrados en las tablas 27 y 28, donde, la población futura para la ciudad de Villavicencio y el departamento del Meta son de 122.339 y 832.924 respectivamente, esto para el año 2045 basado en la Resolución 0330 de 2017 expedida por el ministerio de vivienda.

Comparativa de proyección de población**Figura 23.** Proyección de población de la zona rural del Meta y Villavicencio.**Fuente:** Autoría propia, 2020.

Al analizar el comportamiento del crecimiento de la población en la vereda de estudio y al basarse en los datos publicados por el DANE en el 2005, se puede observar una subestimación en el crecimiento poblacional de la vereda, esto junto con las actividades agropecuarias y en el sector de petróleo, se decide adoptar el método geométrico aplicando la tasa de crecimiento de la población rural de Villavicencio (generando así una mejor segregación); es decir se aplicó la tasa de crecimiento a la población inicial de la vereda obteniendo el crecimiento expuesto en la figura 24 calculando de esta manera la población futura para el año 2045.

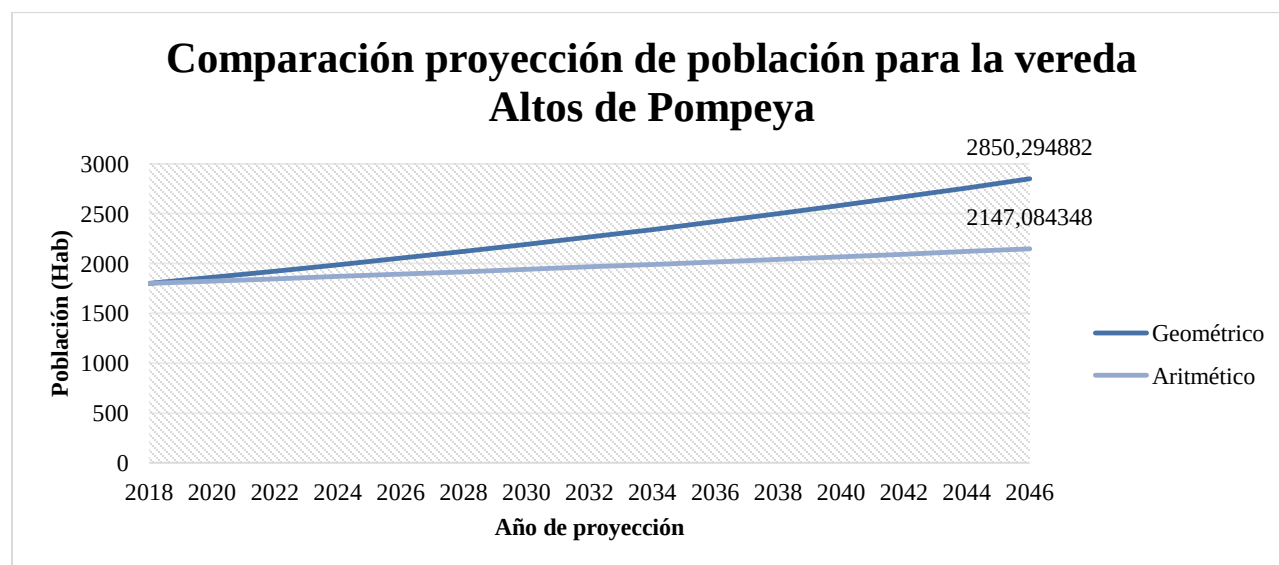


Figura 24. Proyección de población zona rural de Villavicencio.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Determinación de caudales

En la determinación de los caudales, se deben tener en cuenta los parámetros de la dotación y la demanda, puesto que éstos son los que determinarán la capacidad real que todo el sistema tiene a lo largo de su vida útil. Estos se establecen a partir del tamaño de la población implicada, de las actividades de esta y del clima del sitio donde se encuentran las instalaciones.

Dotación neta máxima

Según la Resolución 0330 del 2017, la dotación neta máxima se debe determinar sabiendo los consumos de agua potable que hayan tenido todos los suscriptores, dichos consumos se deben corroborar con la información histórica, la cual puede ser proporcionada por el servicio de acueducto, en el Sistema Único de Información (SUI).

Tabla 29. Dotación neta máxima.**Fuente:** Resolución 0330, 2017.

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

Para definir la altura de la vereda de estudio se definió según el punto geodésico JPL-3023-S del instituto Agustín Codazzi, el cual tiene una altura de 327,89 metros sobre el nivel del mar, debido a esto se establece una dotación neta máxima de 140 L/hab*día.

Tabla 30. Punto geodésico JPL-3023-S.**Fuente:** IGAC, 2011.

Coordenadas Navegadas MAGNA-SIRGAS							
Latitud (°):		Longitud (λ):		Altura Elipsoidal (m)			
N 4 3’ 56,19		W 73 22’ 48,19		327,89 m			
MONUMENTACIÓN							
Latitud:		Tipo:		Monumentado por:			
1995/09/12		MOJÓN		HECTOR JAIRO RAMIREZ C			
Estado del Punto		Ancho (m)		Largo (m)		Sobresale (m):	
BUENO		0,3		0,3		0,1	

Dotación bruta.

La resolución 0330 de 2007 expedida por el Ministerio de Vivienda establece que, las pérdidas técnicas máximas para el diseño de una planta de tratamientos de agua potable no deberán superar el 25%, por lo tanto, se procede al cálculo de la dotación bruta mediante la siguiente ecuación:

$$D_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p} \quad (10)$$

donde:

d bruta : Dotación Bruta (L/hab-día)

d neta : Dotación Neta (L/hab-día)

%p : Porcentaje de pérdidas

$$D_{bruta} = \frac{140 \left(\frac{L}{hab} * día \right)}{(1 - 25\%)}$$

$$D_{bruta} = 186,67 \text{ L/hab/día}$$

Caudal medio diario.

El caudal medio diario se calcula haciendo uso de la ecuación 11. Cabe resaltar que el día se puede tomar de 16 horas, puesto que la unidad va a necesitar un descanso mínimo de 8 horas y de ésta manera evitar el deterioro del pozo.

$$Q_m = \frac{P * d.bruta}{57600s} \quad (11)$$

$$Q_m = \frac{2850 * 186,67}{57600} \rightarrow Q_m = 9,24 \frac{L}{s}$$

Caudal máximo diario.

Para el caudal máximo diario se adopta un factor de mayoración $K_1 = 1,3$ y $K_2 = 1,3$ debido a que son los máximos valores que nos permite adoptar la resolución.

$$QMD = Qmd * k_1 \quad (12)$$

$$QMD = 9,24 \text{ L/s} * 1,30 \rightarrow QMD = 12,01 \text{ L/s}$$

El pozo del lugar posee una bomba, la cual permite el control del caudal, se debe tener en cuenta que la Junta de Acción Comunal Alto de Pompeya, Libertad y Orden Cormacarena, recomienda que el caudal no se use a un 100% de su capacidad es decir menos o igual a 12 L/s, por tal motivo para el presente trabajo, se decidió usar los siguientes caudales constantes para el funcionamiento de la planta con el fin de que el pozo funcione a dos tercios de su capacidad evitando la sobre explotación del pozo y cumpliendo con Resolución PM-GJ. 1.2.6.18.0621 de abril de 2016. (Los datos posteriores fueron calculados siguiendo los procedimientos anteriores con un tiempo de operación de 24 horas):

$$\text{Caudal medio diario} \rightarrow Qmd = 6,16 \text{ L/s}$$

$$\text{Caudal Máximo Diario de diseño} \rightarrow QMD = 8 \text{ L/s}$$

Debido a que el caudal de diseño es menor al caudal de concesión, no se justifica presentar una proyección de caudales, sin embargo, se realiza la siguiente tabla para analizar el comportamiento del caudal respecto al crecimiento de la población

Tabla 31. Proyección de demanda para el caudal máximo diario.*Fuente:* Autoría propia, 2020.

Proyección de demanda			
Año	Población (hab) DANE	Caudal (L/s)	
		Medio diario	Máximo diario
2018	1800	3.89	5.06
2020	1860	4.02	5.22
2022	1922	4.15	5.40
2024	1986	4.29	5.58
2026	2053	4.43	5.77
2028	2121	4.58	5.96
2030	2192	4.74	6.16
2032	2265	4.89	6.36
2034	2341	5.06	6.57
2036	2419	5.23	6.79
2038	2500	5.40	7.02
2040	2583	5.58	7.25
2042	2669	5.77	7.50
2044	2758	5.96	7.75
2046	2850	6.16	8.01

Operaciones unitarias involucradas

Un gran número de plantas que funcionan con base a aguas subterráneas poseen gran ventaja respecto a su turbiedad, en este caso, según los ensayos de laboratorio realizados, la muestra obtuvo un valor para turbiedad de 24 NTU, pero una dureza de 218 mg/L CaCO_3 , para este caso se plantea aumentar el pH con el fin de disminuir la dureza carbonácea y la no carbonácea; según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en su informe Dureza Total en Agua con EDTA por Volumetría publicado en el 2007, establece que “cuando la alcalinidad es menor que la dureza total, la dureza carbonácea es igual a la alcalinidad”, gracias al anterior postulado, la dureza va a disminuir a medida que se aumente el pH como se muestra en la figura 25.

$$1.0 \text{ mg/L CO}_2 \text{ as CO}_2 = 1.14 \text{ mg/L CO}_2 \text{ as CaCO}_3 \quad (4.23)$$

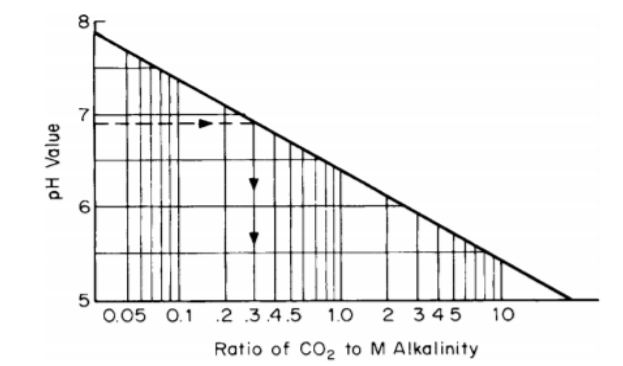


Figura 25. pH versus Alcalinidad.

Fuente: Daniel J, 2019.

Por tal razón, se planea el uso de los siguientes procesos unitarios para la disminución de la turbiedad del agua, sólidos en suspensión, bacterias, sólidos y la clarificación de su color mediante el uso de procesos como la aireación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y posteriormente su almacenamiento y distribución siguiendo los parámetros de la Resolución 0330 del 2017 y la guía metodológica “*Water and Wastewater Treatment Operations, Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*”, este proceso se evidencia de manera general en la figura 26.

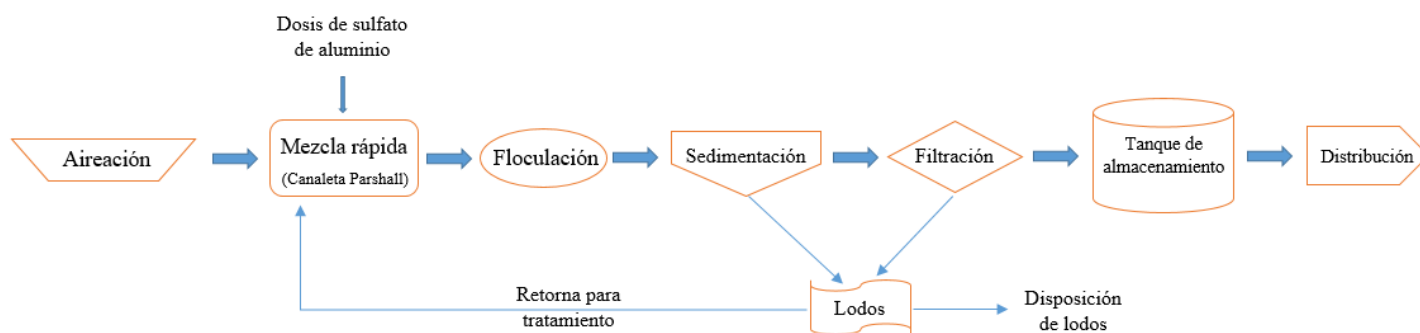


Figura 26. Diagrama del proceso.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Aireación.

