SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO El VINO (CUNDINAMARCA)

JUAN CARLOS BELLO FLORIÁN

DANIEL ESTEBAN GÓMEZ FLOREZ

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL

FACATATIVÁ - 2019

SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO El VINO (CUNDINAMARCA)

JUAN CARLOS BELLO FLORIÁN

DANIEL ESTEBAN GÓMEZ FLOREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE “INGENIERO AMBIENTAL”

DIRECTOR

DIEGO FERNANDO BEDOYA RIOS

ING SANITARIO, MSc.

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL

FACATATIVÁ – 2019

AGRADECIMIENTOS

En estas líneas deseamos en primer lugar dar gracias a nuestro tutor el Ingeniero Diego Fernando Bedoya Ríos, por su apoyo durante el desarrollo del presente proyecto, agradecemos su disposición, paciencia, dedicación y criterio, fundamentales para que lográramos alcanzar los objetivos trazados. Como estudiantes ha sido un privilegio recibir la guía, ayuda y concejo de tan excelente persona y profesional.

Agradecemos de igual forma al Ingeniero William Andrés Castañeda Celeita, por su importante apoyo a lo largo del desarrollo del presente proyecto, damos gracias a él por ofrecernos los recursos necesarios desde los alcances de la Universidad de Cundinamarca para continuar con el presente proyecto, el cual iniciamos con anterioridad recibiendo su asesoría.

Agradecemos en términos generales a la Universidad de Cundinamarca por brindarnos la posibilidad de formarnos como profesionales a lo largo de estos años, es muy gratificante formar parte de esta comunidad universitaria, que nos permitió mejorar como personas y adquirir los conocimientos necesarios para aplicarlos no solo como profesionales, sino para el curso de nuestras vidas.

Por ultimo agradecemos especialmente a la comunidad del El Vino (Cundinamarca), por permitirnos entrar a sus hogares durante la aplicación de encuestas y la caracterización del área de estudio. Por otra parte destacamos el importante apoyo prestado por los señores Alexander Perilla, Arturo Perilla y German Álvarez, quienes nos facilitaron en gran medida el trabajo con la comunidad y nos acompañaron de la forma más amable, en varios de los días en que realizamos trabajos de campo.

De los autores

DEDICATORIA PRIMER AUTOR

A mi familia por ser ese apoyo incondicional que todo ser humano necesita para materializar sus sueños, a mis padres de manera especial por ser ejemplo de amor incondicional, entrega, responsabilidad, dedicación, sacrificio, voluntad y comprensión. A mi hermano por acompañarme durante este proceso y confiar en mis capacidades, en varios momentos de dificultad a largo de este proceso. A mi cuñada y sobrina, por ser parte de nuestra familia y brindar un complemento y aliciente especial, que me impulsan a ser mejor persona.

A mi compañero de proyecto y amigo, Daniel Gómez por compartir este proyecto y ser parte fundamental, aportando sus conocimientos, habilidades y tiempo, necesarios para alcanzar esta meta conjunta.

A varios de mis compañeros y amigos de Universidad, quienes mostraron siempre su interés y buenos deseos respecto al desarrollo de mi proyecto, así como a varias personas y amigos externos a la universidad, que me mostraron su apoyo e interés, sobre el desarrollo de mi proyecto de grado.

Para terminar, dedico este proyecto a Dios, por permitirme disfrutar de lo hermoso de la vida, cada vez que comparto con las personas que amo y con todas aquellas que forman parte importante en mi vida.

Juan Carlos Bello Florián

DEDICATORIA SEGUNDO AUTOR

El presente trabajo es dedicado a mi familia que me apoyo en todo mi proceso de formación, a los profesores que me brindaron los fundamentos teóricos y prácticos para enriquecer mis conocimientos y a Juan Carlos que fue parte importante en el desarrollo de este proyecto.

Daniel Esteban Gómez Flórez

Tabla de Contenido

GLOSARIO 15
RESUMEN 16
INTRODUCCIÓN 18
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 20
JUSTIFICACIÓN 22
OBJETIVOS 23
Objetivo general 23
Objetivos específicos 23
MARCO TEÓRICO 24
MARCO CONCEPTUAL 48
MARCO LEGAL 52
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 53
Ubicación 53
Población objeto de estudio 55
Actividades productivas en el área de estudio 57
Hidrografía 57
Clima 60
Temperatura 60
Precipitación 60
Zonas de Vida 62
METODOLOGÍA 62
Caracterización de la zona de estudio 64
Identificación de la infraestructura disponible. 64
Caracterización Socio – Cultural de la Población. 64
Actividades preliminares 64
Proyección de la población de diseño 64
Estimación de los caudales de diseño. 65
Caracterizar la fuente de abastecimiento en términos de cantidad y calidad 65
Cantidad. 65
Calidad. 65

Seleccionar la tecnología de tratamiento analizando criterios de sostenibilidad. 66
Diseñar los procesos y operaciones unitarias para la potabilización del agua 68
Entrada al sistema. 68
Cámaras de disipación de energía. 68
Canales rectangulares. 68
Vertederos de excesos. 68
Vertedero triangular. 69
Área superficial para los filtros. 69
Filtro grueso dinámico. 69
Filtro grueso ascendente en capas. 70
Filtro lento en arena. 70
Estimación de las caídas de presión en cada filtro. 71
Cámara de desinfección. 71
RESULTADOS 72
Caracterización de la zona de estudio 72
Identificación de la infraestructura disponible. 72
Bocatoma de Fondo. 74
Línea de aducción. 75
Desarenador 75
Línea de conducción. 77
Estructura de aireación y almacenamiento. 79
Predio asignado para construir un sistema de potabilización. 80
Caracterización socio – cultural de la población 81
Actividades preliminares 83
Proyección de la población de diseño. 83
Caudales de diseño. 85
Estimación de la dotación bruta de agua. 85
Caudal promedio de diseño. 85
Caudal Máximo Diario. 86
Caudal Máximo Horario. 86
Caracterización de la fuente de abastecimiento en términos de cantidad y calidad 87
Caudal disponible en el Río Sabaneta. 87

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la fuente de abastecimiento 91
Seleccionar la tecnología de tratamiento analizando criterios de sostenibilidad. 94
Alternativas tecnológicas de potabilización disponibles. 95
Alcances y limitaciones de los sistemas disponibles. 95
Comparación de costos de las alternativas disponibles, según estudios consultados. 98
Comparación de costos de construcción y costos totales, para las tecnologías disponibles. 100
Criterios de sostenibilidad en el contexto del Centro Poblado El Vino. 103
Selección de la tecnología de tratamiento, aplicando matriz multi – criterio. 106
Descripción del método de evaluación de los criterios específicos. 108
Análisis de la matriz multi Criterio. 110
Diseñar los procesos y operaciones unitarias para la potabilización del agua 111
Entrada al sistema. 112
Cámara de Válvulas de Control. 112
Cámara de disipación de energía. 113
Canales rectangulares. 114
Vertederos de excesos. 114
Vertedero triangular. 115
Área superficial para los filtros. 116
Filtro Grueso Dinámico. 117
Cámara de disipación de energía al inicio del filtro. 117
Características del lecho empacado. 118
Tubería de recolección. 118
Cámaras de salida. 119
Filtro Grueso Ascendente en Capas. 120
Cámara de disipación de energía. 120
Cámaras de entrada. 121
Características del lecho empacado. 121
Tubería de distribución. 122
Cámara de salida. 122
Filtro Lento en Arena. 123
Cámara de entrada. 124
Características del lecho empacado. 124

Tubería de recolección. 125
Cámara de válvulas. 125
Cámara de salida. 126
Caída de presión en cada uno de los filtros. 126
Cámara de desinfección. 127
Determinación de la dosis de Penclorito 128
CONCLUSIONES 129
RECOMENDACIONES 130
REFERENCIAS 131
ANEXOS 136

Índice de tablas

Tabla 1 Criterios básicos de diseño sugeridos para un FGDi. 38
Tabla 2 Criterios básicos de diseño sugeridos para un FGAC..... 39
Tabla 3 Criterios básicos de diseño sugeridos para un FLA..... 42
Tabla 4 Respuestas del formato de encuesta aplicado, consideradas importantes en la estructuración de la Tabla 21 82
Tabla 5 Datos demográficos del Centro Poblado El Vino 83
Tabla 6 Tasas de crecimiento calculado para cada uno de los cuatro métodos aplicados. 84
Tabla 7 Proyecciones de población para el periodo de diseño requerido 84
Tabla 8 Dotación bruta de agua 85
Tabla 9 Caudales promedio diarios calculados para cada intervalo de tiempo 86
Tabla 10 Resultados para el caudal máximo diario 86
Tabla 11 Resultados para el caudal máximo Horario 87
Tabla 12 Caudal estimado para el periodo de lluvias en la fuente de abastecimiento..... 88
Tabla 13 Caudal estimado para el periodo de estiaje en la fuente de abastecimiento. 90
Tabla 14 Turbidez medida en periodos de estiaje y lluvioso..... 91
Tabla 15 Resultados análisis de laboratorio de los muestreos tomados en época de estiaje. 92
Tabla 16 Resultados del muestreo compuesto y asignación de los puntajes de riesgo para la posterior estimación del IRCA..... 93
Tabla 17 Límites de tratamiento para los sistemas de potabilización convencional según Susuma Kawamura en 1991. 96
Tabla 18 Límites de tratamiento para cada una de las combinaciones de tecnología FiME. 97
Tabla 19 Requerimiento de tiempo completo de personal administrativo para distintos sistemas de potabilización. 98
Tabla 20 Reposiciones registradas en las tecnologías disponibles y periodos de vida de cada componente. 99
Tabla 21 Criterios de sostenibilidad ajustados al Contexto del Centro Poblado El Vino..... 104
Tabla 22 Matriz multi - criterio para selección de tecnología de tratamiento 107
Tabla 23 Descripción de las consideraciones tomadas para calificar los criterios específicos en la matriz multi criterio. 108

Tabla 24 Dimensiones adoptadas para la Cámara de Válvulas de Control 113
Tabla 25 Dimensiones adoptadas para la Cámara de Disipación de energía..... 113
Tabla 26 Dimensiones calculadas para el canal de entrada al sistema 114
Tabla 27 Calculo de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero. 115
Tabla 28 Dimensiones calculadas para el vertedero triangular 115
Tabla 29 Áreas superficiales calculadas para cada tipo de filtro 116
Tabla 30 Dimensiones adoptadas para la cámara de disipación de energía 117
Tabla 31 Criterios de diseño adoptados para el Filtro Grueso Dinámico 118
Tabla 32 Dimensiones adoptadas para la cámara de salida. 119
Tabla 33 Dimensiones adoptadas para la cámara de disipación de energía 121
Tabla 34 Dimensiones adoptadas las cámaras de entrada. 121
Tabla 35 Criterios de diseño adoptados para el Filtro Grueso Ascendente en Cap|as..... 122
Tabla 36 Dimensiones adoptadas las cámaras de salida..... 123
Tabla 37 Dimensiones adoptadas las cámaras de entrada. 124
Tabla 38 Criterios de diseño adoptados para el Filtro lento en Arena..... 125
Tabla 39 Dimensiones adoptadas para la cámara de válvulas. 125
Tabla 40 Dimensiones adoptadas para la cámara de salida. 126
Tabla 41 Estimación de la pérdida de presión en cada filtro aplicando el método de Ergún 126
Tabla 42 Dimensiones calculas para la cámara de desinfección. 128
Tabla 43 Estimación del Caudal de solución de Penclorito, necesario para realizar la desinfección terminal del caudal de Diseño..... 128

Índice de figuras

Figura 1: Vista lateral de un Filtro Grueso Dinámico, tomada de la Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas de la Organización Panamericana de la Salud. . 37
Figura 2: Vista lateral de un Filtro Grueso Ascendente en Capas, tomada de la Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas de la Organización Panamericana de la Salud..... 39
Figura 3: Vista lateral de un Filtro Lento en Arena, tomada de la Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas de la Organización Panamericana de la Salud..... 42
Figura 4: Centro Poblado El Vino. *Fuente: Autores del proyecto.*..... 54
Figura 5: Centro Poblado El Vino. *Fuente: Autores del proyecto.*..... 54
Figura 6: Río Sabaneta, en su cuenca alta, metros antes de pasar por la Bocatoma de Fondo. *Fuente: Autores del proyecto.*..... 58
Figura 7: Representación gráfica de los datos de precipitación obtenidos de la cartografía del IDEAM. Fuente: Elaboración Bello – Gómez..... 61
Figura 8: Bocatoma de Fondo, construida por la comunidad. *Fuente: Autores del proyecto.* 74
Figura 9: Llegada de la línea de aducción a la estructura de entrada del desarenador. *Fuente: Autores del proyecto.* 75
Figura 10: Desarenador construido por la comunidad de El Vino. *Fuente: Autores del proyecto.* 76
Figura 11: Drenaje del Vertedero de excesos en la estructura del desarenador. *Fuente: Autores del proyecto.*..... 77
Figura 12: Línea de conducción, con VAR para labores de lavado. *Fuente: Autores del proyecto.* 78
Figura 13: Perfil de elevación entre el desarenador y la estructura almacenamiento. Fuente: Elaboración Bello – Gómez..... 78
Figura 14: Estructura de aireación y tanque de almacenamiento. *Fuente: Autores del proyecto.* 80
Figura 15: Predio asignado para construir el sistema de potabilización en años próximos. *Fuente: Imagen satelital tomada de Google Earth, con delimitación del predio en formato KML.* 81
Figura 16: Secciones transversales dispuestas en el lugar de medición el día 08/11/2018. 88
Figura 17: Punto de captación el 08 de noviembre de 2018. *Fuente: Autores del proyecto.* 89

Figura 18: Secciones transversales dispuestas en el lugar de medición el día 09/01/2019. Fuente: *Elaboración Bello – Gómez.* 89
Figura 19: Punto de captación el día 09/01/2019. *Fuente: Autores del proyecto.* 90
Figura 20: Tecnologías de tratamiento disponibles para desarrollar el diseño. *Fuente: Autores, con base el esquema propuesto por el Ing. Camilo Hernán Cruz de la Universidad del Valle.* .. 95
Figura 21: Costos de construcción estimados para diferentes tecnologías de tratamiento en función del caudal a tratar. *Fuente: Grafico tomado de: "Proyecto de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua, realización de Alberto Galvis, Instituto CINARA y Universidad del Valle.* 101
Figura 22: Costos de construcción, administración, operación y mantenimiento, estimados para diferentes tecnologías de tratamiento en función del caudal a tratar. *Fuente: Grafico tomado de: "Proyecto de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua, realización de Alberto Galvis, Instituto CINARA y Universidad del Valle.* 102
Figura 23: Estructuras de entrada al sistema, vista en planta. *Fuente: Autores del proyecto.* 112
Figura 24: Filtro Grueso Dinámico, vista superior. *Fuente: Autores del proyecto.* 117
Figura 25: Filtro Grueso Dinámico, vista lateral. *Fuente: Autores del proyecto.* 118
Figura 26: Filtro Grueso Ascendente en Capas, Vista superior. *Fuente: Autores del proyecto.* 120
Figura 27: Filtro Grueso Ascendente en Capas, vista en lateral. *Fuente: Autores del proyecto.* 121
Figura 28: Filtro lento en Arena, vista superior. *Fuente: Autores del proyecto.* 123
Figura 29: Filtro Lento en Arena, vista en lateral. *Fuente: Autores del proyecto.* 124
Figura 30: Cámara de desinfección, vista superior *Fuente: Autores del proyecto* 127

Índice de Mapas

Mapa 1: Cartografía del área de estudio (Inspección El Vino). Fuente: Elaboración Bello – Gómez, utilizando metadatos provenientes del Geo portal del DANE. 55
Mapa 2: Delimitación de la Cuenca del Río Sabaneta Fuente: Elaboración Bello – Gómez, utilizando imagen tipo Raster del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), obtenida por medio de la plataforma Earth Explorer..... 59
Mapa 3: Distribución espacial de cada uno de los componentes del sistema de suministro existente. Fuente: Elaboración Bello – Gómez, con cartografía base del DANE..... 73

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Método Aritmético. 26
Ecuación 2: Cálculo de la tasa de crecimiento. 26
Ecuación 3: Método Geométrico. 26
Ecuación 4: Cálculo de la tasa de crecimiento. 27
Ecuación 5: Método Exponencial. 27
Ecuación 6: Cálculo de la tasa de crecimiento. 27
Ecuación 7: Método de Wappaus. 28
Ecuación 8: *Cálculo de la tasa de crecimiento.* 28
Ecuación 9: Cálculo de la dotación bruta. 30
Ecuación 10: Cálculo del caudal promedio. 30
Ecuación 11: Cálculo del caudal máximo diario. 30
Ecuación 12: Cálculo del caudal máximo horario. 30
Ecuación 13: Calculo de la velocidad de flujo. 31
Ecuación 14: Estimación del caudal en el cauce. 32
Ecuación 15: Método para calcular alícuotas en un muestreo compuesto. 32
Ecuación 16: Cálculo del IRCA para una muestra. 33
Ecuación 17: Ecuación propuesta por la Universidad Católica de Chile, para determinar caudal en vertederos triangulares. 43
Ecuación 18: Lámina de agua sobre el vertedero rectangular. 44
Ecuación 19: Estimación de área superficial en los filtros. 44
Ecuación 20: Estimación de la longitud de los filtros. 45
Ecuación 21: Ecuación de Ergún para determinar caídas de presión en lechos empacados. 46
Ecuación 22: Cálculo de Reynolds para determinar dominancia de flujo en el lecho. 47

GLOSARIO

CAR: Corporación autónoma de Cundinamarca.

CC: Ciclo completo.

CINARA: Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

DMI: Distrito de Manejo Integrado.

EPC: Empresas públicas de Cundinamarca.

FD: Filtración directa.

FGAC: Filtro grueso ascendente en capas.

FGDi: Filtro grueso dinámico.

FiME: Filtración en múltiples etapas.

FINDETER: Financiera de Desarrollo Territorial.

FLA: Filtro lento en arena.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IRCA: Índice de riesgo para calidad de agua para consumo humano.