La aireación es un proceso donde se procura que tenga el máximo contacto con el aire con el fin de transformar la concentración de las sustancias volátiles que existan en ella. Este procedimiento permite que aumente el contenido de oxígeno en el agua y gracias a esto, permite mejorar el sabor, el olor, el color y demás. El proceso de aireación también contribuye a la disminución de temperatura, reducción en la cantidad de CO₂ además de contribuir a la remoción de metano, sulfuro de hierro, amoníaco, manganeso, hierro, entre otros.

Para el presente proyecto, se hace uso del sistema de aireación con bandejas múltiples, el cual consiste en ubicar una cantidad de bandejas debidamente perforadas, esto con el fin de que el agua se distribuya y caiga a un tanque receptor. Según Romero, en su texto Potabilización del Agua, los aireadores de bandejas múltiples deben tener un medio grueso como cerámica, piedra, ladrillo triturado con unas dimensiones de 5 a 15 cm de diámetro con el fin de lograr un buen intercambio de gases (Rojas, 2007); según la Resolución 0330 de 2017, el número de bandejas que se deben usar está entre 3 a 9 bandejas, con una separación de 30 a 50 cm y la altura total ronda entre 1,20 y 3,0 metros.

Torre de aireación.

Para el diseño de la torre de aireación, se asumieron los siguientes parámetros basados en la Resolución 0330 de 2017, se recomienda el uso de “Polystrong” y “Polylast”, los cuales son materiales basados en termoplásticos que resisten la corrosión y son usados para plantas municipales; cabe resaltar que los valores elegidos son los más comunes para no sobre diseñar ni sub diseñar:

Tabla 32. Parámetros seleccionados para diseño de aireación.**Fuente:** Autoría propia, 2020.

Parámetros		
Caudal	[m ³ /día]	691,2
Carga Superficial	[m/día]	640
Número de bandejas	-	3
Área de cada bandeja	[m ²]	0,36
Largo	[m]	0,6
Ancho	[m]	0,6
Número de orificios por fila	-	17
Ø orificios	[m]	0,005
S orificios	[m]	0,025
Borde libre orificio	[cm]	1,75
Espesor lecho	[m]	0,15
Tipo de material	-	metálico
Inclinación de bordes	grados	60
Tiempo de exposición	[s]	0,86
Espacio entre bandejas	[m]	0,4
Área total	[m ²]	1,08

Esquema del sistema de aireación.

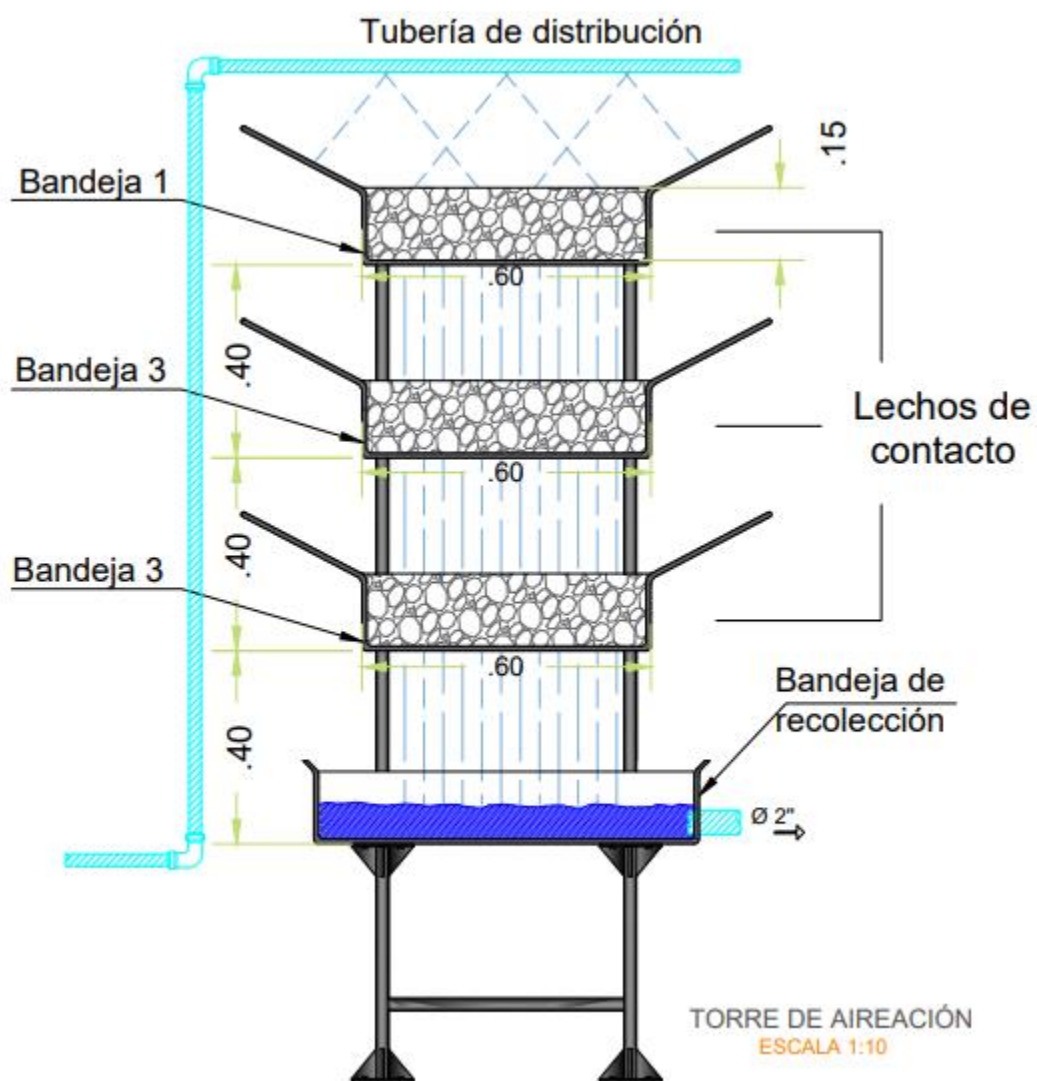


Figura 27. Torre de aireación. [m]
Fuente: Autoría propia, 2020.

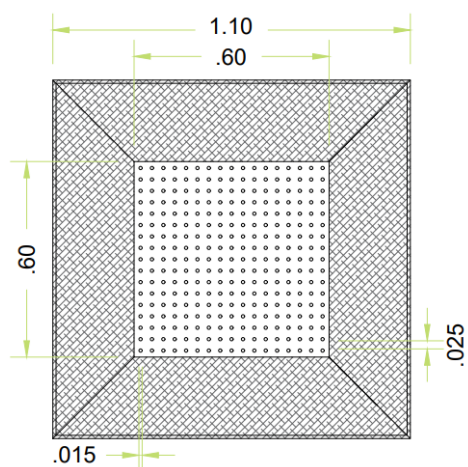


Figura 28. Detalle bandejas. [m]
Fuente: Autoría propia, 2020.

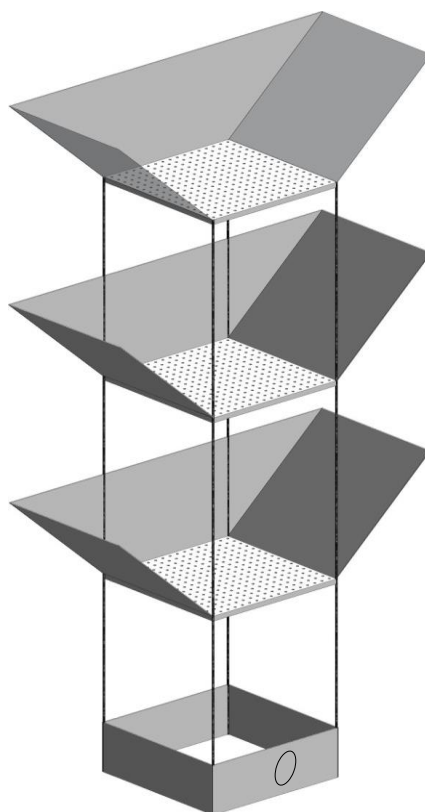


Figura 29. Torre de aireación en 3D.
Fuente: Autoría propia, 2020.

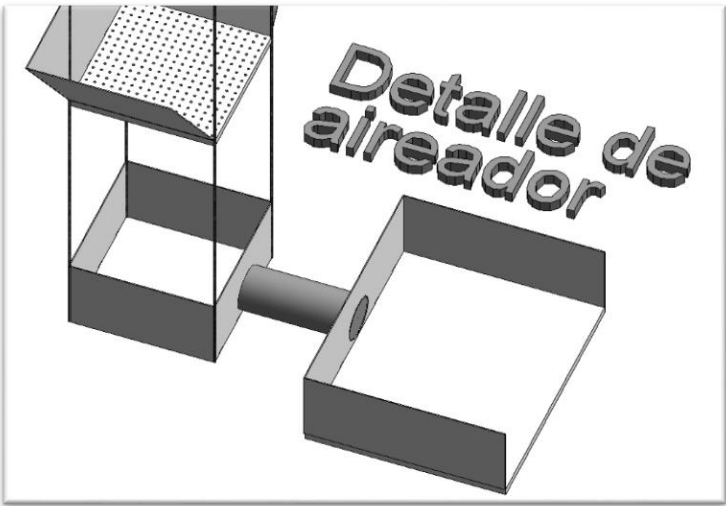


Figura 30. Detalle conexión del aireador con la canaleta Parshall.
Fuente: Autoría propia, 2020.

Mezcla rápida – Canaleta Parshall.

La mezcla rápida es la manera más común y efectiva para producir un resalto hidráulico en un sistema de tratamiento de agua. Además, dicha mezcla tiene como propósito fusionar o dispersar rápida y uniformemente el coagulante por toda el agua. La canaleta Parshall, consiste en un canal con un cambio brusco de pendientes y anchos los cuales permiten que el agua logre mezclarse uniformemente.

Tabla 33. Dimensiones típicas de medidores Parshall. .
Fuente: (Arboleda, 2000).

W (Pulg)	W (cm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D	E	F	G	K	N	<u>n</u>	<u>k</u>
3”	7.62	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7	0.176	1.547

Condiciones de entrada:

- Lámina de agua:

$$h_a = \left(\frac{Q}{n} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (13)$$

$$h_a = \left(\frac{0,008}{0,176} \right)^{\frac{1}{1,547}} \rightarrow \boxed{h_a = 0,136 \text{ m}}$$

- Sección de medida:

$$Wa = \frac{2}{3} * (D - W) + W \quad (14)$$

$$Wa = \frac{2}{3} * (25,9 - 7,62) + 7,62$$

$$\boxed{Wa = 0,1939 \text{ m}}$$

- Velocidad en la sección de medida:

$$Va = \frac{Q}{Wa * ha} \quad (15)$$

$$Va = \frac{0,008}{0,1939 * 0,136} \rightarrow \boxed{Va = 0,303 \text{ m/s}}$$

- Energía total disponible:

$$E_1 = \frac{Va^2}{2g} + ha + N \quad (16)$$

$$E_1 = \frac{(0,303)^2}{2 * 9,81} + 0,136 + 0,057$$

$$\boxed{E_1 = 0,19 \text{ m}}$$

Condiciones en la garganta:

- Velocidad antes del resalto hidráulico:

$$V_1^3 - 2gV_1E_1 = -\left(\frac{2 * Q * g}{W}\right) \quad (17)$$

$$V_1^3 - 2 * 9,81 * V_1 * 0,19 = -\left(\frac{2 * 0,008 * 9,81}{0,0762}\right)$$

$$V_1^3 - 3,7278 * V_1 + 2,0598 = 0$$

$$V_1 = 0,649 \text{ m/s}$$

$$V_1 = 1,5484 \text{ m/s}$$

$$V_1 = -2,1633 \text{ m/s}$$

Se adopta la mayor magnitud de V_1 como se evidencia en la figura 31, la cual sería 1,5484 m/s.

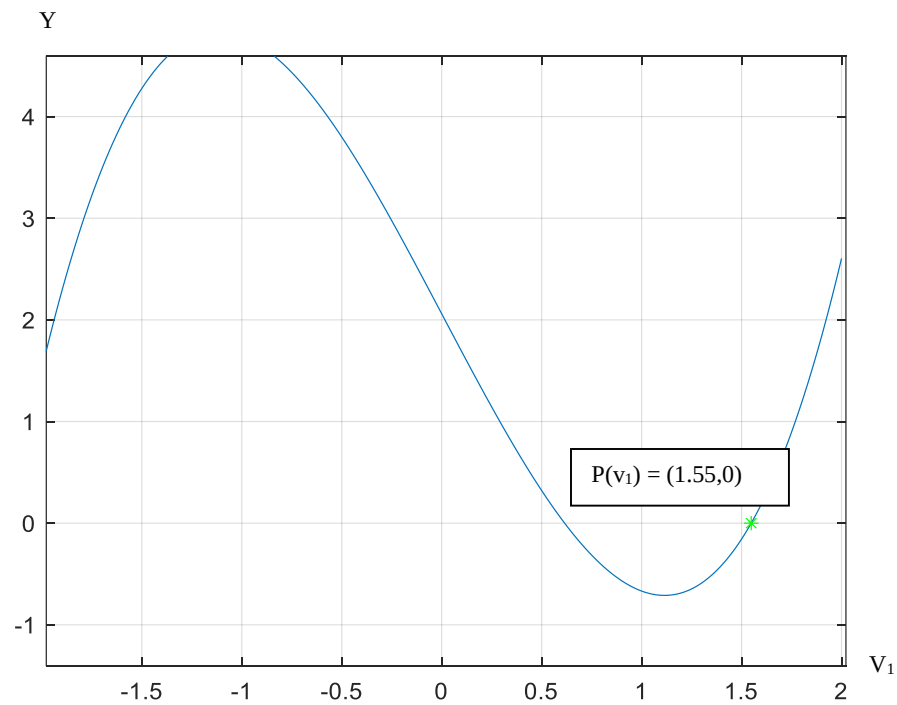


Figura 31. Gráfica de la función V_1 .
Fuente: Autoría propia, 2020.

- Altura antes del resalto hidráulico:

$$h_1 = \frac{Q}{V_1 * W} \quad (18)$$

$$h_1 = \frac{0,008}{1,5484 * 0,0762} \rightarrow \boxed{h_1 = 0,0678 \text{ m}}$$

- Número de Froude:

$$N_f = \frac{V_1}{\sqrt{g * h_1}} \quad (19)$$

$$N_f = \frac{1,5484}{\sqrt{9,81 * 0,0678}} \rightarrow \boxed{N_f = 1,8986}$$

Condiciones de salida:

- Altura después del resalto:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8NF^2} - 1) \quad (20)$$

$$h_2 = \frac{0,0678}{2} (\sqrt{1 + 8 * 1,8986^2} - 1) \rightarrow \boxed{h_2 = 0,151 \text{ m}}$$

- Sumergencia:

$$S = \frac{h_2 - N}{h_a} \quad (21)$$

$$S = \frac{0,151 - 0,057}{0,204} \rightarrow \boxed{S = 0,46}$$

- Pérdida de carga:

$$h_f = h_a + N - h_2 \quad (22)$$

$$h_f = 0,136 + 0,057 - 0,151$$

$$h_f = 0,042 \text{ m}$$

- Velocidad en el centro de la canaleta:

$$V_2 = \frac{Q}{0,38 * h_2} \quad (23)$$

$$V_2 = \frac{0,008}{0,38 * 0,151} \rightarrow V_2 = 0,139 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Tiempo de retención

$$T_r = \frac{G}{V_2 + V_1 + V_a} \quad (24)$$

$$T_r = \frac{0,305}{0,139 + 1,5484 + 0,303} = 0,153$$

$$T_r = 0,153 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

- Gradiente hidráulico

$$Gr = \sqrt{\frac{g * h_f}{v * T_r}} \quad (25)$$

$$Gr = \sqrt{\frac{9,81 * 0,042}{1,007 * 10^{-6} * 0,153}} \rightarrow Gr = 1635,305 \text{ s}^{-1}$$

$$1000 \leq 1635,305 \leq 2000 \text{ s}^{-1} \quad \text{Cumple}$$

En la tabla 34 que se muestra continuación, se resumen los datos calculados para la Canaleta Parshall del proyecto.

Tabla 34. Resumen parámetros Canaleta Parshall. .

Fuente: Autoría propia, 2020.

Canaleta Parshall		
Parámetro	Und	Valor
<i>Condiciones de entrada</i>		
Caudal de diseño	m ³ /s	0,008
Ancho de la garganta (W)	m	0,0762
Lámina de agua (h _a)	m	0,136
Sección de medida (W _a)	m	0,1939
Velocidad en la sección de medida (V _a)	m/s	0,303
Energía total disponible (E ₁)	m	0,19
<i>Condiciones en la garganta</i>		
Velocidad antes del resalto hidráulico (V ₁)	m/s	1,5484
Altura antes del resalto hidráulico (h ₁)	m	0,0678
Numero de Froude (N _f)	-	1,8986
<i>Condiciones de salida</i>		
Altura después del resalto (h ₂)	m	0,151
Sumergencia (S)	-	0,46
Pérdida de carga (h _f)	m	0,042
Velocidad en el centro de la canaleta (V ₂)	m/s	0,139
Tiempo de retención (T _r)	s	0,153
Gradiente hidráulico	s ⁻¹	1635,305

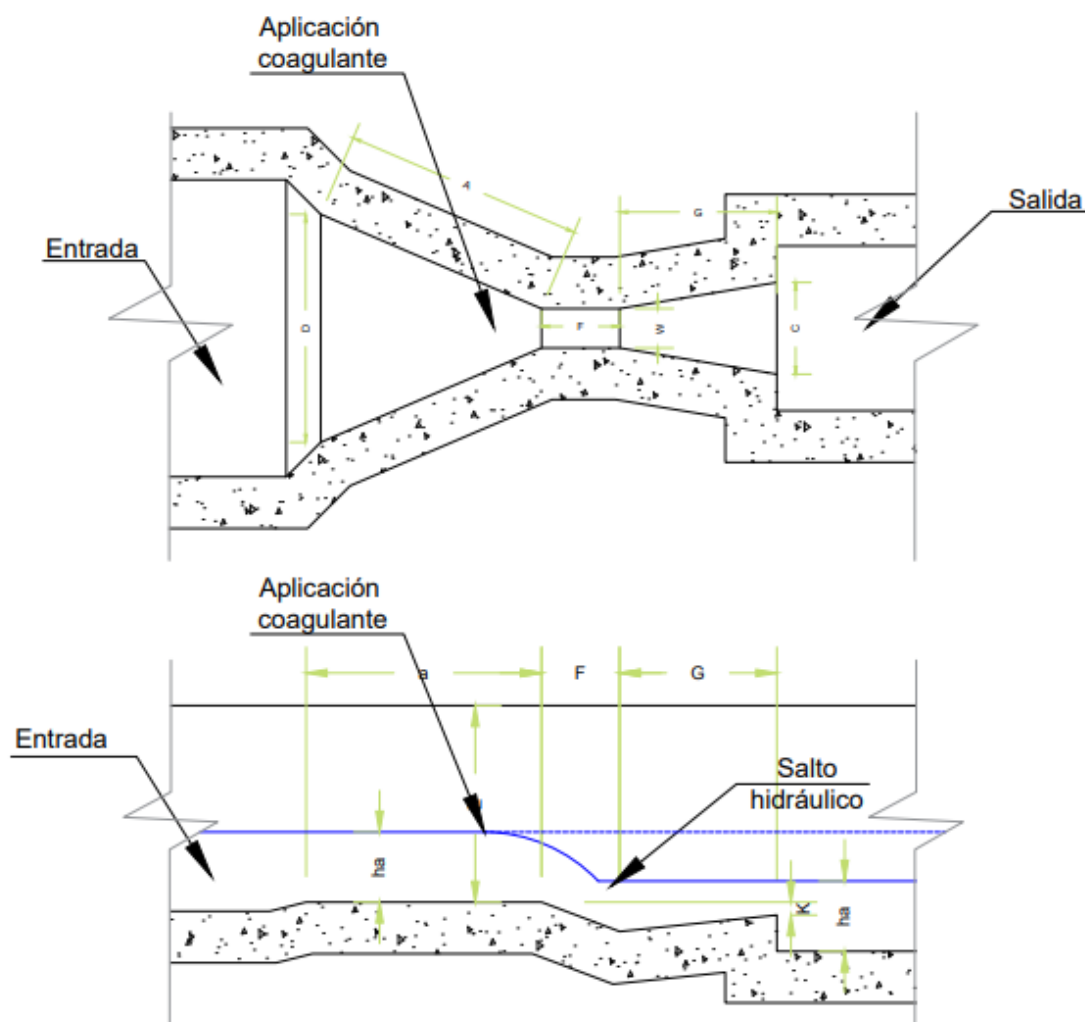


Figura 32. Diseño final Canaleta Parshall.
Fuente: Autoría propia, 2020.

Sistema de dosificación de químicos.

Para el sistema de dosificación de coagulantes, se recomienda, una dosificación eléctricmagnética que permita una buena dosificación continua, segura y precisa de los reactivos agregados al agua a tratar. Por esto, se recomienda usar una bomba dosificadora Seko Tekna Aks, la cual se muestra en la figura 33.



Figura 33. Bomba dosificadora.

Fuente: (Momentos Piscina, s.f.)

Como se indicó anteriormente en el ensayo de jarras, la dosis óptima de sulfato de aluminio es de 3 ml de coagulante por cada litro de agua, dicha dosis debe ser aplicada en el resalto que se genera en la canaleta Parshall. Otra ventaja de la dosificación electrónica es que, facilita la labor del operario en la planta de tratamiento y esto favorece a una rápida adaptación del personal a la planta.

Conexión entre la mezcla rápida y el floculador.

La conexión entre las dos unidades se hará por medio de un canal que se muestra en la figura 34.

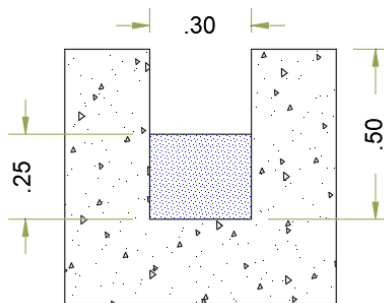


Figura 34. Dimensiones canal de conexión. [m]

Fuente: Autoría propia, 2020.

Las especificaciones del canal diseñado, se muestran en la tabla 36, donde se tiene en cuenta la velocidad de salida de la canaleta Parshall.

Tabla 35. Características canal de conexión.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Canal de conexión entre canaleta Parshall y floculador		
Parámetro	Magnitud	Unidad
Base	0,3	m
Alto	0,5	m
Tirante	0,3	m
Área	0,15	m ²
Perímetro mojado	1,3	m
Radio hidráulico	0,12	m

Floculador.

Para el diseño del floculador se tuvo en cuenta los parámetros establecidos por la Resolución 0330 del 2017, los cuales son los siguientes:

Tabla 36. *Parámetros de diseño.*
Fuente: Resolución 0330 del 2017.

Parámetros de diseño		
Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo de retención	20 a 40	min
Zonas de floculación	3	und
Parámetro	Valor	Unidad
Gradientes de velocidad	70 - 10	s^{-1}
Gradiente medio	30 - 40	s^{-1}

Se optó por diseñar un floculador hidráulico tipo Alabama, debido a que este no requiere equipo mecánico y por lo cual no necesitará suministro de repuestos ni personal para su mantenimiento, sino al contrario, podrá ser manejado por el personal encargado de la misma vereda.