ODS: Objetivos de desarrollo sostenible.

PC: Plantas compactas.

PVC: Policloruro de Vinilo.

QMD: Caudal máximo diario.

QMH: Caudal máximo horario.

SCHMUTZDECKE: Deriva de alemán “capa sucia”, en referencia a una capa bilógica formada en los filtros lentos.

SISBÉN: Sistema de identificación de potenciales beneficiarios de programas sociales.

Tf: Tasa de filtración.

UFC: Unidades formadoras de colonias.

UNICEF: Fondo Internacional de Emergencia de las Naciones Unidas para la Infancia.

UNT: Unidades nefelométricas de turbiedad.

UPC: Unidades Platino Cobalto.

VAR: Válvula de apertura rápida.

RESUMEN

Para concebir el diseño de un sistema de tratamiento de agua potable acorde a las necesidades del Centro Poblado El Vino, fue necesario realizar estudios previos que aportaran información pertinente para el sistema. En primer lugar se analizó la infraestructura disponible con la que cuenta el Centro Poblado, que básicamente es un sistema de suministro de agua cruda. Además se realizó una caracterización sociocultural de la población detallando aspectos importantes como nivel de educación y estrato. Por otra parte se proyectó el crecimiento poblacional que presentará la zona en 25 años, dato importante para la determinación del caudal de diseño cuya estimación es de 4,5 L/s.

Luego de esto se realizó una caracterización de la fuente de abastecimiento (Río Sabaneta) en términos de calidad y cantidad, la primera de estas mediante un muestreo compuesto para parámetros físico – químicos y un muestreo puntual para parámetros microbiológicos, que fueron analizados en el laboratorio de aguas del Acueducto de Facatativá, donde se encontró que 3 parámetros incumplían los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 2115 de 2007. Los parámetros mencionados son Turbiedad, Coliformes totales y *Escherichia coli*, los cuales dan una aproximación cercana a la calidad del agua debido a su relación con otros parámetros. Para la determinación del caudal en la fuente se empleó la metodología de flotadores, lo anterior en los periodos lluvioso y de estiaje.

En cuanto a la selección de la tecnología de tratamiento se identificaron las alternativas disponibles como el Ciclo completo, Filtración directa en línea, Filtración directa con floculación y la Filtración en Múltiples Etapas, para cada una de ellas se establecen y analizan los alcances y limitaciones de operación, respecto a la remoción de contaminantes, se realizó además una comparación de costos entre las alternativas y finalmente se analizaron los criterios de sostenibilidad en el Contexto de la comunidad como lo son: Higiene, Ambientales, Económicos, Socio - Culturales, Técnicos y de Operación. Los anteriores sugeridos en la resolución 0330 de 2017.

Con la información recolectada se alimenta una matriz multi – criterio, diseñada por los autores que relaciona cada una de las alternativas analizadas y sus implicaciones respecto a los criterios de sostenibilidad aplicados al centro poblado, después de ponderar y calificar cada uno de los aspectos se determina que la tecnología que representa una mayor sostenibilidad y menores riesgos económicos en función de la comunidad es la Filtración en Múltiples Etapas.

Para el diseño de la tecnología seleccionada se establece una combinación que consta de un Filtro Grueso Dinámico, un Filtro Ascendente en Capas y un Filtro Lento en Arena, está corresponde a una combinación sugerida en la bibliografía consultada cuando el riesgo de la fuente es considerado intermedio, como es el caso del Río Sabaneta. Para su dimensionamiento se consultaron varias guías de diseño desarrolladas con base a las investigaciones del instituto CINARA, por otra parte, algunas estructuras y complementos fueron concebidas a criterio de los diseñadores respetando la proporcionalidad de las dimensiones. Es importante aclarar que cada estructura tiene un duplicado con el fin de efectuar las respectivas labores de mantenimiento. Este sistema se diseña con la capacidad de tratar 4,5 L/s para 1.855 personas en un horizonte de operación de 25 años.

Palabras clave: Diseño, El Vino (Cundinamarca), Agua Cruda, Agua Potable, Caudal, Río Sabaneta, Selección de tecnología, Criterios de Sostenibilidad, Filtración en Múltiples Etapas.

INTRODUCCIÓN

La declaración del agua potable y el saneamiento, como derechos fundamentales del ser humano permite estimular el diseño, gestión e implementación, de nuevos sistemas de potabilización. (Organización de las Naciones Unidas, 2010) Se establece por la Organización Mundial de la Salud que el consumo o uso de aguas sin tratamiento básico, está relacionado directamente a la trasmisión y propagación de enfermedades diarreicas, las cuales son una de las principales causas de muerte en niños a nivel mundial.

En Colombia, al igual que en el ámbito de la Naciones Unidas, el agua se considera un derecho fundamental, y constitucionalmente el estado colombiano debe garantizar las disposiciones internacionales como pautas para interpretar los derechos humanos. (Republica de Colombia, 2001)

El país se comprometió a seguir los lineamientos de ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), con el propósito de lograr una cobertura del 100 por ciento en agua potable para la población nacional, meta que se debe cumplir para el año 2030. (FINDETER, 2017)

Para el cumplimiento de la meta de ODS el estado colombiano se enfoca en dos frentes a mejorar, el primero es el aumento progresivo de la cobertura al agua tratada y la segunda es el aumento en el acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas.

Pero a pesar de lo anterior, se evidencia que hay un marcado problema en la ejecución de este desarrollo, el cual es la pronunciada brecha que existe entre las zonas urbanas y las zonas rurales (en favor de los sectores urbanos). "*Por ejemplo, en la zona urbana 97 personas de 100 pueden acceder a suministros de agua potable, mientras que en la rural solo 74 (de 100) lo logran".* (FINDETER, 2017)

En el contexto departamental Cundinamarca se encuentra un 2,6 % por encima del promedio nacional, pero a nivel latinoamericano se evidencia que el departamento junto con todo el pais se encuentran muy por debajo de la media continental del 97,10 % en terminos de cobertura en servicio de acueducto.

Como en el resto del pais, el rezago mas notable se encuentra en el area rural, donde al analizar por provincias las Empresas Publicas de Cundinamarca encontraron que la provincia de

Gualivá a la cual pertenece el municipio de la Vega, presenta una cobertura inferior al 40% mostrando una situacion preocupante. (Empresas Públicas de Cundinamarca, 2016)

Como lo define Ernesto Sanchez Triana en su libro "*Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia*" la generacion de nuevas alternativas para garantizar agua segura a las comunidades mas vulnerables, puede contribuir de forma notable a la reduccion de la pobreza extrema en diversas zonas del pais. (Ernesto Sanchez, 2006)

Por lo anterior, como alternativas tecnologicas viables para proporcionar agua potable a las comunidades, se cuenta con sistemas de tipo convencional que en terminos generales inician sus rutas de tratamiento con la adición de productos quimicos que permiten llevar a cabo las fases iniciales de Cogulación – Floculación, donde se desestabilizan y aglutinan las particulas coloidales, sustancias húmicas y microorganismos que presentan una carga negativa superficial. (Cárdenas, 2000)

Lo anterior permite que los flocs formados sean removidos en la fase de sedimentacion, logrando retirar en este punto del sistema la mayor carga contaminante posible a condiciones tranquilas. Posteriormente las aguas pasan por un lecho filtrante que remueve particulas y patogenos que no fueron eliminados en las fases anteriores, logrando que el efluente llegue en las condiciones necesarias para pasar por el proceso de desinfeccion terminal.

Por otra parte la ruta convencional presenta dos derivaciones la primera es la filtracion directa en linea y la segunda es la filtracion directa con floculación, en las cuales se omite la fase de sedimentacion en casos donde se presentan fuentes hidricas con cargas contaminantes intermedias o bajas, por lo que se puede eliminar la sedimentacion del tren de tratamiento. (National Academy of sciences, 2007)

Como principal desventaja en estos sistemas convencionales se cuenta con que los costos de operación y mantenimiento a lo largo del tiempo son muy altos para comunidades pequeñas con un bajo presupuesto y con una carencia de personal calificado necesario para que estos sistemas operen de manera eficiente.

Por lo anterior, a lo largo de los años se han venido recuperando tecnologias antiguas como lo son los filtros biologicos o mejor conocidos como Filtros Lentos en Arena (FLA) los cuales son una buena opcion de tratamiento debido a su simplesa en cuanto a su operación,

accesibilidad economica y fiablilidad para proporcinar agua potable a comunidades que cuenten con unas fuentes hidricas poco contaminadas, escasos recursos economicos y un area importante como requisito para desarrollar estas tecnologias. (MARÍN, 2012)

La tecnologia FLA es generalmente acompañada por sistemas de filtracion dinamica o filtracion ascendente en capas o en serie; esto en funcion del grado de contaminanción de las aguas, generarando de esta forma unas fases de pretratamiento fisico, necesarias para que los FLA operen a condiciones optimas y cumplan con la finalidad del sistema, la cual es brindar agua segura a las comunidades. (GERARDO GALVIS, 1999)

Esta serie de filtros se conoce como Filtracion en Multiples Etapas (FiME) y es una opcion innovadora en vista de que no ultiliza compuestos quimicos para la remocion de cargas contaminates por lo que economicamente llega a ser mas sostenible a lo largo del tiempo en terminos operación y mantenimiento. (GERARDO GALVIS, 1999)

En función de las caracteristicas de la comunidad de El Vino, en el municipio de la Vega (Cundinamarca), se realizo la respectiva selección de tecnologias analizando las caracteristicas de cada una de las alternativas disponibles para proporcionar un sistema de potabilizacion sostenible en el tiempo, para la comunidad. En el presente proyecto se determinó que la ruta de tratamiento mas viable para El Vino es la tecnologia FiME en una combinacion de FGDi + FGAC + FLA, decision tomada bajo el analisis de las condiciones de calidad del agua en la fuente de abastecimiento y tomando en cuenta criterios de sostenibilidad en el contexto de la comunidad que permiten que el sistema sea viable a lo largo del tiempo en cuanto a operación y mantenimiento.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la inspección El Vino, jurisdicción del municipio de la Vega, departamento de Cundinamarca, se ofrece simplemente un servicio de suministro de agua cruda, en vista que no se cuenta con un sistema de potabilización de aguas y según las fuentes consultadas en planeación municipal, no se tiene aún en proceso el diseño o puesta en marcha de algún sistema que cumpla con estas funciones.

El agua es captada de la cuenca alta del Río Sabaneta, por medio de una Bocatoma de Fondo, construida por la misma comunidad, junto con la línea de aducción, un desarenador y una línea de conducción que lleva el flujo a un tanque de almacenamiento, desde el cual se distribuye el recurso a esta población.

Estas aguas llegan a cada uno de los hogares sin ningún tipo de tratamiento, lo que puede generar problemas de salud asociados al consumo de esta agua, tomando en cuenta que el marco normativo del sector de agua potable y saneamiento; establece como requisito mínimo, que toda agua destinada a consumo humano, debe pasar por un proceso de desinfección, el cual no se aplica en este caso.

Respecto a lo anterior, parte de la comunidad se siente insatisfecha por la calidad de agua suministrada; según encuestas realizadas a los usuarios de este acueducto veredal, el 26 de diciembre de 2017.

Según datos proporcionados por la oficina de desarrollo social del municipio de la Vega, el número de habitantes registrados para el año 2015, corresponde a 527 personas; distribuidas en aproximadamente 149 viviendas, que en su mayoría pertenecen a los estratos 1 y 2, por lo que es importante considerar que los alcances económicos de la comunidad son limitados.

Por otra parte es relevante tener en cuenta que dentro de la comunidad hay población vulnerable, como son niños y adultos mayores; los cuales son más propensos a presentar problemas de salud por consumo de agua cruda.

Como problemáticas asociadas a la cuenca del Río Sabaneta, se identificaron factores importantes como escasez de agua, introducción de especies invasoras como el eucalipto y la acacia en las zonas altas de la montaña, impactos negativos sobre los nacimientos de agua cercanos a la construcción de la doble calzada, tala indiscriminada, usos ineficientes del agua disponible, contaminación de las fuentes hídricas en especial por parte de la ganadería.

Se identificaron además conflictos de uso de suelos que en su mayoría se presentan en relictos de bosque conservado donde la extracción de madera y la práctica de la ganadería, afectan de forma importante el ecosistema, aumentando la vulnerabilidad a procesos de erosión que son muy comunes en áreas con pendientes mayores al 12,5 % como es el caso de esta región. Los procesos de deforestación han abierto paso a nuevas zonas para aprovechamiento ganadero,

lo que como problemática adicional lleva a procesos de compactación en muchas zonas. (Corporación Autonoma Regional, 2014)

Este estudio tiene como propósito esencial, ofrecer el diseño de un sistema de tratamiento de aguas, acorde a las necesidades de la comunidad de El Vino, que cumpla con las características técnicas, establecidas en la Resolución 0330 de 2017 permitiendo de esta forma garantizar un diseño ejecutable y completamente funcional. Que a su vez contribuya de cierta forma, al desarrollo socio-económico de esta población y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La elaboración del presente proyecto busca responder la siguiente pregunta: **¿Cual tecnología de tratamiento es viable para ser diseñada como sistema de potabilización para el centro poblado del vino Cundinamarca?**

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de sistemas potabilización y saneamiento, no solo permite la reducción de los problemas de salud, además contribuye a un desarrollo social pleno y también promueve un mayor crecimiento económico de las comunidades. (Organización Panamericana de la Salud, 2011)

Según la UNICEF en los países que están en vía de desarrollo, más del 90% de las muertes causadas por diarrea son relacionadas al consumo de agua no potable, esto se presenta en menores de cinco años. (Lysaght, 2018) Estas enfermedades generadas por el consumo de aguas sin tratar, son prevenibles si se aplican medidas de mayor higiene personal, tratamiento de aguas y saneamiento básico. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

Ademas la Organización Mundial de la Salud encuentra, como desafios importantes para garantizar un agua segura para las comunidades, la escasez del recurso agua a consecuencia del cambio climatico, aumento demografico estrepitoso en muchas regiones del planeta y la mala gestión del recurso. Por lo que se sugiere como fundamental evolucionar en cuanto al manejo de las fuentes de abastecimiento y el desarrollo de nuevas estrategias de tratamiento que permitan a

las comunidades tener estrategias más sostenibles para afrontar los desafios del futuro. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

En el escenario local la constitución política de Colombia, en el artículo 366, plantea como uno de los objetivos del estado proporcionar cobertura total en agua potable y saneamiento básico; para toda la población. (Republica de Colombia, 1991)

Además, mediante el decreto 1575 de 2007, se reglamenta la protección y control del agua para consumo humano; en este decreto se fijan las condiciones de calidad, necesarias para considerar un agua apta para consumo humano, mediante las características físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas; establecidas por medio de la resolución 2115 de 2007.

Por otra parte según el último informe sobre Agua potable y Saneamiento en Colombia, existe una brecha entre la cobertura en agua potable entre las zonas urbanas y las rurales. (FINDETER, 2017)

La brecha mencionada fue encontrada en el Centro poblado El Vino, donde no se cuenta con un sistema de tratamiento de agua potable que permita a la comunidad gozar de un agua apta para el consumo humano. Por lo anterior es importante que se genere un diseño acorde a las capacidades económicas, sociales, operativas y técnicas de la comunidad, garantizando un sistema sostenible y viable económicamente para efectos del presente proyecto.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar el sistema de tratamiento de agua potable más adecuado para el Centro Poblado El Vino (Cundinamarca), teniendo en cuenta criterios Técnicos, económicos y ambientales.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la fuente de abastecimiento en términos de calidad y cantidad.
2. Seleccionar la tecnología de tratamiento analizando criterios de sostenibilidad.
3. Diseñar los procesos y operaciones unitarias para la potabilización del agua.

MARCO TEÓRICO

Los primeros sistemas de potabilización se constituían por estructuras empíricas, concebidas para realizar un mejoramiento estético del agua para consumo, lo que bajo conceptualización técnica, se define como características organolépticas. Además estos sistemas implementaban únicamente sistemas de filtración compuestos por materiales naturales como arenas, rocas o carbón activo. (Empresa Descalcificador, 2017)

El desarrollo de la humanidad condujo a la rápida propagación de enfermedades donde el proceso de cloración, empezó a ganar una real importancia, dado que para la década de 1880, Louis Pasteur manifestara que los organismos patógenos, podrían valerse de las aguas sin tratar, para transmitir varias enfermedades, esto llevo a que los procesos de filtración se complementaran con la desinfección. (Empresa Descalcificador, 2017)

Toda esta serie de avances, contribuyeron a que la esperanza de vida en el mundo haya aumentado un 50%. La época de la industrialización, impulso el adelanto de sistemas de potabilización más complejos, que involucran, operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos; buscando remover materiales, sustancias o microorganismos, que pongan en riesgo la salud pública.

Con base en lo anterior un sistema de potabilización debe garantizar un agua segura para las comunidades, aunque no quiere decir que todas las plantas de tratamiento sean iguales; esto se debe a que la cantidad de operaciones y procesos involucrados en las mismas, y las particularidades técnicas que conlleven, estarán en función de las características del agua a tratar y el contexto socio-económico. (Empresa Descalcificador, 2017)

A efectos de desarrollar un diseño para plantas de potabilización en Colombia, se deben tomar en cuenta los parámetros, criterios, requisitos, requerimientos técnicos, procedimientos, marco legal y demás actividades afines; estipulados dentro de la Resolución 0330 de 2017. (MVCT, 2017)

Los trabajos de diseño, de cualquier sistema de potabilización, deben en primer lugar pasar por dos actividades preliminares muy importantes, las cuales son, determinación del periodo de diseño y estimación de la población de diseño por medio del estudio demográfico de la población.; siendo estos estudios fundamentales para determinar el caudal de diseño para toda la vida útil del sistema en desarrollo. Calcular lo anterior además permite establecer si la fuente de abastecimiento tiene el caudal promedio suficiente, como para satisfacer las necesidades de consumo de la comunidad. (MAVDT, 2003)

La primera actividad preliminar radica en la determinación del periodo de diseño por lo que según el Artículo 40 de la Resolución 0330 de 2017 los componentes de un sistema de acueducto, saneamiento y aseo deben adoptar un horizonte de operación de 25 años.