Para el diseño del floculador, se decide realizarlo en tres etapas, variando la velocidad del flujo, y el área de los canales para cada zona, respetando lo dictado por la resolución 0330 acerca del gradiente promedio de $40 s^{-1}$, que da como un tiempo final de retención de 25 minutos, manteniendo de esta manera el caudal de 8 L/s. El floculador está compuesto por cuatro cámaras, siendo la primera la zona de transición, la cual recibe el agua a tratar proveniente de la canaleta Parshall y la pasa a la segunda zona de floculación, a partir de la zona dos se mantiene un número de Reynolds en los pasajes, tales que garanticen la estabilidad del floc. A continuación, se presentan las características de cada una de las zonas de floculación diseñadas.

Tabla 37. *Parámetros de diseño – zona 1.**Fuente:* Autoría propia, 2020.

Zona 1 – Cámara 1	
Parámetro	Valor
Tiempo total del sistema [min]	20
Parámetro	Valor
Tiempo en la cámara [s]	300
Caudal [m ³ /s]	0,004
Velocidad [m/s]	1,97
Diámetro [pulg]	2 ”
Pérdida por cámara [m]	0,38
Gradiente [s ⁻¹]	110,67
Pérdida total [m]	1,13
G	1871,85
Radio hidráulico [m]	0,01
Re	93137,22
s	6,13

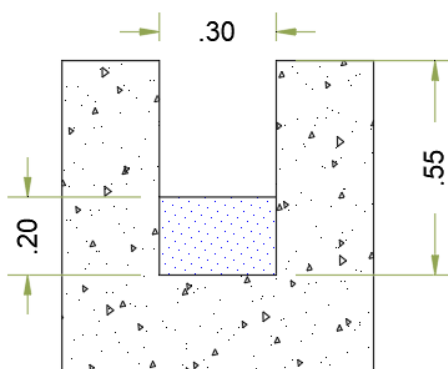
Tabla 38. *Parámetros de diseño – zona 2.**Fuente:* Autoría propia, 2020.

Zona 2 - Cámara 2	
Parámetro	Valor
Tiempo total del sistema [min]	20
Tiempo en la cámara [s]	300
Caudal [m ³ /s]	0,004
Velocidad [m/s]	0,22
Diámetro [pulg]	6’’
Pérdida por cámara [m]	0,005
Gradiente [s ⁻¹]	12,3
Parámetro	Valor
Pérdida total [m]	0,014
G	33,21
Radio hidráulico [m]	0,04
Re	31045,74
s	0,19

Tabla 39. Parámetros de diseño – zona 3.**Fuente:** Autoría propia, 2020.

Zona 3 – Cámara 3	
Parámetro	Valor
Tiempo total del sistema [min]	20
Tiempo en la cámara [s]	300
Caudal [m^3/s]	0,004
Velocidad [m/s]	0,16
Diámetro [pulg]	7''
Pérdida por cámara [m]	0,0025
Gradiente [s^{-1}]	9,03
Pérdida total [m]	0,0075
G	18,86
Radio hidráulico [m]	0,045
Re	26610,63
s	0,12

Conexión entre el floculador y el sedimentador.

**Figura 35.** Dimensiones canal de conexión. [m]**Fuente:** Autoría propia, 2020.

La conexión entre las dos unidades se hará por medio de un canal que se muestra en la figura 35, el cual tiene las especificaciones en la tabla 40.

Tabla 40. Características canal de conexión.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Canal de conexión entre floculador y sedimentador		
Parámetro	Magnitud	Unidad
Base	0,30	m
Altura	0,55	m
Tirante	0,30	m
Área	0,165	m ²
Perímetro mojado	1,40	m
Radio hidráulico	0,12	m

Sedimentación.

La sedimentación, es un procedimiento que se encarga en remover las partículas resultantes de una suspensión gracias a la fuerza de gravedad, en algunos casos son también conocidos como clarificación o espesamiento. En dicho procedimiento, se encuentran dos formas de sedimentación que son usadas para la purificación del agua, las cuales son sedimentación simple o sedimentación compuesta (Romero, 2007).

El caudal a tratar en el presente proyecto es de 8 L/s, se optó por trabajar con un sedimentador de flujo horizontal, cabe resaltar que, para dicho diseño, lo recomendado en un sedimentador es que existan mínimo dos (2) unidades, esto con el fin de no detener la PTAP

por mantenimiento o por algún daño. Dicho esto, el caudal a trabajar por cada unidad será de 4 L/s.

$$Q = 4 \text{ L/s} \rightarrow Q = 345,6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \approx 346 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tabla 41. Parámetros de referencia de diseño de sedimentación.

Fuente: Resolución 0330 de 2017.

Tipo de sedimentador	Carga superficial [m ³ /m ² /día]	Tiempo de retención hidráulica [horas]	Velocidad de flujo [cm/seg]
Flujo horizontal	15 – 30	2 – 4	< 1
Flujo vertical	20 – 30 (máx. 60)	2 – 4	< 1
Manto de lodos	30 – 120	1,0 – 1,5	2,15 – 5

Para conocer el área que debe tener cada unidad, se toma como referencia la Resolución 0330 de 2017, la cual menciona que, para un sedimentador de flujo horizontal, la carga superficial debe estar comprendida entre 15 – 30 m/d; considerando lo anterior, se opta por una carga superficial de 30 m/d.

$$A = \frac{Q}{CS} \quad (26)$$

$$A = \frac{346 \text{ m}^3/\text{día}}{20 \frac{\text{m}}{\text{día}}} \rightarrow A = 17,3 \text{ m}^2$$

Según Romero (2007) en su texto Potabilización del Agua, para un buen diseño del sedimentador, hay que tener en cuenta las relaciones que éste debe cumplir, que son la relación

largo:ancho de 3:1 y la relación de largo:profundidad de 5:1. Teniendo esto, se procede a diseñar el sedimentador.

$$\frac{B}{L} = \frac{1}{3} \rightarrow L = 3B$$

$$\frac{L}{H} = \frac{5}{1} \rightarrow L = 5H$$

$$A = B * L \rightarrow 17,3m^2 = B * 3B$$

$$\rightarrow B = 2,4 \text{ m} \quad \rightarrow L = 7,2 \text{ m} \quad \rightarrow H = 1,45 \text{ m}$$

De esta forma se obtuvieron las dimensiones de cada unidad de sedimentación. Los valores calculados fueron aproximados para facilidad de construcción y además se debe contar con un borde libre de 0,2 m, esto aumenta la profundidad calculada a:

$$\text{Profundidad (H)} = 1,45 \text{ m} + 0,2 = 1,65 \text{ m}$$

El tiempo de retención se calcula de la siguiente manera:

$$T_r = \frac{\text{Tiempo}}{\text{Carga superficial}} * H_t \quad (27)$$

$$\frac{24 \text{ horas}/1\text{día}}{20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}} * 1,95\text{m} \rightarrow T_r = 2,34\text{horas}$$

Según la Resolución 0330 de 2017, el tiempo de retención hidráulica del fluido para un sedimentador de flujo horizontal, debe estar comprendido entre 2 – 4 horas (tabla 42), por lo cual el tiempo de retención encontrado cumple.

Zona de entrada.

La zona de entrada puede ser diseñada mediante dos mecanismos diferentes, está la pantalla perforada o el canal con orificios de fondo; para el presente proyecto se optó por diseñar la pantalla perforada.

Los orificios de la pantalla serán circulares y con un diámetro de 1", este diámetro se determinó mediante los procedimientos mostrados en el texto de Tratamiento de Aguas de Pérez, Jorge (p. 20). La velocidad será de 0,10 m/s de tal manera que concuerde con la velocidad de salida del floculador.

Tabla 42. *Parámetros pantalla perforada.*
Fuente: Autoría propia, 2020.

Zona de Entrada		
Diámetro orificio	plg	1
Velocidad en el orificio	m/s	0,10
Caudal por orificio	L/s	0,05
Espacio entre orificios	m	0,21
Ancho de la pantalla	m	2,40
Alto de la pantalla	m	1,65
Espacio entre orificios	m	0,21
Número de orificios	und	77
Gradiente	s ⁻¹	14,29

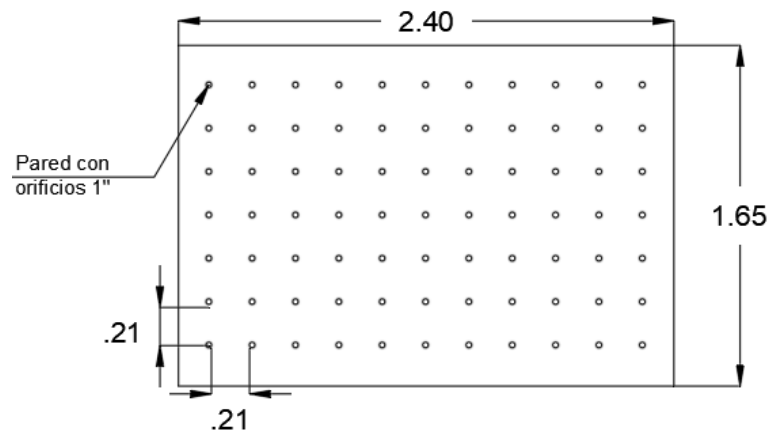


Figura 36. Pantalla de orificios. [m]

Fuente: Autoría propia, 2020.

En la tabla 43 se muestra el resumen de los datos calculados para el sedimentador del presente proyecto.

Tabla 43. Compilación valores calculados – sedimentador.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Valores Calculados - Sedimentador		
Parámetro	Unidad	Resultado
Caudal de diseño (Q)	m ³ /día	3,46
Área (A)	m ²	17,30
Base (B)	m	2,40
Longitud (L)	m	7,20
Altura (H)	m	1,65
Altura total (H _t)	m	1,95
Tiempo de retención (T _r)	h	2,34

Zona de salida lodos.

Todos los sedimentadores deben contar con una tolva o cámara de recolección de lodos y el volumen de esta incluyendo el canal de recolección, deber ser 0,20 veces el volumen de

la zona de sedimentación según el libro de Acueductos Teoría y Diseño de Freddy Corcho.

El volumen se calcula de la siguiente manera:

$$Volumen_{sed.} = B * L * H \quad (28)$$

$$Volumen_{sed.} = 2,40 * 7,20 * 1,65$$

$$Volumen_{sed.} = 28,51 \text{ m}^3$$

$$Volumen_{tolva} = 0,20 * 28,51$$

$$Volumen_{tolva} \cong 5,7 \text{ m}^3$$

Conociendo este valor se procede a hacer el diseño de la tolva, que, de acuerdo con el RAS 2000, debe tener una pendiente igual o inferior a los 5° , es por esto que se optó un ángulo de inclinación de $4,5^\circ$ para dicha tolva; la altura (h_t) se calculó de la siguiente manera:

$$\tan \alpha^\circ = \frac{h_t}{L} \quad (29)$$

$$h_t = L * \tan \alpha^\circ \rightarrow h_t = (7,2m) * \tan(4,5^\circ) = 0,567m$$

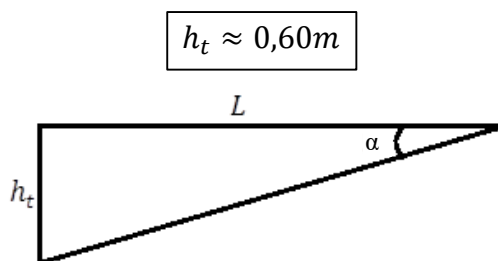


Figura 37. Dimensiones cámara de recolección de lodos.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Las dimensiones finales de la tolva junto con el canal de recolección de lodos se muestran en la figura 38.

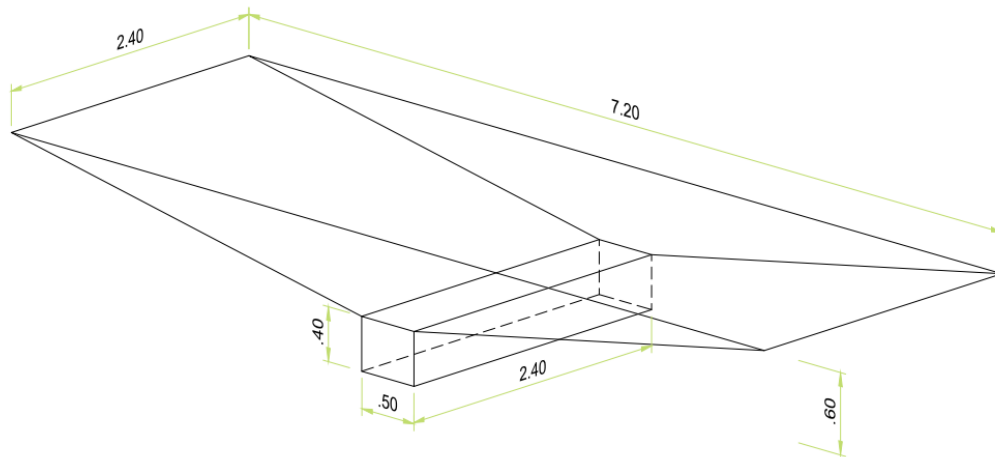


Figura 38. Dimensiones cámara de recolección de lodos.
Fuente: Autoría propia, 2020.

Por lo consiguiente, la profundidad total del sedimentador será:

$$H_t = h_t + H \quad (30)$$

$$H_t = 0,6 + 1,65 \rightarrow \boxed{H_t = 2,25m}$$

Se eligió dejar un borde libre de 0,10 m adicionales de la profundidad total del sedimentador.

Para controlar el flujo de salida del agua, se colocarán dos compuertas tipo guillotina a la salida de cada sedimentador, la cual está diseñada y se muestra en la figura 39.

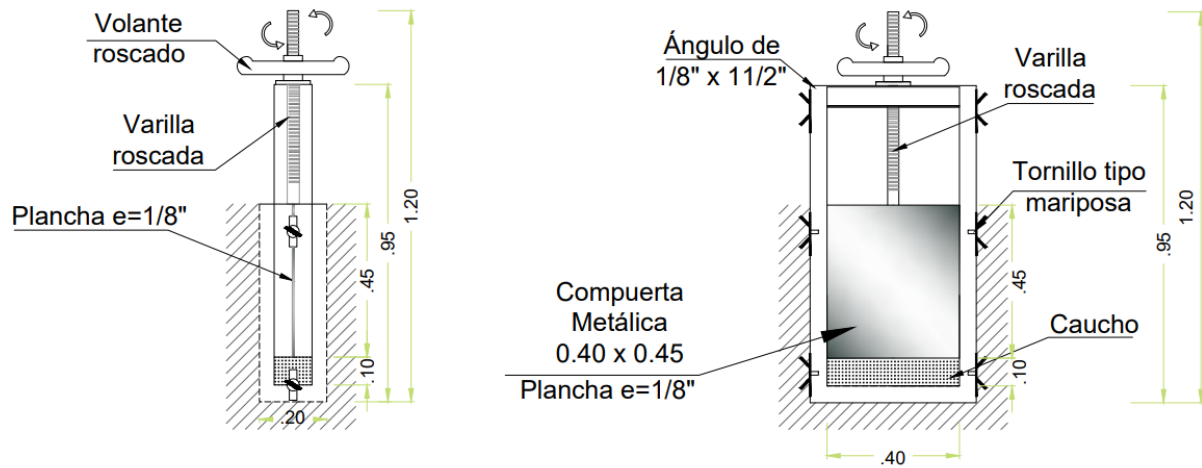


Figura 39. Detalle compuerta tipo guillotina. [m]

Fuente: Autoría propia, 2020.

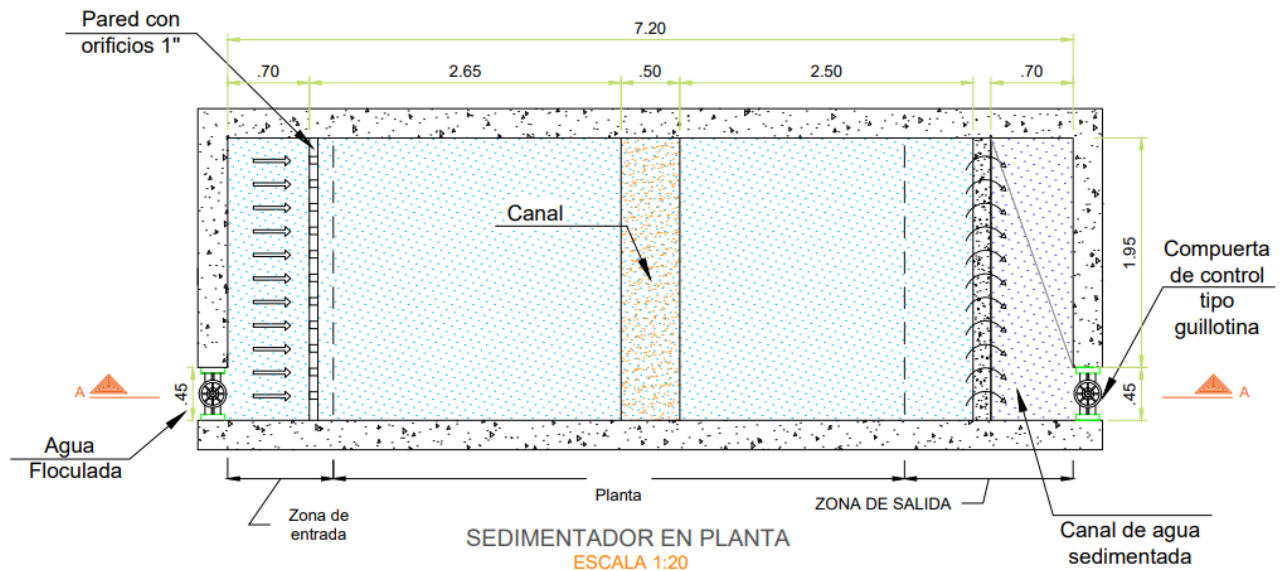


Figura 40. Sedimentador vista en planta. [m]

Fuente: Autoría propia, 2020.

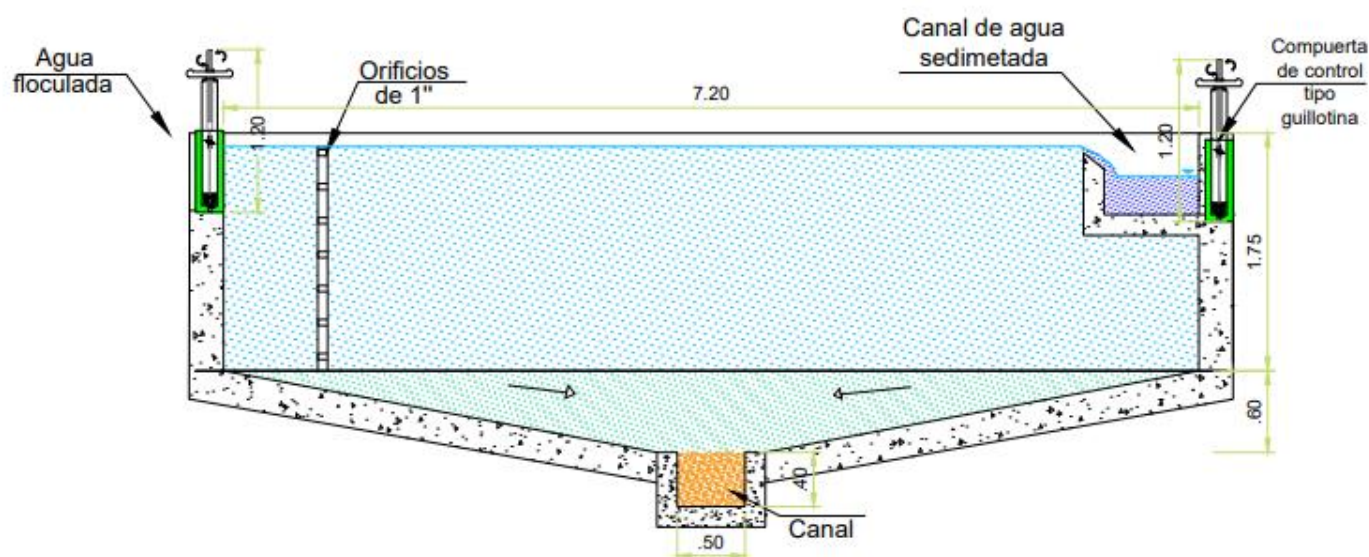


Figura 41. Plano del sedimentador, corte A-A. [m]

Fuente: Autoría propia, 2020.

Filtración.

Según Romero, en su texto *Purificación del Agua*, la producción de agua pura y cristalina es prerequisite para el consumo y suministro de esta lo cual requiere de un proceso de filtración. Aunque cerca del 90% de la turbiedad y el color son removidos por coagulación y floculación, una cierta cantidad de los flocs logran pasar al tanque de sedimentación y requiere su debida remoción. Por ello, para lograr la clarificación final, se debe usar un proceso de filtración a través de medios porosos; generalmente dichos medios son de sólo arena o arena y antracita (Rojas, 2007).

Para el diseño de los filtros se tuvo en cuenta los parámetros establecidos por la Resolución 0330 del 2017 los cuales son los siguientes:

Tabla 44. Parámetros para el diseño de filtros convencionales.*Fuente:* Resolución 0330 de 2017.

Parámetro	Filtración lenta con lecho simple	Filtración rápida con lecho simple	Filtración rápida con lecho mixto.
Tasa de filtración (m ³ /m ² /d)	7 - 14	<120	180 - 350
Profundidad del medio (m)	0,8 - 1,0	0,6 - 0,9	Antracita: 0,4 - 0,6 Arena: 0,15-0,3

Se optó por la filtración rápida con lecho mixto en donde se utilizó la antracita y la arena como medios filtrantes, en este proceso el agua sedimentada es conducida y repartida en los dos filtros los cuales poseen las mismas características físicas, mediante un canal con orificios, al ingresar el agua, este adquiere un nivel mínimo para vencer las pérdidas por fricción; uno de los puntos esenciales en este proceso es la obstrucción de los lechos filtrantes debido a su uso en el tiempo, por lo cual se diseñó un sistema de lavado de filtros, el cual consiste en cerrar los orificios de entrada, se abre la válvula de la tubería de evacuación del agua en sentido contrario, lo cual permite la expansión de cada uno de los lechos filtrantes y por medio de una canaleta de recolección, se recoge todo el material retenido.

Cantidad de filtros:

$$N = 0,044\sqrt{Q} \quad (31)$$

$$N = 0,044\sqrt{691,2} \quad \rightarrow \quad \boxed{N = 1,15 \approx 2}$$

Por lo anterior se estableció dos unidades de filtros por lo cual facilita su mantenimiento y lavado, debido a que uno de los filtros puede estar fuera de servicio

mientras el otro continúa trabajando, esto permite tener un caudal constante de salida y un continuo funcionamiento de la planta.

Área de cada filtro:

$$A = \frac{Q}{TF} \quad (32)$$

$$A = \frac{345,6}{190} m^2 \rightarrow \boxed{A = 1,82 m^2}$$

Se optó por una tasa de filtración de $190 m^3/m^2/d$ con el fin de cumpliera con los parámetros de la Resolución 0330 de 2017, los cuales pueden ser observados en la tabla número 45, el área calculada fue $1,82 m^2$ por lo cual se estableció un ancho de 1,3 m y un largo de 1,4 m para cada filtro.

Velocidad del flujo:

$$V = \frac{Q}{B*L} \quad (33)$$

$$V = \frac{345,6}{1,82} \rightarrow \boxed{V = 0,2 \frac{cm}{seg}}$$

Para la determinación del lecho filtrante se usó como base los datos proporcionados por Arboleda en el texto *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua* en su tercera edición.

Tabla 45. Recomendaciones para el lecho filtrante.*Fuente:* Arboleda Valencia, Jorge, 2000.