Para la estimación de la población futura según el libro de "*Elementos de diseño de acueductos y alcantarillado"* es importante tener en cuenta las condiciones sociales, culturales y económicas de la población, como factores que aceleran el crecimiento es importante analizar los desarrollos turísticos, industriales y comerciales de la comunidad. (Ricardo Alfredo López Cualla, 2003)

Si los factores que afectan el crecimiento son mínimos el desarrollo de la comunidad será limitado, por lo que la dinámica demográfica futura puede ser descrita por los métodos de estimación poblacional más conocidos como lo son Aritmético, Geométrico, exponencial, Wappaus y Grafico, en los cuatro primeros métodos es muy importante contar con mínimo 3 censos poblacionales proporcionados por fuentes acreditadas como el DANE o el SISBÉN, por otra parte el método grafico es una buena opción cuando no se cuentan con censos de la población en estudio. (Ricardo Alfredo López Cualla, 2003)

Luego de evaluar las estimaciones o proyecciones poblacionales por algunos de los métodos más utilizados y recomendados desde la creación del RAS, lo diseñadores deben optar por el resultado de alguno de los métodos aplicados, en función de su cercanía a la dinámica demográfica real de la población estudiada.

El *método aritmético* permite describir aumentos poblacionales a tasa constante, por lo que es recomendado para áreas con un crecimiento casi nulo o crecimiento vegetativo. La ecuación que corresponde es la siguiente:

$$Pf = Puc + n * (Tf - Tuc)$$

Ecuación 1: Método Aritmético.

Considerando que **n** es la tasa de crecimiento para el método, según la ecuación:

$$n = \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} * 100$$

Ecuación 2: Cálculo de la tasa de crecimiento.

Donde:

Pf: Población Proyectada.
Puc: Población último censo.
Pci: Población censo inicial.
Tuc: Año del último censo o proyección.
Tf: Año al cual se desea proyectar.

El *método Geométrico* es apto para comunidades con un nivel de desarrollo económico importante y realiza una descripción de un crecimiento de la población, proporcional al tamaño de la misma. La ecuación a desarrollar es:

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

Ecuación 3: Método Geométrico.

Considerando que **r** es la tasa de crecimiento para el método, según la ecuación:

$$r = \frac{Puc}{Pci}^{\frac{1}{Tuc-Tci}} - 1$$

Ecuación 4: Cálculo de la tasa de crecimiento.

Donde:

Pf: Población Proyectada.
Puc: Población último censo.
Pci: Población censo inicial.
Tuc: Año del último censo o proyección.
Tf: Año al cual se desea proyectar.

El *método exponencial* es recomendado para comunidades con un alto desarrollo económico e importante zonas de expansión. La ecuación es la siguiente:

$$Pf = Pci * e^{K*(Tf-Tci)}$$

Ecuación 5: Método Exponencial.

Siendo K la tasa de crecimiento poblacional, según la ecuación:

$$K = \frac{LnPcp - LnPca}{Tcp - Tca}$$

Ecuación 6: Cálculo de la tasa de crecimiento.

Donde:

Pcp = Población censo posterior.

Pca = Población censo anterior.

Tcp = Año posterior.

Tca = Año anterior.

Ln = Logaritmo natural o neperiano.

El *método de Wappaus* es un método poco común pero puede ser aplicado a distintos tipos de comunidad. La ecuación es la siguiente:

$$Pf = Pci * \frac{(200+i*(Tf-Tci))}{(200-i*(Tf-Tci))}$$

Ecuación 7: Método de Wappaus.

Considerando que i es la tasa de crecimiento poblacional, según la ecuación:

$$i = \frac{200*(Puc - Pci)}{(Tuc - Tci)*(Pci+Puc)}$$

Ecuación 8**:** *Cálculo de la tasa de crecimiento.*

Adicionalmente se debe evaluar el siguiente condicionante ya que el modelo será siempre valido sí ***i * (Tf - Tci) < 200.***

Donde:

Pf: Población Proyectada.

Puc: Población último censo.

Pci: Población censo inicial.

Tuc: Año del último censo o proyección.

Tf: Año al cual se desea proyectar.

Por último el *método grafico* permite ser utilizado para poblaciones pequeñas, cuando se carece de información censal o la disponible es poco confiable. El presente método radica en la comparación grafica de tres poblaciones de características similares, que permitan obtener una tendencia similar a la de la población en estudio, la cual se puede denotar como la población A, las demás poblaciones utilizadas, deben cumplir con los siguientes criterios y se denotan de la siguiente forma:

Población B: Debe ser de la misma región, con desarrollo, clima y tamaños similares.

Población C: Debe ser de la misma región, con desarrollo y clima similar pero de preferencia con hasta el doble de la población A.

Población D: Debe ser de otra región del país, con desarrollo y clima similar pero de preferencia con hasta el doble de la población A.

En el método se asume que la población A crecerá de la misma forma que las poblaciones B, C y D, por lo que la dinámica de las tres debe describir la estimación de la dinámica demográfica en la población A. Es importante que las tres poblaciones utilizadas cuenten con datos de censo confiables.

Posteriormente a la estimación de la población se debe determinar la dotación neta máxima por persona, la cual es adoptada según lo establecido en el Artículo 43, Tabla 1 de la Resolución 0330 del año 2017, donde la dotación neta estará en función de la altitud de la población objeto del diseño.

Con la obtención de la dotación neta se debe proceder al cálculo de la dotación bruta desarrollando la siguiente ecuación:

$$D_{bruta} = \text{Dotación neta} / (1 - \%\ \text{Perdidas})$$

***Ecuación 9*:** Cálculo de la dotación bruta.

Las pérdidas según el parágrafo 1, del Articulo 44 de la Resolución citada, corresponde al total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema, estas no deben superar un 25%.

Para el dimensionamiento de los componentes del sistema, es fundamental determinar el caudal promedio de diseño en relación a la población estimada, el caudal de diseño es la base para calcular los Caudales máximo Diario y máximo horario, los cuales son obtenidos con la aplicación de los factores de mayoración del Parágrafo 2, del Artículo 47 de la Resolución 0330 de 2017.

El caudal promedio de diseño viene dado por la siguiente ecuación:

$$QD = D\ bruta * \text{Población proyectada}$$

Ecuación 10: Cálculo del caudal promedio.

Los caudales máximo diario y máximo horario están dados por las siguientes ecuaciones:

$$QMD = QD * K1$$

Ecuación 11: Cálculo del caudal máximo diario.

$$QMH = QD * K2$$

Ecuación 12: Cálculo del caudal máximo horario.

Por otra parte, siguiendo el orden lógico de la literatura especializada es primordial, realizar una caracterización de la fuente de abastecimiento en términos de cantidad y calidad; para posteriormente seleccionar las tecnologías con las operaciones y procesos unitarios necesarios para cumplir con lo establecido por la Resolución 2115 de 2007.

Para la determinación del caudal (cantidad) en la fuente de abastecimiento se cuentan con varias metodologías una de las más conocidas es el método de aforo con flotadores, en términos generales se debe escoger una sección recta del cauce y marcar una distancia conocida a lo largo del mismo. Posteriormente se debe colocar un elemento flotante sobre la superficie del agua en el sentido de flujo de modo que se pueda determinar cuánto tiempo se demora este en transitar la longitud demarcada previamente, es importante repetir la medición varias veces para obtener el promedio de tiempo. (IDEAM, 2003)

Con lo anterior se obtendrá la velocidad de flujo en el cauce, lo siguiente es la determinación del área transversal, la cual se puede estimar con la división del cauce en varias dovelas que al ser sumadas permitirán estimar el área transversal del cauce. Al multiplicar el área transversal por la velocidad obtenida y un factor asociado al material de fondo en el cauce, se tendrá la estimación del caudal en el curso de agua. (IDEAM, 2003) Las formulas asociadas a este método son:

Velocidad del agua dada por:

$$V = X / t$$

Ecuación 13: Calculo de la velocidad de flujo.

V = Velocidad m/s
X = Longitud recorrida por el elemento flotante, m
t = Tiempo de recorrido del elemento flotante, s

Caudal en el cauce según la ecuación:

$$Q = n \times V \times A$$

Ecuación 14: *Estimación del caudal en el cauce.*

Q = Caudal, m^3/s.
V = Velocidad superficial, m/s.
A = Área transversal promedio, m^2.
n = Factor que depende del material del fondo del canal.

El factor n es un valor adimensional asociado al material del fondo del río, considerando que en la fuente de abastecimiento predominan las gravas gruesas y piedras de distintos diámetros, se puede adoptar un valor de n de 0,70 sugerido en la "*Guía para monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*" del IDEAM.

Para la caracterización de la fuente en términos de calidad es indispensable efectuar un muestreo compuesto en la fuente de abastecimiento para obtener una muestra representativa que permita en laboratorio determinar los parámetros físico – químicos, por otra parte un muestreo puntual es idóneo para los análisis microbiológicos. (IDEAM, 2003)

Para componer el primer tipo de muestra es recomendable tomar varias alícuotas durante varias horas de muestreo y al final mezclarlas en un mismo recipiente, el volumen de cada una de las alícuotas que componen la muestra compuesta están dados por la siguiente ecuación:

$$Vi = \frac{V * Qi}{n * Qp}$$

Ecuación 15: Método para calcular alícuotas en un muestreo compuesto.

Donde:

Vi = Volumen de cada alícuota o porción de muestra
V = Volumen total a componer
Qi = Caudal instantáneo de cada muestra
Qp = Caudal promedio durante el muestreo
n = Número de muestras tomadas

Es importante tener en cuenta que las muestras tomadas pueden ser sometidas a los ensayos de laboratorio en lugares con la acreditación requerida para estas actividades, siguiendo lo estipulado en las metodologías ya definidas, para posteriormente contrastar los resultados con los estándares legales. (IDEAM, 2014)

Con los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio es importante determinar el IRCA (Índice de riesgo para calidad de agua para consumo humano), el cual es descrito en el capítulo 4 de la Resolución 2115 de 2007 y está dado por la siguiente ecuación:

$$\text{IRCA\%} = \frac{\sum puntajes\ de\ riesgo\ asignado\ a\ las\ características\ no\ aceptables}{\sum puntajes\ de\ riesgo\ asignados\ a\ todas\ las\ características\ analizadas} * 100$$

Ecuación 16: Cálculo del IRCA para una muestra.

Los puntajes de riesgo asignados para ciertos parámetros de calidad de aguas, pueden ser consultados en el Artículo 13, cuadro numero 6 sobre puntajes de riesgo de la Resolución 2115 de 2007, en referencia al artículo 12 del Decreto 1575 de 2007.

Luego de cada uno de los procesos de caracterización y la identificación de las condiciones socio económicas de la comunidad, los diseñadores proceden a definir la tecnología de tratamiento que mejor se ajuste a las necesidades y alcances de la comunidad.

Para comenzar con la selección de tecnología, es importante la identificación y análisis de alternativas de tratamiento, como se especifica en el Artículo 13 de la Resolución 0330 de 2017, donde se reglamenta como importante buscar la alternativa de proyecto más viable, desde los puntos de vista técnico, económico, social y los demás criterios de sostenibilidad que se consideren importantes. Sobre los criterios importantes en el Artículo 14 de la resolución mencionada se sugiere realizar una comparación de alternativas, soportada por criterios económicos, técnicos, ambientales, de gestión del riesgo y sociales.

Como metodología para cumplir con este requisito el diseñador debe buscar un método en el cual evite ser subjetivo por lo que su decisión debe tener unos argumentos sólidos, en especial frente a los temas relacionados con la búsqueda del menor costo de inversión y los aspectos de operación y mantenimiento, que garanticen que la alternativa seleccionada sea sostenible a través del tiempo. Como herramientas aplicable a la selección de la alternativa más viable, se debería optar por el uso de ponderados evaluados por medio de matrices multi criterio como también es estipulado en el Artículo 14 de la Resolución citada.

Considerando que es necesaria la identificación y análisis de alternativas de potabilización se encuentra que actualmente existen varias tecnologías de tratamiento, que pueden proporcionar agua potable, la más conocida sin duda, es de ciclo completo o convencional, donde como en otras rutas de tratamiento se incluyen operaciones de pre – tratamiento en función de las condiciones de calidad del agua a tratar y el criterio de los diseñadores.

Después de pasar por la etapa previa mencionada la ruta convencional inicia con el proceso de coagulación que consiste en la adición de compuestos químicos permitiendo la desestabilización de partículas coloidales, sustancias húmicas y microorganismos que presentan una carga negativa superficial que en condiciones normales no facilita el aglutinamiento de estas partículas resistentes a la sedimentación. (Cárdenas, 2000)

La floculación básicamente permite que las partículas desestabilizadas en la fase anterior choquen entre si y se unan para formar flóculos. Para lo anterior se debe realizar una mezcla

lenta que facilite la formación de conglomerados de partículas vulnerables a la sedimentación. (Valencia, 2000)

La fase de coagulación – floculación tiene como propósito remover la turbiedad bien sea de tipo orgánico o inorgánico, ajustar el color aparente y verdadero, eliminar bacterias, virus y demás patógenos susceptibles a ser afectados por el mecanismo de coagulación, destruir parcial o totalmente algas y plancton; así como también mejorar las condiciones organolépticas del agua. (Valencia, 2000)

En la fase de sedimentación se realiza la separación de partículas sedimentables, flóculos y demás precipitados que tengan un peso específico superior al del agua aprovechando su vulnerabilidad a la fuerza de gravedad. "*Se consideran sólidos sedimentables a aquellas partículas que por su tamaño y peso sedimentan en una hora*". (Brito, 2007) Las anteriores pueden corresponder a solidos presentes normalmente en el agua o flóculos logrados a partir de procesos químicos. Para permitir la acción de sedimentación se desarrollan estructuras que reducen la velocidad del agua para que a condiciones tranquilas estas partículas logren la sedimentación. (Brito, 2007)

Por ultimo este ciclo como en cualquier otro termina con un proceso de desinfección en el cual se eliminan todos los organismos patógenos que no lograron ser removidos en las fases anteriores, adicionalmente este proceso debe tener la capacidad de mantener la calidad del agua a lo largo de las rutas de distribución. Las sustancias más comunes en esta fase son el Cloro gaseoso, Hipoclorito de Sodio, Hipoclorito de Calcio, Cloramina y Ozono, pero también recientemente es aplicable la irradiación con luz ultravioleta de baja longitud de onda. (Ascencio, 2010)

El tren de tratamiento convencional es una tecnología viable para comunidades grandes donde la fuente de abastecimiento proporcione un agua con cargas contaminantes considerablemente altas y con importantes fluctuaciones en ciertos instantes de tiempo, por lo que estos ciclos de tratamiento son considerados más robustos y complejos, requiriendo una mayor inversión desde el punto de vista de implementación, operación y mantenimiento.

La segunda alternativa corresponde a la Filtración directa en línea, la cual a grandes rasgos es una derivación del sistema convencional, esta opción se caracteriza por no incluir

dentro de sus fases la sedimentación, de esta forma después de la adición del coagulante y de una mezcla rápida, las partículas desestabilizadas son llevadas a la fase de filtración donde se adhieren con cierta facilidad al lecho filtrante puesto que ya han sido afectadas por el coagulante. (Luz Adriana Echavarría, 2001)

La tercera opción consiste en la Filtración directa con floculación donde también se elimina la etapa de sedimentación pero se permite una floculación corta que facilita la retención del conglomerado de partículas desestabilizadas al hacer contacto con el lecho filtrante. (National Academy of sciences, 2007) La presente opción también es una derivación del sistema convencional pero menos conocida que la opción 2.

Las dos opciones anteriormente mencionadas son sistemas de potabilización simplificados que son más viables desde un punto de vista económico. Estos ciclos de tratamiento pueden permitir importantes mejoras en cuanto a la calidad del agua tratada, pero son más limitados en respecto a capacidad de remoción, los mejores resultados se producen en aguas con una calidad relativamente buena, con pocas variaciones en los niveles de contaminación y una baja turbidez.

En vista que estas rutas remueven los contaminantes por medio de la filtración, estas no son aptas para aguas con altos niveles de turbidez, por lo tanto la literatura consultada sugiere que se debe manejar una turbidez no mayor a 10 UNT. (National Academy of sciences, 2007)

La última alternativa tecnológica considerada es la Filtración en Múltiples Etapas (FiME), que consiste en una combinación de varias unidades de pre-tratamiento con filtros en grava y unidades de tratamiento con filtración lenta en arena, que permiten obtener un agua apta para consumo humano sin la utilización de compuestos químicos durante el proceso. (Organización Panamericana de la Salud, 2005) Esta ruta de tratamiento permite aprovechar el potencial de la tecnología de filtración lenta por medio del acondicionamiento del agua cruda incluyendo fases previas de pre – tratamiento que permiten superar las limitaciones del filtro lento en arena.