Materiales	Espesor del lecho		Tamaño efectivo		Recomendación	Coeficiente de conformidad
	Rango (cm)	Valor medio (m)	Rango (mm)	Valor medio (mm)		
Antracita	45-60	53	07-1,3	1,0	0,9	<1,8
Arena	15-30	23	03-0,5	0,4	0,4	<1,6

Tomando como base los parámetros anteriormente mostrados, se definió:

Tabla 46. Parámetros adoptados.*Fuente:* Autoría propia, 2020.

Tamaño	
Arena	0,4 mm
Antracita	1,0 mm
Coeficiente de uniformidad	
Arena	1,5
Antracita	1,7
Porosidad	
Arena	0,21
Antracita	0,6

Antracita

- Velocidad de asentamiento:

$$VS = 4,7(cu * d_{10}) \quad (34)$$

$$VS = 4,7 * (1,7 * 1,0)$$

$$VS = 7,99 \frac{m}{min} \quad VS = 0,13 \frac{m}{s}$$

- Velocidad necesaria para el asentamiento:

$$Vb = 0,1VS \quad (35)$$

$$Vb = 0,1 * 7,99$$

$$Vb = 0,8 \frac{m}{min} \rightarrow Vb = 0,013 \frac{m}{s}$$

- Porosidad del lecho expandido:

$$ee = \left(\frac{Vb}{Vs} \right)^{0,22} \quad (36)$$

$$ee = \left(\frac{0,013}{0,13} \right)^{0,22} \rightarrow ee = 0,6026$$

- Profundidad del lecho expandido:

$$Le = L \left(\frac{1-e}{1-ee} \right) \quad (37)$$

$$Le = 0,5 \left(\frac{1 - 0,6}{1 - 0,6026} \right) \rightarrow Le = 0,5033 \text{ m}$$

- Relación de exposición:

$$Re = \frac{Le-L}{L} \quad (38)$$

$$Re = \frac{0,5033 - 0,5}{0,5} \rightarrow Re = 0,66\%$$

- Caudal de lavado:

$$Ql = Vb * A \quad (39)$$

$$Ql = 0,8 * 1,82 \quad \rightarrow \quad \boxed{Ql = 0,02426 \text{ m}^3/\text{min}}$$

- Volumen total del agua de lavado:

$$Vl = Ql * t \quad (40)$$

$$\boxed{Vl = 1,456 * 10 = 14,56 \text{ m}^3}$$

Arena

- Velocidad de asentamiento, arena:

$$VS = 10(cu * d_{60}) \quad (41)$$

$$VS = 10 * (1,5 * 0,4) \quad \rightarrow \quad \boxed{VS = 6,00 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

- Velocidad necesaria para el asentamiento, según la ecuación 35:

$$Vb = 0,1 * 6,00$$

$$\boxed{Vb = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,01 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}$$

- Porosidad del lecho expandido, según la ecuación 36:

$$\boxed{ee = \left(\frac{0,6}{6}\right)^{0.22} = 0,6026}$$

- Profundidad del lecho expandido, usando la ecuación 37:

$$\boxed{Le = 0,15 \left(\frac{1 - 0,6}{1 - 0,6026}\right) = 0,151 \text{ m}}$$

- Relación de exposición, teniendo en cuenta la ecuación 38:

$$Re = \frac{0,151 - 0,15}{0,15} = 0,60\%$$

- Caudal de lavado, usando la ecuación 39:

$$Ql = 0,6 * 1,82$$

$$Ql = 1,092 \frac{m^3}{min} = 0,0182 \frac{m^3}{seg}$$

- Volumen total del agua de lavado, aplicándolo a la ecuación 40:

$$Vl = 1,092 * 10$$

$$Vl = 10,92 m^3$$

Tabla 47. Compilación de los valores calculados.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Valores Calculados - Filtros			
Magnitudes	Antracita	Arena	Unidad
Velocidad de asentamiento	0,13	0,1	m/s
Magnitudes	Antracita	Arena	Unidad
Velocidad para el lavado	0,013	0,01	m/s
Porosidad del lecho expandido	0,6026	0,6026	-
Profundidad del lecho expandido	0,5033	0,151	m
Relación de expansión	0,66	0,60	%
Caudal de lavado	0,02426	0,018	m ³ /s

Tabla 48. Pérdidas en la arena.**Fuente:** Autoría propia, 2020.

Pérdidas en la Arena		
Pérdidas	Dim	Unidad
Por el lecho expandido	0,1	m
Por el soporte	0,15	m
A través del sistema	1,274	m

Tabla 49. Pérdidas por la antracita y pérdida total.**Fuente:** Autoría propia, 2020.

Pérdidas por la antracita y pérdida total		
Pérdidas	Dim	Unidad
Por el lecho expandido	0,14	m
Por el soporte	0,13	m
A través del sistema	1,794	m

Caudal de la canaleta de excesos:

$$Q = \frac{Ql}{Nc} \quad (42)$$

$$Q = 0,02426 \, m^3/s$$

Se asume 0,3 metros de ancho para el cálculo de la profundidad:

$$H = \left(\frac{Qlc}{1,84b} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (43)$$

$$H = 0,124m$$

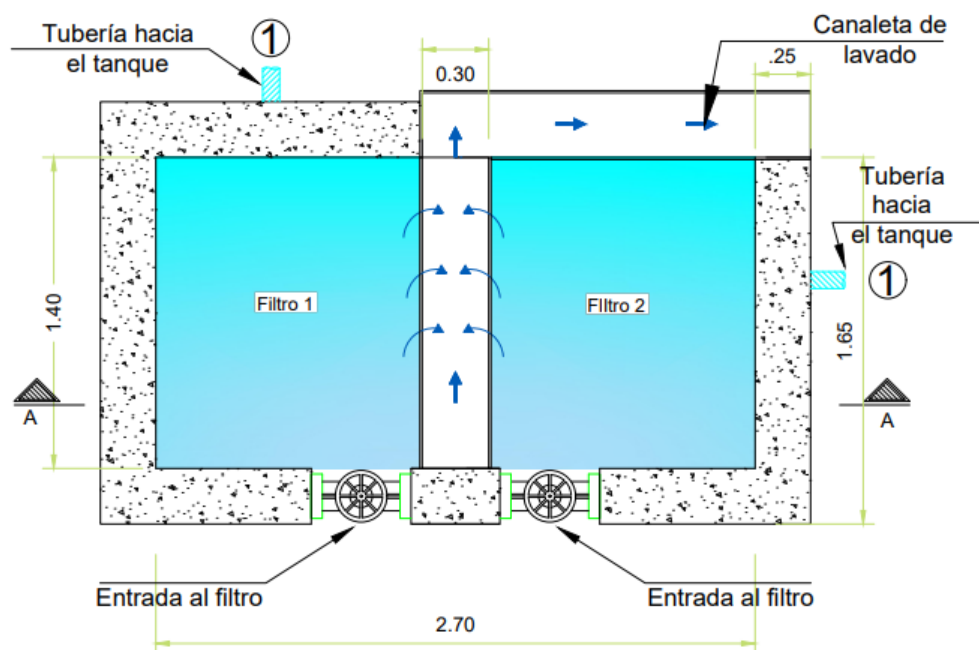


Figura 42. Filtros vista en planta. [m]
Fuente: Autoría propia, 2020.

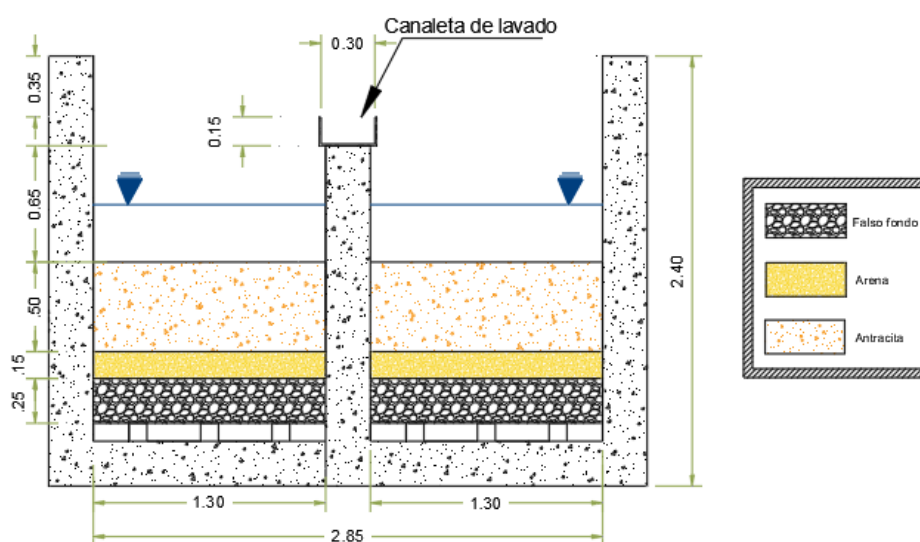


Figura 43. Lechos filtrantes. [m]
Fuente: Autoría propia, 2020.

Gracias a la cercanía de los filtros con el tanque elevado se desea aprovechar el agua almacenada para el lavado de estos, según lo especificado anteriormente se necesita un volumen

de lavado de $14,56 \text{ m}^3$ (correspondiente al volumen requerido de la antracita), que permite cumplir con los requerimientos para la limpieza de los dos lechos filtrantes (Antracita y arena).

Durante el lavado de los filtros, el nivel del agua aumentará hasta alcanzar la superficie de la canaleta de lavado (Ver la figura número 44). Adicionalmente el proceso de lavado se encuentra de forma detallada en el Anexo A.

El agua filtrada es direccionada al pozo de succión, con el fin de evitar cavitación de la bomba hacia el filtro. El pozo cuadrado tiene de lado 2.2 metros y 3.5 metros de profundidad con la finalidad de que pueda almacenar el agua producida en 30 minutos es decir que tiene una capacidad volumétrica de $14,4 \text{ m}^3$. Ver figura 44.

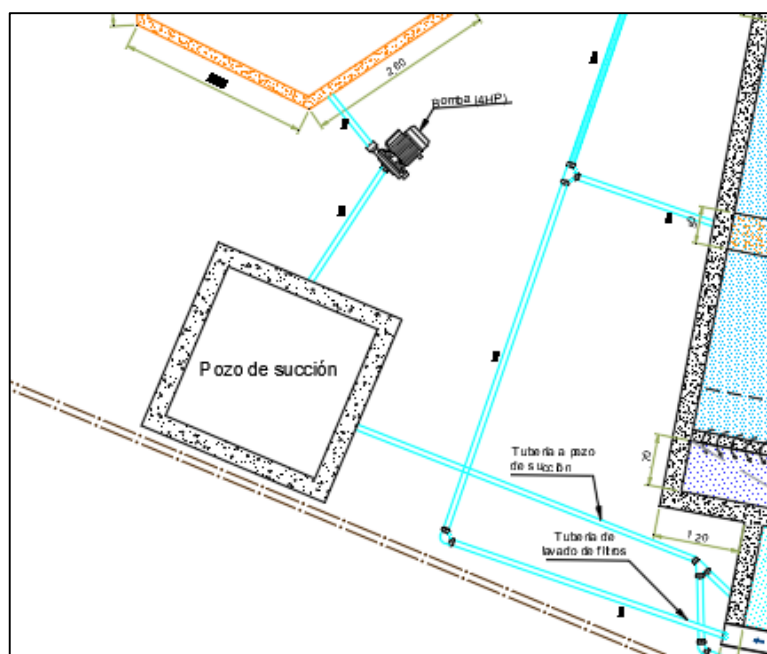


Figura 44. Pozo de succión. [m]
Fuente: Autoría propia, 2020.

Desinfección

Según textos, se permite la cloración a la entrada de los tanques de almacenamiento en aquellos casos que se requiera, para garantizar que los niveles de cloro residual en toda la red permanezcan dentro de los rangos establecidos por la norma. Con el fin de alcanzar lo anterior, es necesario monitorear constantemente las concentraciones de cloro a la salida del tanque y hacer los reajustes necesarios que éste necesite.