Las operaciones de acondicionamiento que componen la ruta FiME no deben ser más complejas en términos de operación y mantenimiento que la tecnología de FLA, para de esta forma mantener la capacidad de remover contaminantes en aguas provenientes de fuentes de

abastecimiento con un bajo grado de intervención antrópica. Las operaciones de acondicionamiento consisten en diferentes modalidades de filtración que permiten ajustar las condiciones de calidad del agua facilitando la óptima operación del FLA. (GERARDO GALVIS, 1999)

Esencialmente como operaciones de tratamiento de primera línea se incluye la filtración gruesa dinámica (FGDi), este tipo de filtros se compone de un tanque que en el nivel superficial contiene una delgada capa de grava fina, la cual esta soportada sobre otra capa de mayor diámetro de partícula y que a su vez esta dispuesta sobre una capa inferior de grava gruesa de mayor longitud a la superficial y concluyendo con un sistema de drenaje de fondo, su principal función en un tren de tratamiento FiME es reducir los niveles pico de turbidez y de esta forma proteger los demás componentes de la planta que pudiesen verse afectados por un elevado transporte de partículas sólidas en algunas horas del año. Generalmente cuando en la fuente de abastecimiento se presentan altas cargas de solidos sedimentables estos son retenidos en la superficie del lecho produciendo una colmatación rápida de esta primera barrera y por ende se protegen las demás unidades dispuestas en la ruta de tratamiento. (GERARDO GALVIS, 1999) El corte isométrico de un FGDi se puede apreciar en la siguiente figura:

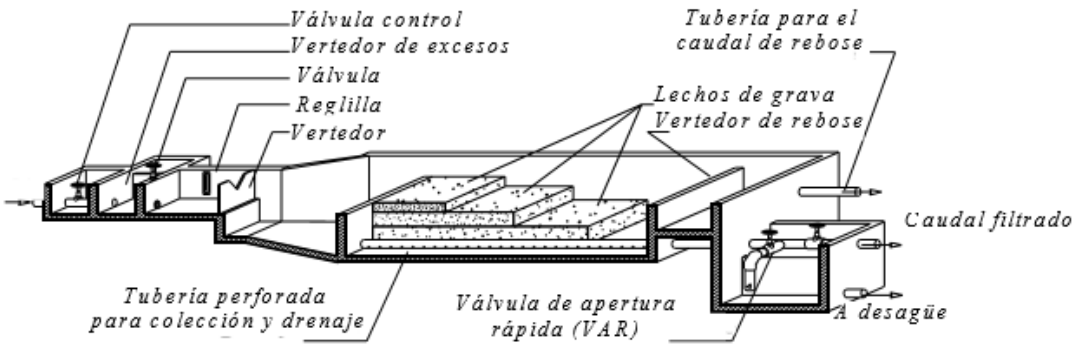


Figura 1: Vista lateral de un Filtro Grueso Dinámico, tomada de la Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas de la Organización Panamericana de la Salud.

Para el diseño del FGDi, en primer lugar la literatura consultada indica que este lecho empacado, debe componerse por tres capas las cuales deben cumplir con las siguientes sugerencias en cuanto espesor de capa y tamaño de gravas en cada una, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1

Criterios básicos de diseño sugeridos para un FGDi.

Posición en la unidad	Espesor de la capa (m)	Tamaño de grava (mm)
Superior	0,2	3 - 6
Intermedio	0,2	6 -13
Inferior o soporte	0,2	13 -25

Nota: *Criterios de diseño sugeridos para un FGDi, tomados de la serie de documentos técnicos UNESCO - Filtración en múltiples etapas tecnología innovativa para el tratamiento de agua*.

Por otra parte es importante para estos filtros manejar una Tasa de filtración de 2 a 3 m/h, dado que "*los valores de esfuerzo cortante a velocidades más altas pueden transportar el material sedimentado lo que genera disminución en la eficiencia del proceso"*, lo anterior fue determinado por medio de pruebas piloto llevadas a cabo por el CINARA (Latorre, 1994)

La segunda unidad de pre - tratamiento sugerido en la literatura especializada es la Filtración Gruesa, donde se manejan flujos verticales u horizontales en algunos casos, la efectividad de esta fase radica en que las dimensiones de los granos de grava se reducen en función de la dirección de flujo. Los Filtros de Flujo Ascendente en Capas son considerados de mayor eficiencia de remoción.

En el fondo del filtro se ubica un sistema de tuberías que distribuye el flujo de agua de una forma homogénea dentro del lecho y además en la actividades de retro lavado cumple la función de sistema de recolección para evacuar el agua utilizada en esta operación (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Con el paso del tiempo estos filtros entran en una etapa de operación optima, donde los espacios vacíos en el lecho filtrante se colmatan progresivamente con las partículas presentes en el agua, esto permite en determinado periodo de tiempo una mayor capacidad de remoción en vista de que se aumenta la capacidad de adherencia en el filtro, (GERARDO GALVIS, 1999) en el momento en que esta colmatación genera un efecto obstructivo o de generación de zonas muertas, se aplica una limpieza controlada, mediante el retro lavado que permite con relativa facilidad remover las partículas de mayor tamaño que son retenidas en el fondo de este sistema. En la imagen 2 se observa el respectivo corte isométrico de un FGAC:

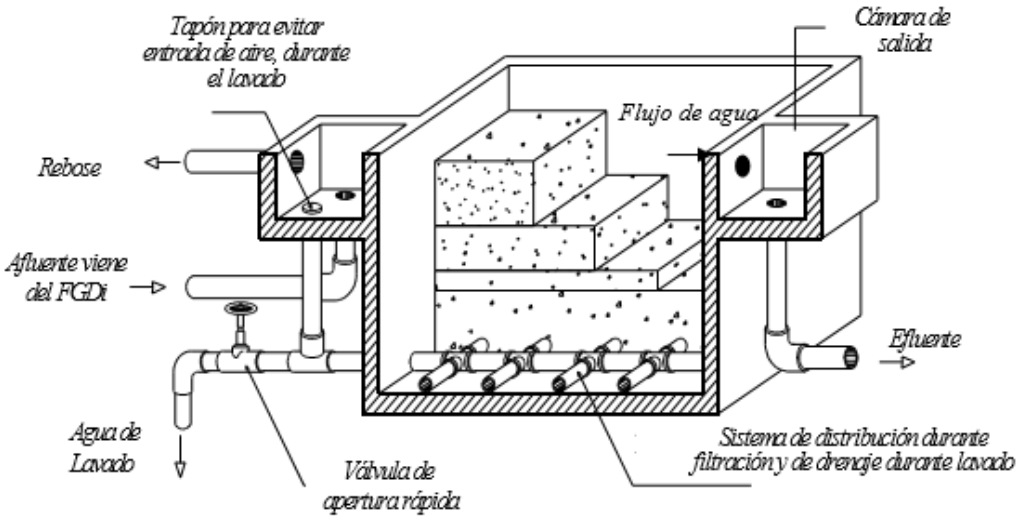


Figura 2: Vista lateral de un Filtro Grueso Ascendente en Capas, tomada de la Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas de la Organización Panamericana de la Salud.

Para el diseño del FGAC, la literatura consultada indica que este lecho empacado, debe componerse por cinco capas las cuales deben cumplir con las siguientes sugerencias en cuanto espesor de capa y tamaño de gravas en cada una, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2

Criterios básicos de diseño sugeridos para un FGAC.

Posición en la unidad	Espesor de la capa (m)	Tamaño de grava (mm)
Soporte	0,3	19 - 25
Lecho 1	0,2 – 0,3	13 - 19
Lecho 2	0,15 – 0,2	6 - 13
Lecho 3	0,15 – 0,2	3 - 6
Lecho 4	0,1 – 0,2	1,6 - 3

Nota: *Criterios de diseño sugeridos para un FGAC, tomados de la serie de documentos técnicos UNESCO - Filtración en múltiples etapas tecnología innovativa para el tratamiento de agua*.

Respecto a las tasa de filtración adecuada para estos lechos los experimentos del Instituto CINARA, sugieren una velocidad filtración de 0,3 a 0,6 m/h, donde a mayor carga contaminante en el afluente se hace más conveniente manejar una tasa de filtración inferior.

Por último si el agua a tratar no requiere más operaciones de acondicionamiento, el flujo se puede conducir a los Filtros Lentos de Arena (FLA) donde se presenta el proceso clave de purificación a lo largo del sistema FiME. En este tipo de lechos se presentan mecanismos de tipo

físico y biológico, los cuales generan un ambiente de estrés para los microorganismos patógenos, por lo que en esta fase se mejora de forma relevante la calidad del agua. Como en las unidades previas, el material en este caso arena, es dispuesto en un tanque, la capa de arena es el manto superficial y debe ir soportada por otra capa de grava. Como en la fase de acondicionamiento inicial se disponen unas tuberías perforadas que permiten recolectar el agua filtrada. (GERARDO GALVIS, 1999)

Los principios de funcionamiento básicos de este sistema se pueden describir desde la capa de agua denominada sobrenadante, que cumple con dos funciones relevantes, la primera de ellas es generar la presión necesaria para que el afluente logre infiltrar el lecho de arena, aprovechando la cabeza de presión aportada por la fuerza de gravedad, su segunda función es permitir el desarrollo de algas que en la capa sobrenadante encuentran un lugar para llevar a cabo su proceso de fotosíntesis, esta producción de biomasa genera un alimento adicional para las bacterias, que satisface la demanda de nutrientes en los periodos de déficit. El flujo continuo de nutrientes permite la supervivencia de aquellos microrganismo que aportan en la remoción de compuestos solubles. Por otra parte mantener un caudal constante en el sistema garantiza que el FLA continúe con su proceso de depuración de "*materia orgánica, organismos aeróbicos, como zooplancton y el resto de la biomasa, los cuales respiran continuamente, demandando el oxígeno proveniente del agua, de ahí la necesidad de un flujo continuo en el sistema*". (Jorge Latorre, 2007)

Un factor fundamental para la dinámica microbiológica es el desarrollo de la capa biológica denominada "*Schmutzdecke",* generada por una colmatación que puede a largo plazo generar una pérdida de carga adicional, que implique la remoción de una parte de la capa, con el fin de evitar tasas declinantes en el proceso.

Sin embargo esta capa más que ser un producto de la colmatación, es una bio - película en la que se desarrollan poblaciones de microorganismos que se alimentan de la materia orgánica soluble en el agua cruda, permitiendo mejorar los parámetros organolépticos del efluente. Este tipo de bio - membrana es en sí mismo es el inicio de la zona de actividad biológica, ya que en esencia permite la filtración mecánica para retener partículas coloidales finas, que ayudan a dar inicio a la actividad biológica.

La actividad biológica en específico presenta cuatro procesos dominantes que permiten la depuración del afluente, según Huisman y Wood (1974):

- Ambiente hostil: Las condiciones dentro de los filtros lentos por general no son adecuadas para la reproducción de bacterias intestinales, en especial por las temperaturas en los lechos filtrantes.

- Competencia por alimentos: La población de microrganismos necesita de los alimentos suficientes para mantener su metabolismo. En los procesos de oxidación durante el metabolismo consumen la materia orgánica presente en el agua. En las zonas superficiales existe competencia por los nutrientes, por otra parte en las partes más profundas del lecho los nutrientes se agotan, lo que genera la muerte de los microrganismos.

- Depredación: En la superficie del lecho abundan microorganismos depredadores que se alimentan de otros microorganismos.

- Excreción de toxinas: Se ha reportado que algunos microrganismos dadas las condiciones de interacción en el FLA, producen varias sustancias que actúan como venenos que afectan en especial a bacterias intestinales.

En conclusión sobre el funcionamiento de la FLA, varios autores consideran que estas condiciones producen la muerte o inactivación de muchos patógenos, lo que permite reducciones destacables en la población de bacterias importantes como lo es la *E. Coli*, en la calidad de agua destinada al consumo humano. (Prem Ranjan, 2018) En la siguiente ilustración se presenta el respectivo corte isométrico de un FLA:

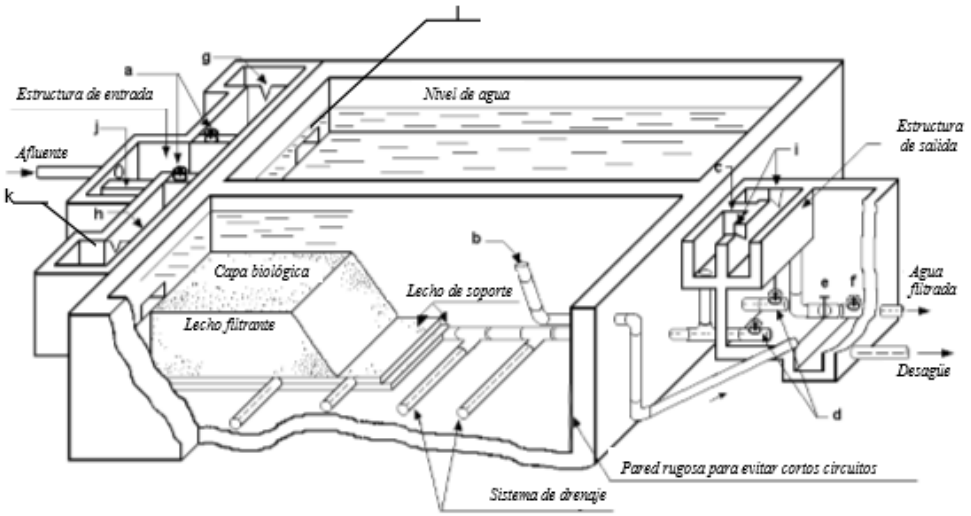


Figura 3: Vista lateral de un Filtro Lento en Arena, tomada de la Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas de la Organización Panamericana de la Salud.

Para los FLA el lecho empacado debe componerse simplemente por 2 capas, las cuales deben cumplir con las siguientes sugerencias en cuanto espesor de capa y tamaño de arena y grava en cada una, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3

Criterios básicos de diseño sugeridos para un FLA.

Posición en la unidad	Espesor de la capa (m)	Tamaño de grava (mm)
Capa Superficial de arena	0,8	0,15 – 0,3
Lecho de soporte en grava	0,25	0,25

Nota: *Criterios de diseño sugeridos para un FGAC, tomados de la serie de documentos técnicos UNESCO - Filtración en múltiples etapas tecnología innovativa para el tratamiento de agua*.

La filtración adecuada para estos lechos en los experimentos del Instituto CINARA, sugieren una velocidad filtración de 0,1 a 0,3 m/h, donde no es recomendable manejar velocidades de flujo mayores, ya que esto disminuye la confiabilidad del proceso y puede afectar la dinámica microbiológica en el lecho de arena.

Para la adecuada operación del sistema FiME es importante regular el caudal que va a fluir sobre cada una de las etapas, (Organización Panamericana de la Salud, 2005) por lo anterior es importante diseñar componentes que permitan el aforo al ingreso de cada uno de los filtros que componen el sistema. Según Gilberto Sotelo en su libro de hidráulica general, los vertederos

triangulares son una muy buena opción de aforo volumétrico para caudales menores a 30 L/s. Una ecuación adecuada para determinar la carga hidráulica en estos vertederos es propuesta por la Universidad Católica de Chile, que se da a conocer a continuación:

$$Qv = Cd \frac{8}{15} \sqrt{2 * g} \tan \frac{\emptyset}{2} h^{5/2}$$

Ecuación 17: Ecuación propuesta por la Universidad Católica de Chile, para determinar caudal en vertederos triangulares.

Donde:

Qv= Caudal en el vertedero (m^3 /s).

g= Gravedad.

$\emptyset =$ Abertura del vertedero en grados.

h= Carga hidráulica del vertedero (m)

Cd= Coeficiente de descarga del vertedero.

Para caudales entre 2 a 5 L/s se sugieren ángulo de apertura en el vertedero de 30 grados, en estudios experimentales para obras hidráulicas se sugiere adoptar para estos ángulos un coeficiente de descarga de 0,72. (Carlos Facundo, 2016)

Con el cálculo del vertedero triangular, es importante tener en cuenta que este, debe ser antecedido por un canal rectangular que permita estabilizar el flujo, como criterio de diseño importante se debe garantizar que la longitud del canal sea por lo menos 10 veces la carga hidráulica en el vertedero.

El vertedero triangular como cualquier otro, puede ser afectado por excesos de caudal, por lo que es importante disponer de vertederos rectangulares de cresta delgada, que permitan evacuar excesos y mantener el aforo adecuado para la operación del sistema. Para estimar el borde libre del canal rectangular y del propio vertedero triangular, es importante estimar la altura de la lámina de agua sobre la cresta de rebose del vertedero de excesos, esta altura de lámina puede ser estimada aplicando:

$$H= \frac{Q}{1,84*B}^{\frac{2}{3}}$$

Ecuación 18: Lámina de agua sobre el vertedero rectangular.

Donde:

H= Altura de la lámina de agua.
Q= Caudal adoptado de excesos.
B= Ancho del Vertedero.

Teniendo en cuenta que el sistema requiere de un flujo continuo a condiciones tranquilas, Gerardo Galvis sugiere dimensionar las estructuras de disipación de energía que sean necesarias para evitar condiciones de operación desfavorables, como lo puede ser una velocidad de ingreso muy alta a cada uno de los lechos, que en la mayoría de los casos puede generar el arrastre de materiales o cambios en la porosidad del lecho, que son condiciones indeseadas.

En lo que concierne al dimensionamiento de cada uno de los filtros la metodología aplicada para cada uno es la misma, donde el área superficial, es función del Caudal de diseño y de la tasa de filtración que corresponda a cada tipo de filtro. El área de filtración se puede estimar aplicando:

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

Ecuación 19: Estimación de área superficial en los filtros.

Donde:
As= Área superficial del filtro.
Q= Caudal de diseño.
Tf= Tasa de filtración.

Posteriormente con el fin de determinar el largo de cada uno de los filtros, se establece una relación entre el área superficial y un ancho adoptado para cada filtro, donde esta relación es dada por la siguiente expresión:

$$L = \frac{As}{b}$$

Ecuación 20: Estimación de la longitud de los filtros.

Donde:
L= Longitud.
As= Área superficial.
b = Ancho adoptado.

Considerando que para labores de mantenimiento no es viable la interrupción del suministro de agua a la comunidad, los diseñadores deben optar por construir duplicados de cada uno de los filtros diseñados, para de esta forma poder garantizar la continuidad del servicio. Cada una de las dos unidades, con base a lo anterior, debe operar a media marcha y en el momento de realizar mantenimiento a alguna de las líneas de tratamiento, el caudal total será direccionado sobre una sola de estas.

Para otra parte en el sistema FiME es importante evaluar la caída de presión que se presentara en cada uno de los lechos empacados dispuestos para la ruta de tratamiento, ya que la grava o arena dificultaran el paso del fluido, las partículas empacadas no son desplazadas por el flujo, por lo que la porosidad en el lecho debe mantenerse constante. La estimación de esta caída de presión como se mencionó está asociada a la resistencia por parte de los lechos limpios, por lo que las pérdidas de presión generadas por la capa "*Schmutzdecke"* no pueden ser estimadas desde la fase de diseño.

En los lechos empacados se utilizan velocidades de flujo bajas por lo tanto no se generan condiciones de arrastre que generen cambios en la porosidad del lecho. En sistemas de flujo

descendente o ascendente, los fluidos a baja tasa de filtración pierden presión, (ITM, 2015) estas pérdidas de presión son definidas por medio de la ecuación de Ergún:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 * Vo * \mu}{\emptyset^2 * D_p^2} * \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} + \frac{1{,}75 * \rho * Vo^2}{\emptyset * Dp} * \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3}$$

Ecuación 21: Ecuación de Ergún para determinar caídas de presión en lechos empacados.

Donde:

ΔP= Perdida de carga en m.

L= Longitud del lecho filtrante.

μ = Viscosidad del agua.

ρ = Densidad del agua.

ε = Porosidad.

Dp= Diámetro de la partícula.

∅ = Coeficiente de esfericidad.

Vo= Velocidad del fluido

El flujo del agua a través de los medios porosos genera una resistencia producto del rozamiento generado por dos tipos de fuerzas, una de rozamiento viscoso y otra de fuerza inercial, la evaluación de estas dinámicas debe cumplir en primer lugar con el hecho de que todas las partículas estén dispuestas al azar en el lecho o capa, las partículas en el tramo a evaluar deben tener aproximadamente el mismo diámetro y las fricciones en la pared deben ser despreciables. (ITM, 2015)

La ecuación de Ergún expuesta en la Ecuación 12, es una representación del flujo viscoso por medio de la ecuación de Kozeny – Carman y la representación de la fuerza inercial en el flujo turbulento representada por la ecuación de Burke – Plummer. Las caídas de presión en lechos empacados son un criterio importante sobre las condiciones de operación del sistema.

(ITM, 2015) La dominancia de cada flujo será determinada por medio del número de Reynolds de las partículas, determinadas por la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Re_p = \frac{Dp * Vo * \rho}{\mu}$$

Ecuación 22: Cálculo de Reynolds para determinar dominancia de flujo en el lecho.

Donde:

Re_p= Reynolds de la partícula.

Dp= Diámetro de la partícula.

Vo= Velocidad del fluido.

ρ = Densidad del agua.

μ = Viscosidad del agua.

Para asegurar la recolección del agua filtrada en los FGDi y en los FLA, así como la distribución y retro lavado en el FGAC, es importante que la tubería dispuesta en la base de cada uno de los filtros sea distribuida de una forma homogénea, además es importante que el diámetro de la tubería este en función de una velocidad criterio, lo suficientemente alta como para permitir labores de lavado.

Por último es importante acotar que la alternativa de tratamiento FiME, es una forma sencilla y de baja complejidad, para garantizar efluentes de agua apta para consumo humano, pero con la limitante que la fuente de abastecimiento debe proporcionar un agua con una calidad relativamente buena en vista que esta es una de las principales limitantes de este sistema. En términos económicos relacionados a los aspectos de implementación, operación y mantenimiento, esta alternativa presenta sus mayores ventajas frente a casos donde la población a beneficiar presenta un escaso crecimiento demográfico y sus alcances socio - económicos son muy limitados. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Como último fundamento teórico la cámara de desinfección debe ser dimensionada en función del caudal de diseño y el tiempo de retención mínimo reglamentado en el parágrafo 2, del Artículo 121 de la Resolución 0330 de 2017. Por otra parte es necesario estimar la dosis óptima de Cloro que permita definir el caudal de la bomba dosificadora de desinfectante. (Ricardo Alfredo López Cualla, 2003) Con esta última etapa se garantiza que el efluente del sistema diseñado sea apto para el consumo humano y que además cuente con la dosis de cloro residual necesaria para proteger la calidad del agua suministrada por medio de red de distribución.

MARCO CONCEPTUAL

Un sistema de potabilización se define como una serie de procesos, equipos, obras, materiales y personal; que permiten que un agua cruda, (MVCT, 2017) pueda mejorar sus condiciones físico - químicas y microbiológicas para ser distribuida cumpliendo con todos los parámetros de calidad en el marco legal que corresponda.

El agua cruda es toda agua en estado natural o expuesta a distintos grados de contaminación, que no ha paso por ningún proceso de potabilización, por lo tanto, esta no es apta para el consumo humano. (MVCT, 2003)

Los parámetros de calidad en el agua se pueden definir en tres grandes grupos, el primero son los de tipo físico que pueden estar asociados a pruebas como las de sólidos suspendidos, turbiedad, color, olor, sabor y temperatura, parámetros aparentemente cualitativos que son estandarizados por medio de ensayos de laboratorio y permiten caracterizar el agua de forma cuantitativa y contrastable con criterios de calidad preestablecidos. (Irene Campos Gómez, 2000)

El segundo grupo de parámetros de calidad son los químicos relacionados a la facultad de “solvente universal” del agua, lo que hace que estos parámetros sean un poco más complejos de determinar. Los ensayos más destacados en este grupo son la alcalinidad, dureza, metales, sustancias orgánicas y nutrientes. (Irene Campos Gómez, 2000)

Por último en el grupo de parámetros de calidad microbiológicos se han desarrollado ensayos para establecer la presencia, número o ausencia de ciertas especies de microorganismos que pueden indicar la calidad de la fuente de abastecimiento en estudio. Como indicadores de calidad en agua para consumo humano es fundamental determinar la presencia o población de organismos patógenos que pueden transmitir enfermedades o infecciones a los seres humanos. (Irene Campos Gómez, 2000)

Independientemente del tipo de sistema a diseñar y de las tecnologías implícitas en cada caso, se deben llevar a cabo una serie de actividades preliminares, que permiten dimensionar la magnitud y características del proyecto.

El diseñador debe estudiar las características poblacionales de la comunidad a abastecer, por ello debe tener un registro de los Censos realizados a la misma, en distintas fechas, junto con un registro de las actividades económicas e institucionales, que se lleven a cabo dentro de la comunidad, esto permitirá determinar el grado de complejidad del sistema a plantear. (Ricardo Alfredo López Cualla, 2003)

Es importante aclarar varios conceptos fundamentales, en primer lugar el periodo de diseño se entiende como la cantidad de años, en los cuales una obra debe operar con eficiencia. Por otro parte la población de diseño, se refiere a la estimación del número de habitantes para los cuales se ha de diseñar un sistema de potabilización, tomando en cuenta la respectiva proyección del comportamiento demográfico, para determinado periodo de tiempo. Entre tanto el consumo total de agua es una variable fundamental, para establecer el caudal de diseño, esto se logra estableciendo la dotación neta de agua, requerida por una persona. (MAVDT, 2003)

El caudal de diseño es el cálculo del volumen para el cual se van a diseñar los equipos, componentes y estructuras involucradas. Antes de definir los respectivos componentes del sistema de potabilización, los diseñadores deben tener muy claras las características físicas, químicas, microbiológicos definidas anteriormente y demás particularidades del agua a tratar,

esto para definir de una forma coherente los procesos que debe llevar el sistema, garantizando la calidad y costo mínimo del mismo. (MVCT, 2017)

Los sistemas de potabilización pueden tener una ruta de tratamiento de tipo convencional u otro tipo de rutas conformadas por tecnologías de tratamiento innovadoras, que fueron descritas detalladamente en el marco teórico.

De forma específica la tecnología FiME, sobre la cual se enfocó el trabajo de diseño desarrollado en el presente proyecto, es una combinación de distintos tipos de filtración, donde el proceso de purificación clave es la FLA, que es una tecnología que combina operaciones físicas y procesos bilógicos, que interactúan de forma compleja. (GERARDO GALVIS, 1999)

La FLA es un proceso técnicamente sencillo, eficiente y confiable, que a consideración de muchos especialistas no es superado unitariamente por ningún otro proceso de purificación. Pero a pesar de este potencial la tecnología por sí sola, no puede ofrecer un efluente apto para el consumo humano, en vista de que presenta dos limitaciones importantes, la primera de estas es que unos niveles elevados de turbidez en el afluente, pueden generar colmataciones prematuras en el filtro lo que directamente genera un efluente inadecuado para los procesos de cloración, (Jorge Latorre, 2007) aumentando el riesgo de generar subproductos peligrosos como Trihalometanos y Organohalogenados, que pueden aumentar el riesgo cáncer en los consumidores.

La segunda limitación es la necesidad de mantener un flujo continuo de agua, ya que la dinámica bilógica en el lecho filtrante requiere de un abastecimiento ininterrumpido de oxígeno y nutrientes básicos para garantizar el crecimiento poblacional de los microrganismo benéficos, adicionalmente este proceso se puede ver afectado por bajas temperaturas en el lugar. (Jorge Latorre, 2007)

Por lo anterior la tecnología FiME permitió superar en gran medida estas limitaciones técnicas de la FLA, logrando una nueva ruta de tratamiento, que conserva la eficiencia y

sencillez de operación de los filtros lentos, lo que permite que el sistema sea fácil de operar y mantener por personal de las comunidades rurales. (GERARDO GALVIS, 1999)

El proceso de diseño de esta ruta de tratamiento requiere la aclaración de varios conceptos claves, que permiten dimensionar y establecer varias condiciones de operación en cada uno de los componentes del sistema.

En primera instancia la tasa de filtración, es la velocidad con la cual el flujo de agua va a fluir a través de cada uno de los lechos de filtración, la tasa está directamente relacionada a la eficiencia de remoción, donde a mayor velocidad la eficiencia de remoción puede disminuir.

Otra variable influyente en términos de operación de los filtros es la caída de presión, donde se evalúa la resistencia de un flujo en este caso agua, a fluir a través de un lecho poroso, cuando la suma de estas pérdidas de cargas, desde la superficie del filtro hasta el fondo del mismo, es superior a la profundidad del agua en la zona evaluada, se obtiene una pérdida de carga negativa, la principal problemática de esto es el riesgo de la formación de bolsas de aire en la zona de presión negativa, estas bolsas son producidas por gases disueltos que se escapan del agua y reducen la efectividad del área filtrante.

Por otra parte algunos conceptos asociados al material que compone un filtro son importantes a la hora de reconocer su funcionamiento, uno de ellos es el coeficiente de esfericidad que aplicado a una partícula define el factor de semejanza a la geometría de una esfera, en muchos casos se asume un coeficiente para una geometría esférica, sin embargo no todos los materiales poseen esta geometría por ello es necesario realizar la corrección respectiva de acuerdo a la deformación que presente la partícula, a su vez la porosidad se refiere al porcentaje de espacios vacíos que se encuentran entre esas partículas, siendo este porcentaje función del volumen total del filtro, que se encuentra dispuesto en un lecho empacado.

Adicionalmente el dimensionamiento de vertederos con el fin de medir y controlar el flujo de agua es de suma importancia para mantener registros del caudal que está ingresando a la planta y mantener un funcionamiento óptimo, los más comunes son los de pared delgada que

permiten que el agua fluya libremente ya que los bordes se construyen relativamente delgados, disminuyendo así la perdida de carga, los vertederos más usados son los de abertura rectangular y triangular, estos últimos ideales para medir caudales menores a 6 L/s, el flujo a través de estos vertederos se impulsa a través de la gravedad .

Para concluir con la ruta se aplica el proceso de desinfección que se puede definir como la eliminación o desactivación de microorganismos patógenos, bloqueando el crecimiento o reproducción de microorganismos patógenos que puedan causar enfermedades en los consumidores. (Lenntech , 2018)

MARCO LEGAL

Tomando en cuenta las características del proyecto junto con las disposiciones legales que competen al sector de acueductos y alcantarillados en Colombia, se prestara especial atención a los siguientes términos:

En primer lugar se seguirá lo dictado en la Constitución política de Colombia, donde el artículo 366, habla sobre la obligación del estado para mejorar la calidad de vida, por medio de la solución de problemas relacionados con el saneamiento básico y la potabilización de aguas. Por su parte el artículo 367, hace referencia a las respectivas labores de las empresas prestadoras de los servicios públicos, que aunque no tiene una relación directa al proyecto es importante mencionar. Por otra parte el artículo 370, donde se habla sobre la responsabilidad del estado, de vigilar las buenas prácticas de las empresas prestadoras de servicios públicos.

En otro contexto, es fundamental considerar que el decreto 1575 de 2007, establece lo referente sobre el control y protección de la calidad del agua para consumo y la Resolución 2115 de 2007 indica los parámetros y condiciones que debe tener el agua, para ser considerada apta para el consumo humano. Por su parte el decreto 3930 de 2010, establece los usos permitidos para el agua y otras disposiciones. Se debe tomar en consideración la ley 373 de 1997, donde se hace claro énfasis en el ahorro del agua y su uso eficiente. El decreto 155 de 2004, importante en este sector por reglamentar las tasas por utilización del recurso hídrico. Entre tanto el decreto 4742 de 2005, hace también hincapié en el tema tarifario, siendo de importancia para las

empresas prestadoras de estos servicios; la resolución 240 de 2004, con lo indicado para el cálculo de la depreciación del recurso y las tarifas mínimas por consumo de aguas. La ley 9 de 1979 de importancia en temas del sector sanitario. Por otra parte es de mucha importancia lo estipulado en la resolución 0330, ya que este reglamento técnico es la norma principal de la nación, para los proyectos pertenecientes al sector de acueductos y alcantarillados.

Para este proyecto también es importante tomar en cuenta consideraciones sobre los servicios públicos, que es un sector muy relacionado con el tema de sistemas de acueducto. Por ello la ley 142 de 1994, estableció un régimen de servicios públicos, junto con otras disposiciones del sector. En otro estamento la ley 99 de 1993, por medio de la cual surgió el ministerio de medio ambiente y se promulgo un mayor esfuerzo para el saneamiento básico, como herramienta para un manejo ambiental responsable. Y la resolución 2320 de 2009, que modifico de manera parcial la resolución que dio origen al reglamento técnico Colombiano.

A nivel local, dentro del municipio de la Vega, es importante indagar lo establecido por el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio, para no ir en contra de las disposiciones establecidas para el área de estudio. También se debe analizar el plan de desarrollo municipal para no interferir desde ningún punto de vista en otros proyectos o interés del municipio. Por último se debe hacer revisión del plan de manejo integral de la cuchilla del Chuscal, dirigido por la Car, ya que este proyecto busca proteger esta zona de alta riqueza hídrica, y el diseño debe estar acorde a lo permitido por esta corporación autónoma.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Ubicación

El centro poblado El Vino se encuentra ubicado a 30,9 Km de Bogotá D.C, desde el sitio conocido como el Puente de Guadua (sobre el rio Bogotá). Se puede acceder a este lugar por la Ruta de Bogotá – Vía calle 80 – Cruce de El Rosal – Alto del Vino – Centro poblado El Vino; tramo vial correspondiente a la ruta Nacional 50.

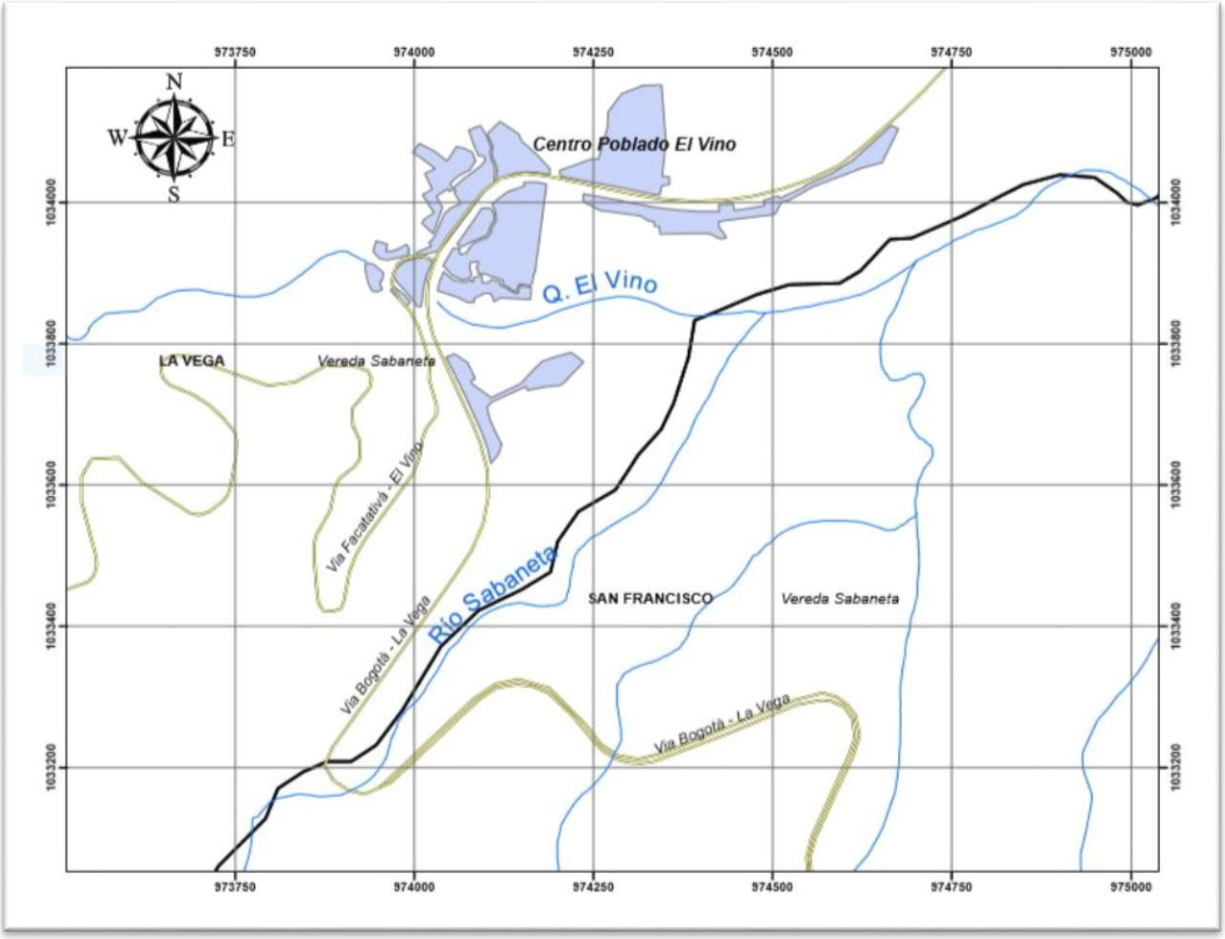
El área de estudio se encuentra localizada en el extremo sur del municipio de la Vega Cundinamarca a una altitud de 2.550 msnm, este centro poblado limita al norte con la vereda

Sabaneta y al sur con la vereda el Dintel. Como se observa en las figuras 4 y 5 la población mencionada es un pequeño conglomerado de viviendas reconocido como inspección, que desde una descripción geo litológica se encuentra en el costado oeste de la cordillera oriental, en una estribación montañosa denominada regionalmente como la Cuchilla el Chuscal.