Puesto que los ensayos de laboratorio que se realizaron al agua cruda, dieron como resultado que no hay microorganismos o bacterias que puedan afectar al momento del consumo, se da por hecho que no es necesario diseñar una unidad que se encargue de la desinfección del agua. Esta información se puede corroborar en la tabla 14.

Sin embargo, al agua tratada almacenada en el tanque de distribución, se le aplicará la dosis mínima de cloro establecida por la Resolución 0330 de 2017, la cual es de 0,40 mg/L.

Tuberías

Para el cálculo de tuberías se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Velocidad mínima permisible del flujo es de 90 cm/seg.
- Velocidad máxima permisible se debe encontrar entre 3 a 5 (m/seg).

Condiciones iniciales:

$$Q = 8 \text{ L/seg}$$

$$V = 3 \text{ m/seg}$$

Cálculo del diámetro de la tubería:

$$Q = V * A \quad (44)$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0,008 \frac{m^3}{seg}}{3 \frac{m}{seg}}$$

$$A = 0.0027 \text{ m}^2 = 27 \text{ cm}^2$$

$$\text{Diámetro} = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad (45)$$

$$D = 5.9 \text{ cm} = 2.3'' = 3''$$

Verificación de velocidad en la tubería:

$$\text{De la ecuación 45} \rightarrow A = \frac{\pi * (7.62^2)}{4}$$

$$A = 45 \text{ cm}^2$$

$$\text{De la ecuación 44} \rightarrow V = \frac{0,008 \frac{m}{seg}}{0,0045 \text{ m}^2} = 1,78 \frac{m}{seg}$$

$$1 < 1.75 < 3 \left(\frac{m}{seg} \right) \ll \text{Cumple}$$

Bombas

Para el cálculo de las bombas a usar, se dispone de la siguiente fórmula.

$$P = h * \rho * g * Q \quad (46)$$

dónde

P = potencia de la bomba

ρ = densidad del agua (1000 kg/m^3)

Q = Caudal

h = altura diferencial

g = gravedad

Bomba que dirige el agua hacia el tanque de almacenamiento:

$$P = (28,25 \text{ m}) * (1000 \text{ kg/m}^3) * (9,8 \text{ m/s}^2) * (0,008 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$P = 3,49 \text{ hp} \quad \rightarrow \quad \boxed{P = 4 \text{ hp}}$$

Bomba que dirige el agua hacia los lechos de lodos:

$$P = (17,5 \text{ m}) * (1000 \text{ kg/m}^3) * (9,8 \text{ m/s}^2) * (0,008 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$P = 2,17 \text{ hp} \quad \rightarrow \quad \boxed{P = 2,5 \text{ hp}}$$

Bomba de retorno, reinicio del tratamiento:

$$P = (27,73 \text{ m}) * (1000 \text{ kg/m}^3) * (9,8 \text{ m/s}^2) * (0,008 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$P = 3,43 \text{ hp} \quad \rightarrow \quad \boxed{P = 4 \text{ hp}}$$

Tratamiento de lodos

En todas las plantas de tratamiento de aguas, se deben remover la mayor cantidad de sólidos suspendidos, los coloidales y los disueltos en el agua con el fin de hacerla netamente potable.

Dichos sólidos removidos del agua deben tener un tratamiento.

Los lodos producidos durante el proceso de potabilización son transportados mediante tubería de 3" hacia el pozo de recolección de lodos con el fin de almacenarlos y conducirlos al lecho de secados mediante una bomba de 2,5 HP.

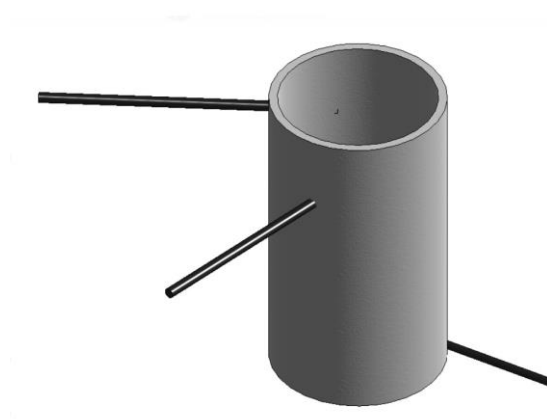


Figura 45. Pozo receptor de lodos. [m]

Fuente: Autoría propia, 2020.

Lodos producidos por el sedimentador

Para el presente proyecto, se realizará un tratamiento de lodos de sales de aluminio, y se calculan, según el texto de Romero, de la siguiente manera:

$$W = (S + 0.3D) * Q * 10^{-3} \quad (47)$$

Dónde:

W= kg de lodo seco de alumbre.

S= Turbiedad del agua cruda en NTU.

D= Dosis de sulfato de aluminio óptima (3 ml/L)

Q= Metros cúbicos de agua tratada.

Reemplazando valores, se obtiene:

$$W = [24 + (0,3 * 3)] * 0,008 * 86400 * 10^{-3}$$

$W = 17,21 \text{ kg/día}$

Se establece un contenido de sólidos óptimo del 2%, y una densidad relativa de lodo húmedo de 1010 kg/m³ para establecer el volumen producido de lodo diariamente:

$$ML = \frac{W}{2\%} \rightarrow \frac{17.21}{2\%} \quad (48)$$

$$ML = 860,54 \text{ kg/día}$$

$$VL = \frac{ML}{Dr} \rightarrow \frac{860,54}{1010} \quad (49)$$

$$VL \text{ por sedimentador} = 0,85 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$VL \text{ por dos sedimentadores} = 1,7 \text{ m}^3/\text{día}$$

Teniendo esto, se procede a diseñar el lecho de secado de lodos, el cual debe componerse de una capa de arena donde el espesor esté entre 15 a 25 cm, una capa de agregado grueso o grava donde el espesor esté entre 20 y 30 cm, y finalmente se debe contar con un sistema de drenajes según lo consultado.

El lecho de lodos tendrá las siguientes dimensiones:

Tabla 50. Parámetros de diseños.
Fuente: Potabilización del agua, Romero, 2007.

Dimensiones		
Capa de lodo	30	cm
Capa de agregado fino (arena)	25	cm
Capa de agregado grueso (grava)	30	cm
Tubería para el drenaje	4	plg
Ancho	6,0	m
Largo	4,0	m

Nota: Los valores de ancho y largo del lecho de lodos, fueron asignados, estos datos no los proporciona la fuente citada.

Se toma una capa de lodos de 30 cm teniendo en cuenta que ésta sería la capa que se obtendría después de 4 días de uso de la unidad, puesto que la lámina producida en un solo día sería de aproximadamente 7,1 cm.

En la figura 45 se evidencian las dimensiones seleccionadas:

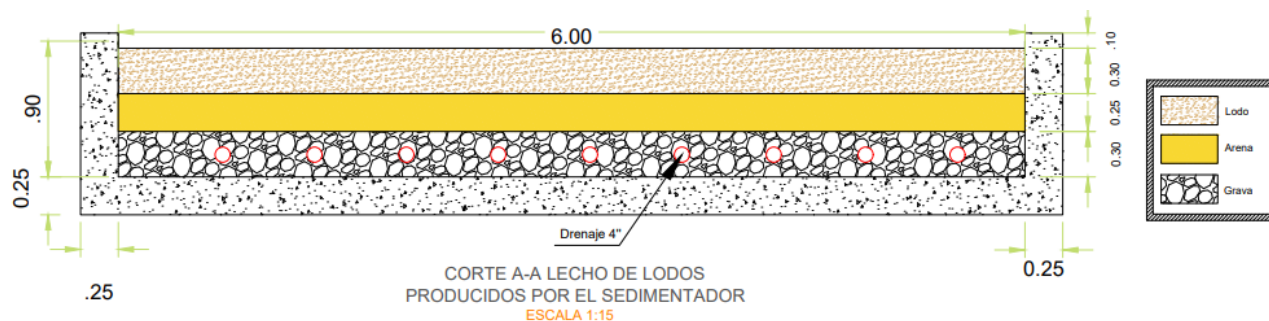


Figura 46. Lecho de lodos producidos por el sedimentador.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Como el volumen diario de lodos producido es de 1,7 metros cúbicos por día, se hizo el diseño de lodos con respecto al tiempo de mantenimiento óptimo que se le debería realizar que es a los 4 días, de esta manera se logra calcular que aproximadamente en este tiempo de funcionamiento, la cantidad de lodos acumulados por ambos sedimentadores será de 6,8 m³.

Lodos producidos por el filtro

Para saber la cantidad de lodos que retienen los filtros, es necesario conocer la eficiencia de éstos, la eficiencia se calcula conociendo la turbiedad inicial del agua y la final de esta, aplicando estos datos a la fórmula mostrada de la siguiente manera:

$$Ef. filtro = \left(\frac{T_{ent} - T_{sal}}{T_{ent}} \right) \quad (50)$$

Estos datos, fueron encontrados en el ensayo de jarras, donde se tenía como turbiedad inicial 24 NTU y turbiedad de salida de 4 NTU, entonces la eficiencia será:

$$Ef. filtro = \left(\frac{24 - 4}{24} \right) * 100$$

$$Ef. filtro = 83\%$$

El filtro da una eficiencia del 83%, pero este valor no será constante ya que la turbiedad de entrada puede cambiar, lo que ocasionaría que la eficiencia del filtro aumente o disminuya.

$$Cantidad retenida = 24 - 4 = 20 \text{ mg/L}$$

$$Peso seco retenido = 20 * 0,008 * 86400 * 10^{-3} = 13,8 \text{ kg/día}$$

$$Peso húmedo retenido = \frac{13,8}{0,02} = 690 \text{ kg/día}$$

$$Volumen retenido por un filtro = \frac{690}{1010} = 0,683 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Volumen retenido por ambos filtros = 1,37 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tabla 51. Parámetros de diseños.

Fuente: Potabilización del agua, Romero, 2007.

Dimensiones		
Capa de lodo	23	cm
Capa de agregado fino (arena)	25	cm
Capa de agregado grueso (grava)	30	cm
Tubería para el drenaje	4	plg
Ancho	6,0	m
Largo	4,0	m

Nota: Los valores de ancho y largo del lecho de lodos, fueron asignados, estos datos no los proporciona la fuente citada.

Se toma una capa de lodos de 23 cm teniendo en cuenta que ésta sería la capa que se obtendría después de 4 días de uso de la unidad, puesto que la lámina producida en un solo día sería de aproximadamente 5,7 cm.

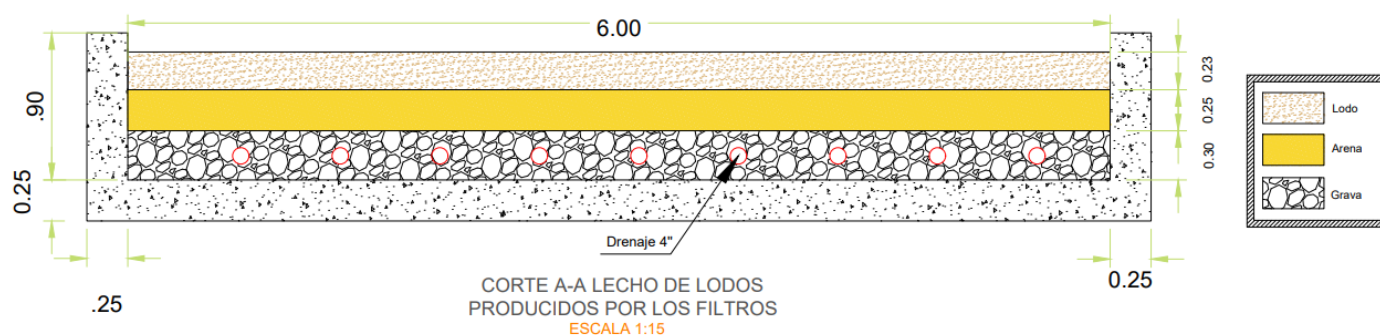


Figura 47. Lecho de lodos producidos por los filtros.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Como el volumen diario de lodos producidos por los filtros es de 1,37 metros cúbicos por día, se hizo el diseño de lodos con respecto al tiempo de mantenimiento optimo que se le debería realizar que es a los 4 días, de esta manera se logra calcular que aproximadamente en este tiempo de funcionamiento, la cantidad de lodos acumulados por los filtros será de 5,5 m³. Con estos resultados, se puede sugerir el lavado de los filtros y del sedimentador simultáneamente, esto con el fin de mantener la efectividad de la planta.