Figura 4: Centro Poblado El Vino. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

Figura 5: Centro Poblado El Vino. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

Según el sistema de coordenadas geográficas WGS 84 el centro poblado se encuentra en la coordenadas 74°18'40,666"W 4°54'12,017"N. A continuación se anexa la respectiva cartografía del área estudio en el Mapa 1:



Mapa 1: Cartografía del área de estudio (Inspección El Vino). **Fuente:** Elaboración Bello – Gómez, utilizando metadatos provenientes del Geo portal del DANE.

Población objeto de estudio

La población directamente afectada por el desarrollo del presente proyecto corresponde a las personas que habitan el centro poblado o también denominado localmente como inspección del Vino. Además es importante tener en cuenta que las veredas colindantes Sabaneta y Dintel, también cuentan con un porcentaje de población que se puede ver afectada parcialmente por el proyecto.

Según datos consultados en la secretaria de desarrollo social del municipio de La Vega, la población en el centro poblado para el año 2015 correspondía a un aproximado de 527 habitantes, el dato mencionado proviene de la base de datos del SISBÉN. La población de esta inspección según la misma fuente pertenece mayoritariamente a los estratos 1 y 2. (SISBÉN, 2015)

En términos de vivienda, el documento del Distrito de Manejo Integrado- Cuchilla el Chuscal describe que una gran parte de estas viviendas tienen condiciones precarias, en relación a la ausencia o insuficiencia de los sistemas de acueducto y alcantarillado en la región. (Corporación Autonoma Regional, 2014) Además la situación llega a ser preocupante desde un punto de vista administrativo, ya que la zona se clasifica como de abastecimiento y regulación hídrica para la mayor parte del municipio de La Vega.

La educación básica por su parte está cubierta por el sistema público a través de varias escuelas rurales y el Colegio El Vino ubicado en el centro poblado del mismo nombre. (Corporación Autonoma Regional, 2014) Según datos consultados la mayor parte de la comunidad curso la básica secundaria y otro porcentaje importante apenas logro cursar la básica primaria.

En cuanto a la cobertura rural en servicios públicos, como acueducto, el municipio de La Vega presenta una importante problemática, ya que a pesar de contar con importantes fuentes hídricas como el propio DMI Cuchilla el Chuscal; las redes de acueducto y sistemas disponibles en la zona de estudio no son óptimos, ni cumplen con todas la disposiciones legales y por lo tanto no generan un agua apta para consumo humano. (Corporación Autonoma Regional, 2014)

El centro poblado el Vino cuenta con un acueducto de tipo veredal que se abastece del Río Sabaneta, localmente la organización comunitaria que se encarga de su operación es ACUELVINO. Como es conocido en este centro poblado se brinda un suministro de aguas crudas a la población; debido a que no se cuenta con una planta de potabilización de aguas y según las fuentes consultadas en planeación municipal, no se tiene aún planificado el diseño y puesta en marcha de algún sistema que cumpla con estas funciones.

Como información adicional sobre el presente acueducto, el presidente de ACUELVINO dio a conocer que la organización comunal de aguas de este centro poblado, realiza un cobro de

forma bimensual, por un monto fijo de $10.000 pesos colombianos, que son invertidos en los salarios de los dos fontaneros disponibles y en algunas labores de mantenimiento del sistema de suministro con el que se cuenta. Por otra parte la organización también indica que no existe una zona de bosque protector para el cauce y que de forma esporádica se pueden presentar vertimientos a la fuente de abastecimiento a causa del proceso natural de escorrentía propio de una zona con este tipo de condiciones topográficas.

Actividades productivas en el área de estudio

Con base a las visitas realizadas al área de estudio junto con la información consultada en los documentos de la Corporación Autónoma de Cundinamarca, se tiene conocimiento que en relación a las condiciones climatológicas, predomina la ganadería extensiva, en menor dimensión los cultivos transitorios, el aprovechamiento de madera y en las zonas pertenecientes a las Veredas Dintel y Sabaneta hay una importante actividad con ganado bovino de una forma intensiva y semi – intensiva; todo lo anterior respecto a la zona rural. Entre tanto para el área urbana se presenta una apreciable actividad comercial favorecida por el cruce de la Ruta que conduce de Bogotá al municipio de la Vega.

La actividad de tipo industrial es prácticamente inexistente en la zona, de igual forma no se presentan las condiciones propicias para que se presente un desarrollo de este sector productivo en el corto plazo.

Hidrografía

El área en estudio pertenece a la subcuenta del Río Sabaneta el cual se observa en la figura 6, que a su vez pertenece a la cuenca del Río Negro, la subcuenta mencionada cuenta con varios tributarios importantes entre ellos la Quebrada el Vino la cual abastece al Río Sabaneta en el costado suroriental de la cuenca en estudio. (CAR, 2014)

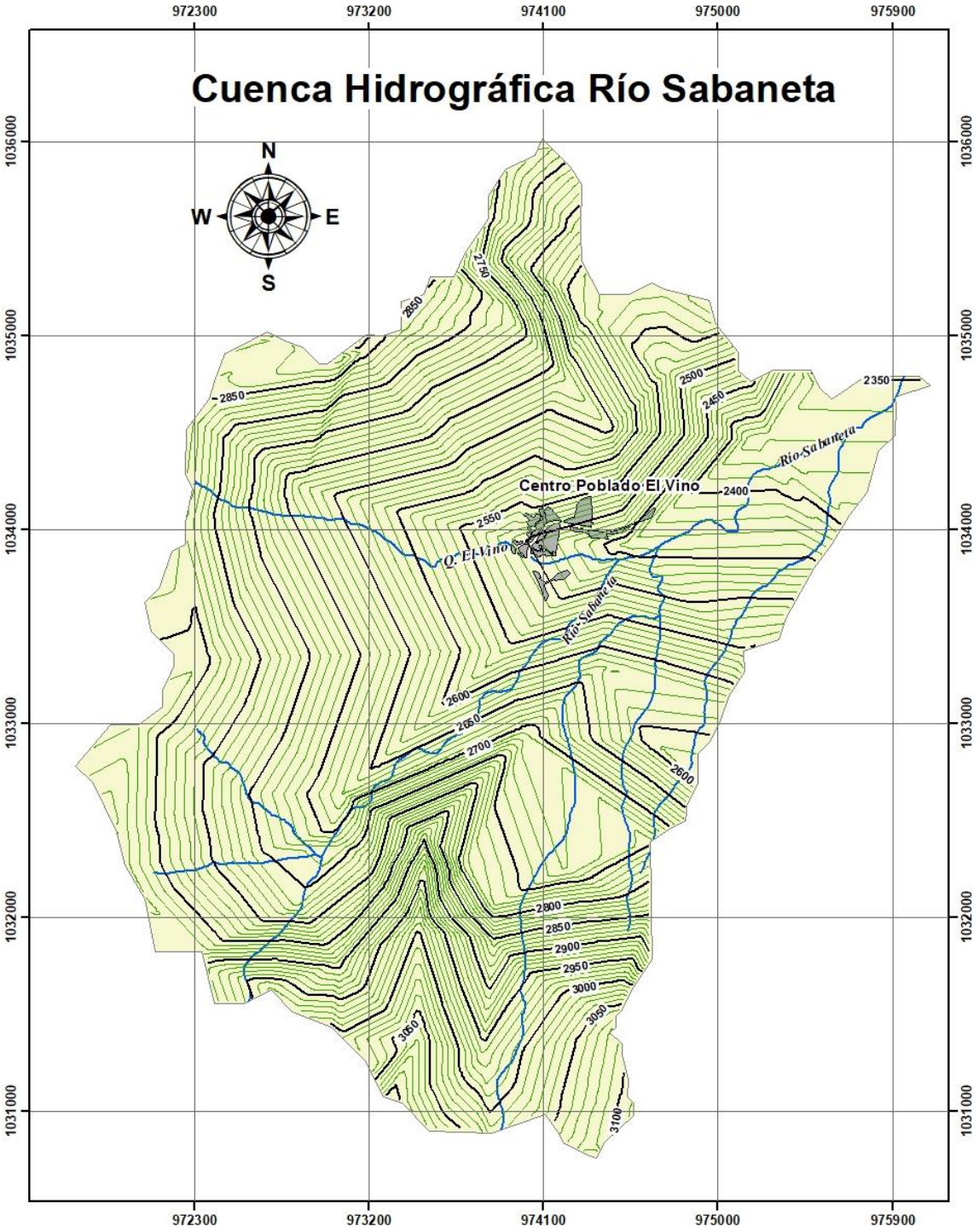
Figura 6: Río Sabaneta, en su cuenca alta, metros antes de pasar por la Bocatoma de Fondo.
Fuente: *Autores del proyecto.*

Esta cuenca es importante para el municipio de la Vega, ya que abastece principalmente al centro poblado El Vino, además aporta un caudal relevante de aguas para otros acueductos cercanos. Por otra parte pertenece parcialmente a la zona de recarga hídrica de la cuchilla el Chuscal.

El cauce del Río Sabaneta forma parte del límite entre los municipios de la Vega y San Francisco. Este Río es la fuente hídrica principal siendo abastecido por abundantes nacimientos de agua algunos de ellos sin registrar, pero los caudales aportados se ven afectados debido a que, "*más del 90% de estas fuentes no cuentan con protección vegetal, por lo cual es urgente establecer un proyecto de reforestación y/o restauración ecológica con fines de protección y conservación*". (CAR, 2014)

Entre los usos más importantes que se les da a las aguas de esta cuenca está el abastecimiento a varios acueductos como ya se mencionó, el aprovechamiento para la ganadería y en menor grado el uso para piscicultura en un punto específico del cauce. (CAR, 2014)

Para tener una información más precisa de la cuenca se realizó una delimitación básica de esta, donde aplicando herramientas de hidrología del software ArcGis 10.6.1, se identificaron los cauces principales, además de que se calculó un área total para esta cuenca de 12,05 Km^2; el polígono obtenido con base a la imagen Raster utilizada y la esquematización de los drenajes encontrados se observa en el siguiente mapa:



Mapa 2: Delimitación de la Cuenca del Río Sabaneta **Fuente:** Elaboración Bello – Gómez, utilizando imagen tipo Raster del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), obtenida por medio de la plataforma Earth Explorer.

Clima

Según el IDEAM el clima corresponde a las condiciones cambiantes de la atmosfera, donde cada evento sucede en un lugar y periodo de tiempo determinados. Este comportamiento es regido por variables determinantes y elementos del sistema clima como lo pueden ser la atmósfera, hidrosfera, litosfera, biosfera etc.

Una descripción climática está asociada a la dinámica de aquellas condiciones atmosféricas que han predominado en una región por periodos de tiempo cronológicamente representativos, los componentes más importantes al momento de conocer el comportamiento del clima son la temperatura y la precipitación. (IDEAM, 2014)

Temperatura

Tomando como referencia los datos obtenidos del mapa de distribución de la temperatura media anual (ºC), para el periodo de tiempo 1981- 2010. Se determinó que según esta cartografía el promedio multianual para la zona en estudio oscila en un rango de 12 a 16 ºC. (Herrera, 2014) Adicionalmente esta zona pertenece a un área climatológicamente estable por lo que para el caso la temperatura no es un aspecto que afecte las condiciones de estado de la zona. (CAR, 2014)

Precipitación

Según el DMI Cuchilla el Chuscal las condiciones topográficas de la zona permiten la circulación de varias corrientes de viento que producen precipitaciones orográficas en dirección al municipio de Albán, favoreciendo la generación de mayores lluvias en la estribación montañosa de la Cuchilla el Chuscal. (CAR, 2014)

Conforme a los datos obtenidos de los boletines informativos sobre la precipitación anual multianual del periodo 1981 – 2010 se determinó un promedio mensual de las precipitaciones expresadas en milímetros, donde se estableció que la precipitación promedio mensual en la zona

es de 116,7 mm y la precipitación anual promedio es de 1.400 mm aproximadamente. (IDEAM, 2018) Los demás datos multianuales mensuales se observan a continuación:

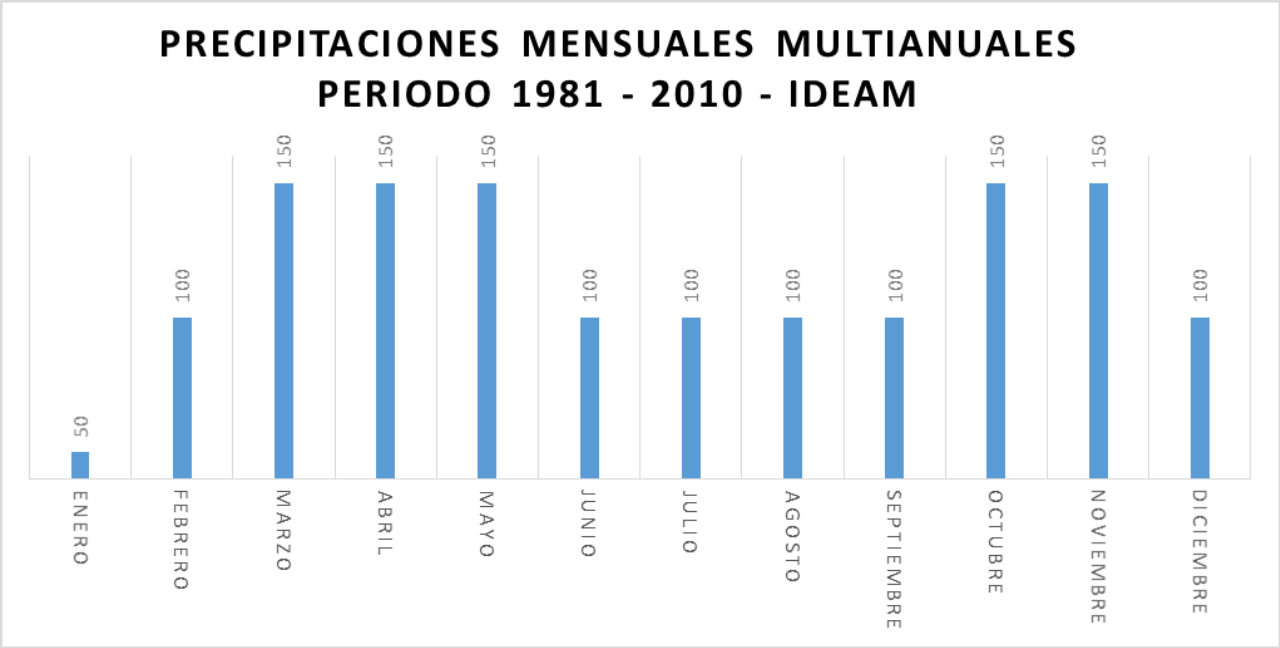


Figura 7: Representación gráfica de los datos de precipitación obtenidos de la cartografía del IDEAM. **Fuente:** Elaboración Bello – Gómez.

Como se observa en la gráfica anterior el área de estudio presenta una dinámica bimodal donde se cuenta con periodos de mayor precipitación, primero en los meses de Marzo, Abril y Mayo. Luego se presenta un segundo periodo de altas precipitaciones en los meses de octubre y noviembre.

Por otra parte se presentan dos periodos correspondientes a un comportamiento de estiaje uno corresponde a los meses de Diciembre, Enero y Febrero. Y un segundo periodo a la mitad del año en los meses de junio, Julio y agosto.

Por ultimo según estudios de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca sobre los datos hidro-meteorológicos consultados para el análisis climático del DMI Cuchilla el Chuscal a estaciones de clase climatológica ordinaria, principal y pluviométrica. Se determinó que en la estación más cercana al área de estudio la cual es Estación Sabaneta se registran los reportes de precipitación más altos de la región colindante al DMI. (CAR, 2014)

Zonas de Vida

Las zonas de vida corresponden a la clasificación diseñada por el estadounidense Leslie Holdridge, donde diferentes áreas del planeta pueden ser agrupadas, según el tipo de asociaciones vegetales presentes o en función de divisiones climatológicas determinadas generalmente por las variables temperatura y precipitación. Además para la identificación de estas zonas se pueden tomar como referencia otros factores importantes como la evapotranspiración y la altitud. (Linares, 2019)

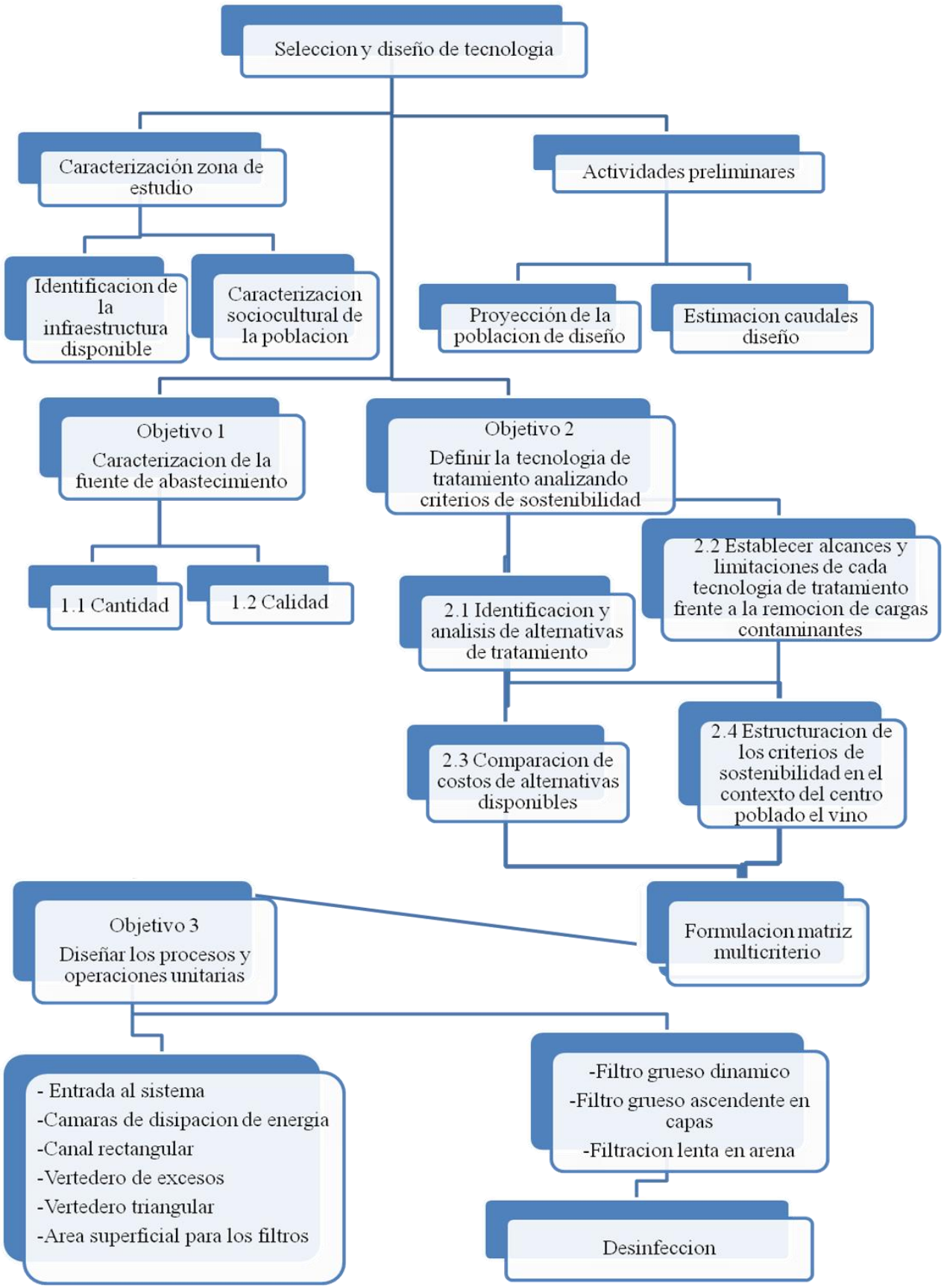
Según el documento zonas de vida o formaciones vegetales de la jurisdicción Car, el área de estudio presenta las condiciones que corresponden al bosque húmedo montano bajo, en vista de que estas zonas de vida se presentan en limites climáticos con bio-temperaturas entre los 12 y 18 ºC. También se cumple con la cantidad de precipitaciones características de esta zona de vida, las cuales deben oscilar entre los 1.000 a 2.000 mm. En cuanto a la altitud el Centro poblado El Vino se encuentra a 2.550 msnm y el Bh-MB se presenta en un rango altitudinal de 2.000 a 3.000 msnm. (Gonzalez, 1996)

Por otra parte según la fuente consultada estas zonas de vida cuentan con la presencia de especies vegetales representativas como lo son el aliso, chilco, trompeto, alcaparro, cedro arrayán y roble solo por mencionar algunos.

Para terminar estas zonas de vida se caracterizan por brindar condiciones de vida estables y contar con suelos de buena fertilidad. La infiltración bajo este régimen climático es baja así como también lo es el escurrimiento, aunque este último se puede ver favorecido por las condiciones topográficas. (Gonzalez, 1996)

METODOLOGÍA

Con el fin de desarrollar el presente proyecto, la metodología se dividió en 3 grandes fases, en la primera de ellas se realizó, una caracterización de la zona de estudio, en la segunda fase se realizaron todas la actividades preliminares que permiten el desarrollo de la tercera fase, donde se procedió a dar cumplimiento a cada uno de los objetivos trazados:


Seleccion y diseño de tecnologia
Caracterización zona de estudio
Actividades preliminares
Identificacion de la infraestructura disponible
Caracterizacion sociocultural de la poblacion
Proyección de la poblacion de diseño
Estimacion caudales diseño
Objetivo 1
Caracterizacion de la fuente de abastecimiento
Objetivo 2
Definir la tecnologia de tratamiento analizando criterios de sostenibilidad
1.1 Cantidad
1.2 Calidad
2.1 Identificacion y analisis de alternativas de tratamiento
2.2 Establecer alcances y limitaciones de cada tecnologia de tratamiento frente a la remocion de cargas contaminantes
2.3 Comparacion de costos de alternativas disponibles
2.4 Estructuracion de los criterios de sostenibilidad en el contexto del centro poblado el vino
Objetivo 3
Diseñar los procesos y operaciones unitarias
Formulacion matriz multicriterio
- Entrada al sistema
-Camaras de disipacion de energia
-Canal rectangular
-Vertedero de excesos
-Vertedero triangular
-Area superficial para los filtros
-Filtro grueso dinamico
-Filtro grueso ascendente en capas
-Filtracion lenta en arena
Desinfeccion

Caracterización de la zona de estudio

Identificación de la infraestructura disponible.

Con el fin reconocer las condiciones generales de cada uno de los componentes que hacen parte del sistema de suministro de agua del Centro Poblado El Vino, se realizó una visita en la cual, se recorrió el sistema mencionado, desde el final de la línea de conducción hasta el punto de captación, en la cuenca alta del Río Sabaneta. Por medio de lo anterior, se tomaron registros fotográficos, que permitieron realizar una descripción general de la infraestructura disponible.

Caracterización Socio – Cultural de la Población.

La presente caracterización de la población se efectuó con la aplicación de un formato de encuesta, que permitió conocer aspectos importantes de la Comunidad, el propósito de esta actividad es recopilar la información necesaria para establecer los Criterios de Sostenibilidad en función de la comunidad en estudio.

Actividades preliminares

Proyección de la población de diseño.

En primer lugar se consultaron las bases de datos de información demográfica del DANE y del SISBÉN, con el fin de obtener resultados de Censos realizados a la comunidad en estudio, los cuales fueron necesarios para poder aplicar adecuadamente los métodos estadísticos de proyección poblacional que permitieron describir la dinámica poblacional futura de la comunidad estudiada. De los métodos estadísticos descritos en el marco teórico se descartó la aplicación del método gráfico, debido a que se obtuvieron datos confiables provenientes del SISBÉN, por otra parte los cuatro métodos restantes fueron desarrollados aplicando las (Ecuaciones 1, 3, 5 y 7). Adicionalmente se aplicó análisis de sensibilidad a cada una de las proyecciones realizadas, el cual consiste en evaluar y calcular año a año la tasa de crecimiento según la información censal.

Con los resultados obtenidos se evaluó, cuál de las proyecciones obtenidas describió una dinámica demográfica que se ajuste a la tendencia de crecimiento poblacional evidenciado desde los censos tomados como base para las respectivas proyecciones.

Estimación de los caudales de diseño.

Considerando la altitud del Centro poblado El Vino, se adoptó una dotación neta que corresponde a lo estipulado en la Resolución 0330 de 2017, posteriormente aplicando la Ecuación 9 se estimó la dotación bruta de agua para el sistema. Con lo anterior se calculó el caudal promedio de diseño, considerando la proyección poblacional, por medio de la Ecuación 10. Luego aplicando los factores de mayoración sugeridos en la Resolución 0330 de 2017, se emplearon las Ecuaciones 11 y 12, para estimar los Caudales Máximo diario y horario, donde el primero ellos se adoptan como el caudal de diseño.

Caracterizar la fuente de abastecimiento en términos de cantidad y calidad

Cantidad.

La determinación del caudal en la fuente de abastecimiento se realizó en periodos de lluvia y estiaje, aplicando el método de aforo con flotadores, donde en primer lugar se midió la longitud de una sección recta del Cauce, para determinar el tiempo que tardo un Pin Pon en recorrer esta distancia conocida, finalmente se aplicó la Ecuación 13, para determinar la velocidad del Cauce, el proceso de medición se realizó en 5 repeticiones, para disminuir el sesgo de error en el método.

Luego el cauce se dividió en dovelas, para facilitar la determinación del área transversal total y de esta forma desarrollar la Ecuación 14, para obtener el caudal en la fuente de abastecimiento, la metodología descrita se aplicó en cada uno de los periodos evaluados.

Calidad.

Para el periodo de lluvias se realizó una determinación de turbidez in situ, utilizando un turbidimetro. El propósito de la determinación de este parámetro radica en que en el periodo de

lluvias se presenta siempre un aumento considerable de la turbidez, siendo este un parámetro clave para tener una primera aproximación de la calidad del agua.

En periodo de estiaje se llevó a cabo un muestreo compuesto, desarrollando el método asociado a la Ecuación 15, que aplica a toma de muestras, para determinación de parámetros físico –químicos. Para los parámetros microbiológicos, se realizó un muestreo puntual. Las muestras recolectadas fueron llevadas al laboratorio de aguas de la Empresa Aguas de Facatativá SAS ESP, para posterior análisis.

Los resultados proporcionados, se contrastaron frente a los límites máximos permisibles para agua potable establecidos en la Resolución 2115 de 2007, para de esta forma, identificar que parámetros de calidad no cumple el agua que es suministrada a la Población de El Vino. Adicionalmente se calculó el IRCA (Índice de riesgo para calidad de agua para consumo humano), desarrollando la metodología asociada a la Ecuación 16.

Seleccionar la tecnología de tratamiento analizando criterios de sostenibilidad.

La selección de tecnología se realizó tomando en cuenta lo estipulado en los Artículos 14 y 15 de la Resolución 0330 del 2017, con el propósito de comprender mejor esta metodología se presentara la siguiente descripción del paso a paso realizado:

1. Identificación y análisis de alternativas de tratamiento: Para abordar esta actividad en primer lugar se identificaron y analizaron, las características técnicas de cuatro tecnologías de tratamiento opcionadas para ser diseñadas como sistema de tratamiento, las particularidades técnicas de cada ruta de tratamiento fueron descritas en el marco teórico.

   Debido a la importancia de seleccionar la tecnología de la manera menos subjetiva posible, se indagaron varios aspectos relevantes de cada tecnología, para soportar la decisión, entre ellos:

2. Establecer alcances y limitaciones de cada alternativa de tratamiento, frente a la remoción de cargas contaminantes, para cumplir con tres parámetros de calidad considerados clave.

3. Posteriormente, como análisis clave, se realizó una comparación de costos de las alternativas disponibles, según estudios consultados. Esto permite conocer que tecnología puede ser más viable desde los costos de construcción, administración, operación y mantenimiento.

4. Estructuración de los criterios de sostenibilidad en el contexto del Centro Poblado El Vino, los criterios seleccionados fueron Salud e higiene, ambiente, socio – culturales, económicos y criterios técnicos y de funcionamiento. Estos criterios permiten diagnosticar los alcances o limitaciones propios de la comunidad.

5. Para concluir, se formuló una matriz multi - criterio, donde las alternativas de tratamiento, fueron evaluadas frente a los criterios de sostenibilidad que caracterizaron El Centro Poblado El Vino. Para comprender la matiz multi - criterio es importante tener en cuenta lo siguiente:

a. Los criterios de sostenibilidad tienen un ponderado distinto dentro de la matriz, el criterio de mayor peso en la ponderación es el económico.
b. Los criterios específicos son calificados de 5 a 1, donde 5 es muy favorable y 1 es desfavorable, desde el contexto de la comunidad.
c. De la calificación promedio de los criterios específicos, se obtiene una calificación para cada criterio general, donde a estos últimos se les aplica el ponderado y al final se realiza la sumatoria de los mismos, para conocer en la parte baja de la matriz la calificación de cada alternativa, después de ser evaluada frente a cada uno de los criterios dispuestos.

6. La alternativa con la calificación más alta fue analizada y posteriormente diseñada, según las condiciones requeridas.

Diseñar los procesos y operaciones unitarias para la potabilización del agua

Considerando que la alternativa seleccionada fue la tecnología FiME se procedió a diseñar cada uno de los filtros que componen el sistema de riesgo intermedio.

Entrada al sistema.

La cámara de válvulas a la entrada del sistema fue dimensionada de acuerdo a los criterios descritos en el Artículo 68 de la Resolución 0330 de 2017, donde se da a conocer la importancia de proteger la válvula y facilitar las labores de reparación o mantenimiento, por parte de los operarios cuando sea necesario. El dimensionamiento de la cámara de válvulas se realizó de tal manera que se mantenga una relación proporcional entre la tubería, los accesorios y la propia estructura.

Cámaras de disipación de energía.

Las cámaras de disipación de energía a lo largo de todo el sistema FiME se diseñaron con el fin de que tuvieran la capacidad de estabilizar el flujo, de forma que el afluente reduzca su velocidad y progresivamente el agua fluya de una forma más tranquila hacia el canal rectangular.

Canales rectangulares.

Estos conductos al ser función del vertedero triangular se diseñaron como mínimo con una longitud 10 veces mayor a la carga hidráulica sobre el vertedero triangular como se especifica en el marco teórico, con lo anterior se buscó que la distancia entre la entrada del canal y la cota rasante del vertedero, fuera suficiente para garantizar una velocidad de aproximación cercana a cero.

Vertederos de excesos.

Para estimar la altura de la lámina de agua en este tipo de vertederos se adoptó un caudal de excesos proporcional al caudal de diseño, estableciendo un ancho de 0,4 m para todos los Vertederos propuestos para el sistema, que permite generar una lámina de agua que no supere la

altura del borde libre propuesta a lo largo de cada uno de los canales rectangulares. La altura de la lámina se calculó desarrollando la Ecuación 18.

Vertedero triangular.

Este vertedero principalmente es función del Caudal de Diseño, como variable clave se estimó la carga hidráulica aplicando la Ecuación 17. Para este vertedero se adoptó un borde libre de 5 cm a partir de la cresta de rebose. Además se ubicó de una manera que permita la caída libre del fluido a la estructura de disipación de energía que da inicio al FGDi y al inicio de cada una de las cámaras de entrada en los FGAC y FLA.

Área superficial para los filtros.

Para calcular el área superficial de cada uno de los filtros que constituyen el sistema FiME se desarrolla la Ecuación 19, donde la tasa de filtración determinara las diferencias de área superficial entre cada uno de los filtros, que componen el sistema FiME.

Filtro grueso dinámico.

Para el diseño de este filtro se dispuso una estructura de disipación de energía al inicio de la estructura, que además de permitir la estabilización del flujo, también garantiza una distribución uniforme del caudal sobre el área superficial de cada una de las dos unidades evitando así la formación de zonas muertas. El número de capas de grava, su espesor y el diámetro de las partículas dispuestas en cada uno, fueron determinados atendiendo a los criterios sugeridos en la Tabla 1.

Los sistemas de tuberías para recolección del agua filtrada en estos filtros fueron distribuidas de forma que se realice una captación homogénea, por lo anterior se adoptó una estructura de espina de pescado.

En este sistema además se incluyó un canal de excesos, con una cresta de rebose, que permite reconocer cuando la perdida de carga es muy alta en el sistema y el filtro comienza a operar a una tasa declinante, generando pérdidas importantes sobre el caudal de filtración.

Finalmente las cámaras de salida fueron diseñadas con el propósito de facilitar labores de mantenimiento y operación, en las cuales el operario de forma cómoda pueda utilizar la válvula de apertura rápida para generar por medio de varias aperturas los suficientes golpes de ariete para remover el material adherido al lecho y disminuir la perdida de carga en el sistema.

Filtro grueso ascendente en capas.

Para el diseño de este filtro, igualmente que con el FGDi a la entrada, se dispuso de estructuras como la cámara de disipación de energía, canal rectangular, vertedero de excesos y vertederos triangulares, donde estos últimos permiten regular el flujo que va a ingresar a las cámaras de entrada a cada una de las dos unidades. Estas cámaras cuentan con un drenaje de fondo que conduce el agua a la tubería de distribución dispuesta en forma de espina de pescado de igual manera que el FGDi para garantizar la distribución homogénea del flujo y evitar la generación de zonas muertas.

Esta etapa cuenta con dos unidades de filtración de la misma manera que los demás filtros, el número de capas de grava, su espesor y el diámetro de las partículas, se adoptaron tomando en cuenta los criterios sugeridos en la Tabla 2. Considerando que el agua filtrada saldrá por la parte superior del lecho, se propuso un canal de recolección a lo largo de las dos unidades que permite captar el agua tratada de forma homogénea y conducirla a una cámara de salida que recolecta el flujo proveniente de ambos filtros, estabilizándolo y conduciéndolo al canal rectangular que da inicio a la siguiente etapa de filtración.

Filtro lento en arena.

Para el ingreso del agua a tratar al filtro lento en arena se dispuso de un sistema de estabilización y aforo, similar al dispuesto en la unidad anterior, ajustando las dimensiones de una forma que fuesen proporcionales al tamaño del FLA.

El criterio principal de diseño de las cámaras de entrada a cada unidad se enfocó en una estructura que permita la disipación de energía para estabilizar nuevamente el flujo, lo que garantiza que no se generen velocidades de arrastre lo suficientemente fuertes como para afectar la capa Schmutzdecke.

Es de considerar que debido a sus características especiales este tipo de filtro presenta únicamente arena como medio de filtración, motivo por el cual las tasas de filtración son más lentas y se tuvo que disponer de un área superficial considerablemente mayor a las demás.

El espesor de la capa de arena y del lecho de soporte fue seleccionado tomando en cuenta los criterios de la Tabla 3 del marco teórico.

A diferencia de los demás filtros, el sistema de tuberías se dispuso de otra manera, ya que el tubo principal del sistema no fue dispuesto en el centro de cada unidad, si no junto al muro que divide las dos unidades facilitando así la unificación del flujo para poder conducir el total del caudal tratado a la cámara de salida y de este componente a la cámara de desinfección.

Estimación de las caídas de presión en cada filtro.

El cálculo de la caída de presión en cada filtro se determinó aplicando la Ecuación 21 y la Ecuación 22, donde en primer lugar se estimó el número de Reynolds para determinar el tipo de flujo a través de los lechos empacados, posteriormente se aplicó la ecuación de Ergún para obtener la caída de presión en cada componente y conocer las condiciones de operación del sistema.