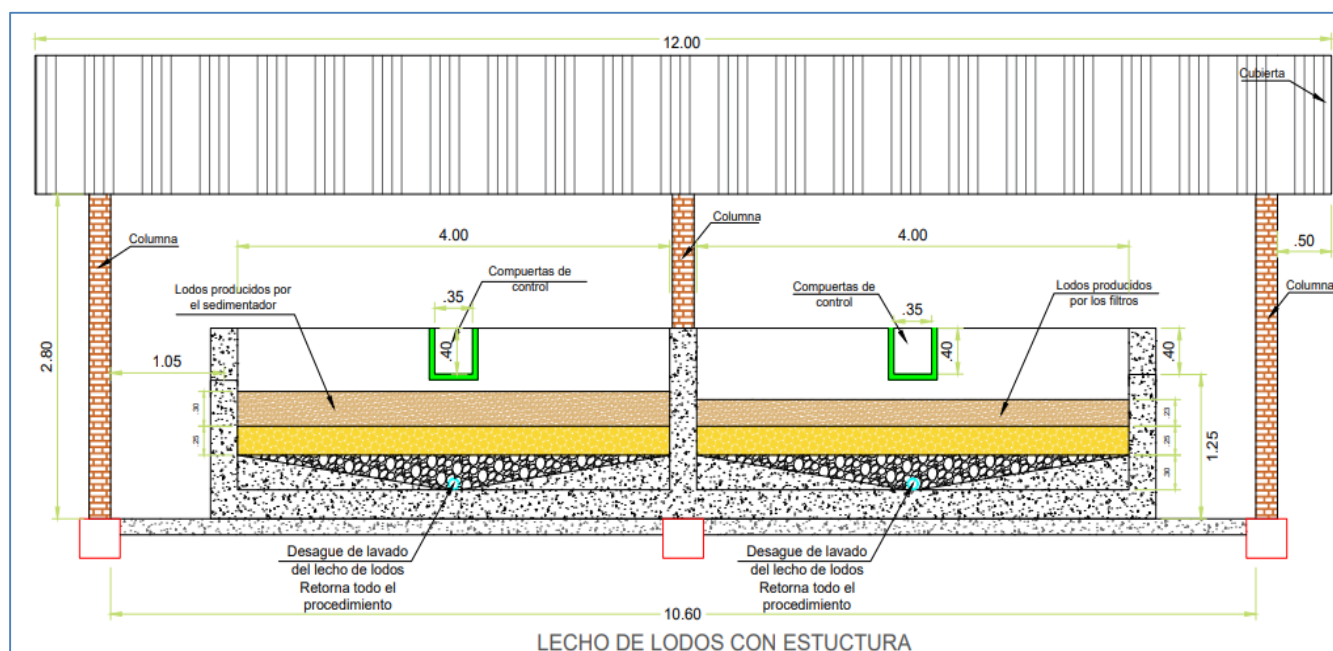


Figura 48. Estructura del lecho de lodos.

Fuente: Autoría propia, 2020.

Disposición Final de los Lodos

Los lodos producidos por el tratamiento del agua, deben tener un uso o una buena disposición de los mismos, a continuación, se muestran alternativas para dicha disposición.

Utilización de lodos en recuperación.

Los lodos pueden usarse como fuente de reparación de la tierra, como abono o comida para las tierras no agro, en especial las que hacen parte de los ecosistemas de alta montaña. Todo esto, teniendo en cuenta las características finales de los lodos.

Alimento para los animales.

Algunos lodos de origen industrial o doméstico, tienen unas características que le aportan a los animales, como lo es calcio y el fósforo, adicionalmente pueden generar vitaminas que le serían útiles a los animales que habiten en el campo, como los cerdos, ganado, caballos, gallinas, entre otros.

Fabricación de ladrillos.

Según el proyecto de grado de Rodríguez Torres, los ladrillos que son fabricados a partir de lodos, se constituyen de la siguiente manera:

- Lodo seco o húmedo: Aporta dureza y metales (35% de la mezcla). (Torres, 2013).
- Residuos forestales pueden disminuir la humedad hasta en un 70% aumentando la compactación (20% de la mezcla). (Torres, 2013).
- Residuos combustibles: Generalmente se trabajan cenizas de hornos de fundición, lo que aporta minerales que se incorporan a la matriz cerámica; estos residuos son los responsables de la porosidad y elevan la temperatura en el interior de la estructura (10% de la mezcla). (Torres, 2013).
- Cerámica: Base del ladrillo; puede representarse por arcilla o cualquier material puzolánico (35% de la mezcla). (Torres, 2013).

Para una buena elaboración de un ladrillo, se deben considerar que el mezclado y la cocción sea precisa. Para mezclar el material, se puede hacer uso de una máquina mezcladora si es que se trabaja un volumen alto. Y para la cocción, se debe contar con un horno que trabaje a temperaturas iguales o superiores a los 1000 °C. Hecho esto, el resultado que se obtiene es de un ladrillo totalmente ecológico con propiedades termo-acústicas y adicionalmente, un ladrillo que cumple con los parámetros de resistencia y dureza necesarios. (Torres, 2013).

Conclusiones

De acuerdo con la evaluación del sistema de potabilización actual de la vereda Altos de Pompeya, Meta, se estableció que no es recomendable la inversión para la reparación de las estructuras actuales de la planta potabilizadora, debido a los daños tanto en los equipos como en la infraestructura de esta, producidos por el deterioro y la falta de mantenimiento durante su época de funcionamiento, tal y como se muestra en las ilustraciones iniciales del proyecto.

Estas condiciones llevaron a establecer que la mejor alternativa para el funcionamiento de la planta debe ser basada en un diseño con unidades nuevas que permita la potabilización del agua con propiedades de mayor calidad para la población.

El agua que llega a las casas de los habitantes de la vereda Altos de Pompeya es turbia, (como se observa en los análisis de las muestras uno y tres), con olor a metal y con un pH ácido, por esta razón no cumple con lo establecido en el decreto 475 de 1998, expedido por el ministerio de salud pública. Estas características se dan gracias a que las unidades de la planta de tratamiento se encuentran deterioradas y fuera de uso como se evidenció en el diagnóstico realizado durante el proyecto.

Tras el análisis del agua tomada en el proceso de captación, se plantea que la mejor alternativa para el diseño de la planta de tratamiento es de una planta potabilizadora de tipo convencional, incorporándole como coagulante 3 ml de sulfato de aluminio por cada litro de agua a tratar y debido a que las propiedades del agua cruda, se asemejan a las establecidas por la resolución 0330 de 2017.

Para el diseño de la planta potabilizadora se tiene en cuenta como variable el fácil mantenimiento que junto con el *Manual de operación y mantenimiento para las unidades que*

componen la Planta Potabilizadora de la vereda Altos de Pompeya que se encuentra en el anexo A, permitan la realización de este por parte de la misma comunidad que ayude al frecuente mantenimiento, esto con el fin de evitar errores del pasado que conlleven al deterioro gradual de la planta.

Referencias Bibliográficas

- 1575, D. N. (9 de Mayo de 2007). *Ministerio de la Protección Social*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>
- Alunni, I. J. (s.f.). *Agua Potable, Redes y Tratamiento*. Obtenido de <http://ing.unne.edu.ar/dep/eol/fundamento/tema/T9.pdf>
- Anexo N° 8 cálculo de la potencia de la bomba del sistema de rociadores para enfriamiento del tanque y del sistema contra incendios. (s.f.). Obtenido de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/monge_t_m/anexo-8.pdf
- Arboleda, J. (2000). *Teoria y practica de la purificacion del agua* (Tercera ed., Vol. 1). Bogota: McGRAW-HILL. Recuperado el 28 de Julio de 2019
- Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de agua, coagulación y floculación*. (p. 9). Lima: SEDAPAL. Obtenido de: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Colombia, C. P. (s.f.). *Constitución Política de Colombia*. Obtenido de <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-12/capitulo-5/articulo-366>
- Condorchem Envitech. (13 de Agosto de 2014). *Smart ideas for wastewater and air treatment*. Obtenido de Historia antigua del tratamiento del agua potable: <http://blog.condorchem.com/historia-antigua-del-tratamiento-del-agua-potable/>
- Condiciones óptimas de diseño y de funcionamiento hidráulico. (s.f.). Obtenido de <https://uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/libro2-hidrologia/HU4.8-03.pdf>

Constitución Política de Colombia [C.P. C.] (1991).

Corcho Romero, F., & Duque Serna, J. I. (2005). *Acueductos teoría y diseño*. Medellín:

Universidad de Medellín.

Decreto 1575 de 2007. [Ministerio de la Protección Social]. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 9 de mayo de 2007.

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

Decreto 475 de 1998. [Ministerio de Salud Pública]. Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. 10 de marzo de 1998.

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%20475%20DE%201998.PDF

Flynn, Daniel J. (2009). *The Nalco Water Handbook*. NALCO Company.

Fuentes de Abastecimiento, Aprovechamiento y Consumo de Agua. (s.f.). Capítulo II. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/5772/Capitulo2.pdf>

Google Maps. (2019). *Google*. <https://www.google.com/maps/place/Alto+Pompeya+-+Pachaquiario,+Meta/@4.0636927,-73.3892819,3121m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e1585bbcb711a7f:0x17e64d3a4a9b3107!8m2!3d4.100549!4d-73.319287>

Ingenieria, S. e. (2020). Obtenido de <https://www.metrica.mx/Articulo.php?fab=0&art=11>

Instituto Nacional de Salud. (17 de Enero de 2019). *Instituto Nacional de Salud*.

<https://www.ins.gov.co/Comunicaciones/Comunicados%20de%20prensa/Carga%20Amb>

iental%20en%20Colombia%20Prensa%20INS-
%2021%20de%20enero%20de%202019.pdf

Instituto Nacional de Salud. (2019). *Carga de Enfermedad en Colombia AMBIENTAL*.

Colombia. Obtenido de: <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Informe-Carga-de-Enfermedad-Ambiental-en-Colombia.aspx>

López, J. A., & Rodríguez, L. (2010). *Desarrollo Sostenible, Uso Conjunto Y Gestión Integral de Recursos Hídricos*. Alicante: IGME.

Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. México D.F: Reverté Ediciones.

Morales Vásquez, E. M. (2016-2019). *Plan de Salud Territorial*. Obtenido de

<http://www.villavicencio.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionYControl/PLAN%20D E%20SALUD%20TERRITORIAL%202016-2019.pdf>

Muyón Rivera, C. (2017). *“Diseño de una planta de tratamiento de agua residual para la junta administradora de agua potable y alcantarillado regional yanahurco en el cantón mocha, provincia de Tungurahua”* (Pregrado). ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, ECUADOR.

PROLAB. (2020). PROVEEDOR DE LABORATORIOS, S.A DE C.V. Obtenido de

https://www.pro-lab.com.mx/papel_indicador_de_ph_0-14_1072.html

Ramos, R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2002). *El agua en el medio ambiente: Muestreo y análisis*. Mexicali: Plaza y Valdes. Universidad Autónoma de Baja California.

RAS. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Obtenido de https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483

Resolución 0330. (2017). Obtenido de

<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>

Restrepo, I., Sánchez, L., & Galvis, A. (2007). *Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Rojas Vargas, R. (2002). *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. Lima: CEPIS.

Romero Rojas, J. (1999). *Potabilización del agua*. México, D.F.: Alfaomega.

Torres, J. N. (2013). PROPUESTA METODOLÓGICA. Obtenido de

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11289/Proyecto%20695-764%20Nicolas%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Torres P. et al. (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica*. Medellín: Revista de Ingenierías.