Cámara de desinfección.

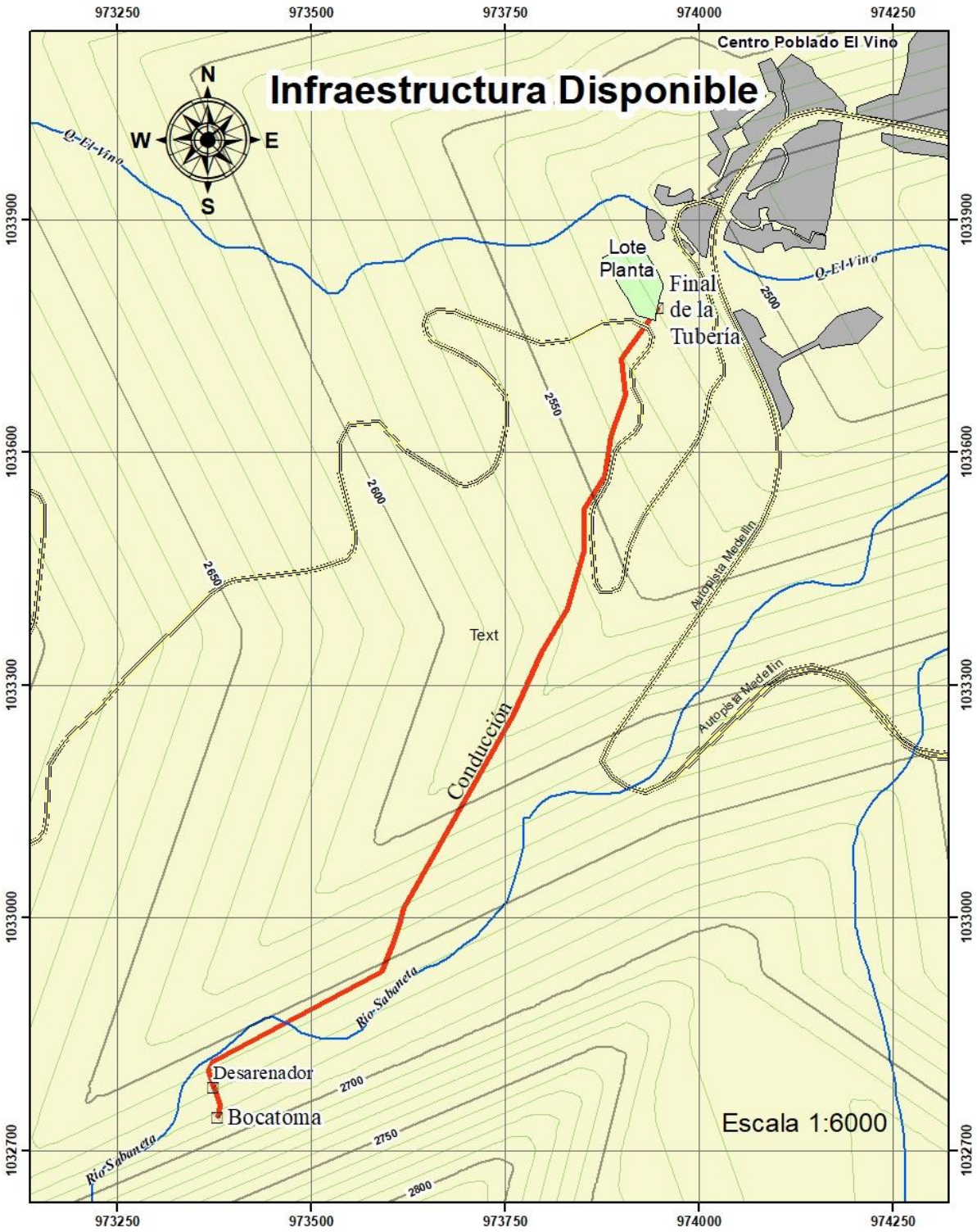
Para finalizar la ruta de tratamiento se dimensiono la respectiva cámara de contacto en función del caudal de diseño y del tiempo de contacto mínimo reglamentado en el Parágrafo 2 del artículo 121 de la Resolución 0330 de 2017. Adicionalmente es fundamental estimar la dosis óptima de cloro líquido que permite eliminar los microorganismos patógenos que no logran ser removidos a través del tren de tratamiento.

RESULTADOS

Caracterización de la zona de estudio

Identificación de la infraestructura disponible.

Como se mencionó dentro del planteamiento del problema, el Centro poblado de El Vino cuenta con una infraestructura pre - existente que le permite tener el suministro de agua cruda, como parte de este sistema se cuenta con una Bocatoma de Fondo que permite la captación del agua, posteriormente este flujo es llevado a un desarenador por medio de una línea de aducción construida en tubos de PVC. Luego del desarenador mencionado, el agua es llevada por medio de una tubería de conducción a una estructura que permite una aireación corta de las aguas y por último el efluente ingresa a un tanque de almacenamiento, desde donde el agua se distribuye a cada uno de los hogares ubicados a pocos metros del sitio. Por otra parte el Centro Poblado El Vino cuenta con un predio asignado para construir en el futuro un sistema de potabilización. La distribución espacial, la ubicación aproximada de cada uno de los componentes mencionados y del predio mencionado, se pueden observar en el Mapa 3:



Mapa 3: Distribución espacial de cada uno de los componentes del sistema de suministro existente. **Fuente:** Elaboración Bello – Gómez, con cartografía base del DANE.

Es importante mencionar que el mapa anterior fue elaborado con coordenadas tomadas por medio de un navegador GPS, el cual en puntos específicos como la Bocatoma presento incertidumbres muy amplias, debido a las condiciones topográficas y la densidad arbórea de la zona; por lo anterior el mapa permite contextualizar al observador sobre la ubicación de cada componente, pero las ubicaciones dispuestas en esta cartografía no son exactas.

Bocatoma de Fondo.

Para la captación del agua se cuenta con la siguiente estructura, construida por la comunidad siguiendo el principio básico de funcionamiento de una Bocatoma de fondo:

Figura 8: Bocatoma de Fondo, construida por la comunidad. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

La Bocatoma presentada en la Figura 8, se localiza en la cuenca alta del Río Sabaneta, en la coordenadas geográficas con latitud 4°53'32.09"N y longitud 74°19'3.04"O la estructura está construida en su totalidad con hormigón y es totalmente funcional, aunque presenta un importante deterioro por lo que es importante que frente a la construcción de un posible sistema

de potabilización en años próximos, esta estructura pase por un proceso de rehabilitación o mantenimiento.

Línea de aducción.

La línea de aducción en este caso lleva el flujo de agua desde la estructura de captación hasta el desarenador como se observa en la Figura 9, esta red fue construida en tubería de PVC de 4 pulgadas de diámetro, según las coordenadas registradas la longitud aproximada de esta red es de 41,8 metros y tiene una pendiente promedio del 15%, por lo que se maneja una alta presión a través de esta, aun así el sistema opera sin aparentes dificultades técnicas.

Figura 9: Llegada de la línea de aducción a la estructura de entrada del desarenador. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

Desarenador

Como se observa en la Figura 10, el desarenador es una estructura concebida de forma empírica que presenta un importante deterioro, debido a que está expuesto a las condiciones del entorno, aun así esta estructura permite remover una importante carga de solidos sedimentables

que aumentan su cantidad en épocas de lluvias torrenciales. Como en el caso de la Bocatoma y los demás componentes del sistema, en el caso de construir un sistema de potabilización, los componentes existentes deben pasar por un proceso de rehabilitación, que permita su operación óptima. Las coordenadas geográficas, registradas para esta estructura son latitud 4°53'33.33"N y longitud 74°19'3.23"O.

Figura 10: Desarenador construido por la comunidad de El Vino. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

En una descripción general del desarenador, este sistema se compone por una cámara de válvulas, una cámara de aquietamiento, un vertedero rectangular de cresta delgada para eliminar excesos como se observa en la Figura 11, por otra parte, cuenta con una amplia cámara de sedimentación que aunque en función de sus características está sobredimensionada, permite cumplir con el objetivo funcional de la estructura, también cuenta con dos pantallas deflectoras, una válvula de apertura rápida en la base de la cámara de sedimentación, para labores de lavado y termina con una estructura de salida del efluente, desde donde parte la línea de conducción.

Figura 11: Drenaje del Vertedero de excesos en la estructura del desarenador. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

Línea de conducción.

Este componente relevante para el sistema presentado en la Figura 12, está construido en tubería de PVC, presenta un diámetro de 4 pulgadas y tiene una longitud aproximada de 1.250 metros, partiendo desde el desarenador hasta la llegada a la estructura de almacenamiento a pocos metros del Centro Poblado, esta línea de conducción presenta una inclinación favorable del 10,9% y una diferencia altitudinal de aproximadamente 83 msnm, lo que favorece la operación de cualquier sistema de tratamiento, como se observa en la Figura 13; y permite desestimar la utilización de bombas para llevar el flujo de agua desde la bocatoma hasta el predio destinado para la futura construcción de un sistema de potabilización.

Figura 12: Línea de conducción, con VAR para labores de lavado. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

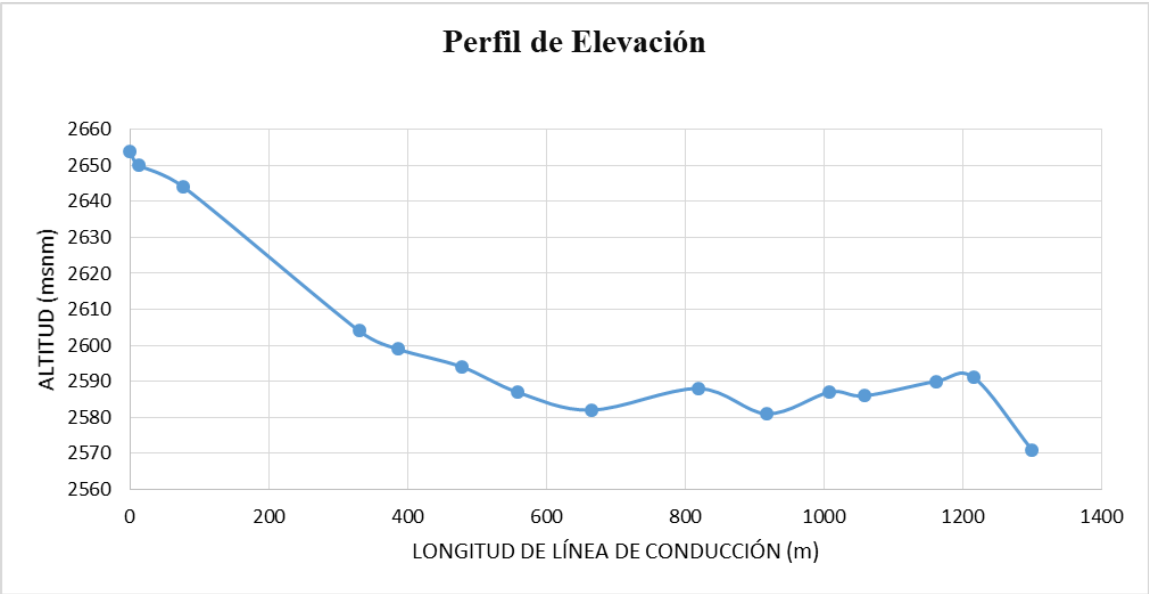


Figura 13: Perfil de elevación entre el desarenador y la estructura almacenamiento. **Fuente:** Elaboración Bello – Gómez.

Como se evidencia en el Figura 13, el perfil de elevación es muy favorable para la conducción del agua, aprovechando la cabeza de presión aportada por la fuerza de gravedad, esta condición puede disminuir los costos de operación de un sistema de potabilización.

Estructura de aireación y almacenamiento.

Este componente del sistema se encuentra ubicado a pocos metros del centro poblado, sus coordenadas geográficas son latitud 4°54'6.07"N y longitud 74°18'44.59"O. Como se observa en la Figura 14, este sistema recibe el agua de la línea de conducción por su parte trasera y la distribuye a través de un tipo de sistema de aireación por medio de dos tuberías de 3 pulgadas (medición realizada en el sitio), luego que la agua pasa por este corto proceso, ingresa a un tanque de almacenamiento construido justo debajo de la primera estructura, este tanque tiene un área superficial de aproximadamente 20 metros cuadrados y una profundidad cercana a 1 metro con 50 centímetros, lo que permite una capacidad de almacenamiento de cerca de 30 metros cúbicos de agua. Adicionalmente en este punto se realizaron determinaciones del caudal transportado por medio de aforos volumétricos que indicaron que la línea de conducción transporta un aproximado de 4,7 L/s, sin lograr estimar las múltiples pérdidas de agua que se generan antes de los puntos donde se realizó el aforo.

Figura 14: Estructura de aireación y tanque de almacenamiento. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

Desde el mencionado tanque de almacenamiento se conduce el agua por medio de una red de distribución a cada una de las viviendas del Centro Poblado del Vino, en este tanque el agua en exceso se vierte por medio de un sistema de drenaje a una zanja que está en dirección a la parte baja del predio donde este remanente llega a la quebrada El Vino la cual es un tributario del Río Sabaneta y de esta forma se retorna cierta parte del caudal de excesos a la fuente.

Predio asignado para construir un sistema de potabilización.

El predio asignado para construir la planta de potabilización para el Centro poblado El Vino, es el terreno donde se encuentra ubicado el componente de aireación y almacenamiento, descrito anteriormente. Este terreno presenta un área total de 4.339 metros cuadrados, disponibles según el personal de ACUELVINO para desarrollar en un futuro la infraestructura requerida.

Figura 15: Predio asignado para construir el sistema de potabilización en años próximos.
Fuente: *Imagen satelital tomada de Google Earth, con delimitación del predio en formato KML.*

Como se observó en la imágenes anteriores el sistema de suministro con el que cuenta la comunidad está bastante deteriorado, pero aun así el sistema es plenamente funcional como para ser plenamente rehabilitado y tener la capacidad de suministrar el caudal suficiente para satisfacer la demanda de la comunidad y operar eficientemente un sistema de tratamiento de agua potable.

Caracterización socio – cultural de la población

Se aplicó un formato de encuesta, donde se formularon varias preguntas a la comunidad, algunos resultados de estas preguntas se tomaron como apoyo para realizar los Criterios de Sostenibilidad en el Contexto del Centro Poblado El Vino desarrollados en la Tabla 21, los resultados completos de la encuesta se incluyen en los soportes del proyecto (Documento Excel con los respectivos Soportes y Memorias de cálculo) y el formato de encuesta se da a conocer en el Anexo 1, las respuestas a las preguntas consideradas de mayor importancia, para cumplir con los objetivos trazados se dan a conocer en la siguiente tabla:

Tabla 4

Respuestas del formato de encuesta aplicado, consideradas importantes en la estructuración de la Tabla 21.

RESULTADOS DE ENCUESTA

EDAD			
Grupos	**Rango**	**# de respuestas**	**% Porcentajes**
1	18-34	24	27,27
2	35-51	39	44,32
3	52-68	19	21,59
4	69-85	6	6,82
	Total	88	100
ESTRATO			
Grupos	**Estrato**	**# de respuestas**	**% Porcentajes**
1	1	32	36,36
2	2	54	61,36
3	3	0	0
4	4	0	0
N/A	N/A	2	2,3
	Total	88	100
NIVEL DE EDUCACIÓN			
Grupos	**Nivel**	**# de respuestas**	**% Porcentajes**
1	Primaria	30	34,09
2	Secundaria	41	46,59
3	Media	4	4,55
4	Superior	10	11,36
N/A	N/A	3	3,41
	Total	88	100
9. En su hogar el agua se destina a:			
Grupos	**Nivel**	**# de respuestas**	**% Porcentajes**
1	Cocinar los alimentos y beberla.	1	1,1
2	Aseo del hogar (incluye el lavado de las prendas de vestir).	3	3,4
3	Aseo personal	0	0,0
4	Todas las anteriores	84	95,5
5	¿Otro? Cual:	0	0,0
	Total	88	100
10. ¿Alguna vez usted o alguien de su familia presentó problemas de salud atribuibles al consumo del agua que llega a su hogar?			
Grupos	**Opciones**	**# de respuestas**	**% Porcentajes**
1	Si	27	30,68
2	No	60	68,18
3	No responde/No sabe	1	1,14

	Total	88	100
13. ¿Considera importante la presencia de la administración municipal para solucionar los problemas relacionados con el saneamiento básico del agua?			
Grupos	**Opciones**	**# de respuestas**	**% Porcentajes**
1	Si	82	93,2
2	No	4	4,5
3	No responde/No sabe	2	2,3
	Total	88	100
18. ¿Si el agua recibida, según su criterio, no es confiable para consumo humano cómo soluciona el consumo de agua potable en su casa?			
Grupos	**Opciones**	**# de respuestas**	**% Porcentajes**
1	Agua hervida	40	45,45
2	Agua tratada embotellada	35	39,77
3	Agua lluvia recolectada	0	0,00
4	No aplica ninguna solución	4	4,55
N/A	N/A	1	1,14
1--2	1--2	2	2,27
Nacedero	Nacedero	5	5,68
Filtros	Filtros	1	1,14
	Total	88	100

Nota: *Resultados de algunas preguntas, realizadas aplicando un formato de encuesta los días 26 y 27 de diciembre del 2017, en el Centro Poblado El Vino.* **Fuente:** *Elaboración Bello – Gómez.*

Actividades preliminares

Proyección de la población de diseño.

En la siguiente tabla se muestran los datos de Censos proporcionados por el SISBÉN:

Tabla 5

Datos demográficos del Centro Poblado El Vino.

AÑO	HABITANTES
2011	305
2012	430
2013	482
2014	507
2015	527

Nota: *Datos demográficos de la base de datos del SISBÉN, proporcionados por la secretaria de desarrollo social, del municipio de la Vega.*

La población de diseño, se estimó aplicando los métodos Aritmético, Geométrico, Exponencial y Wappaus, descritos en el marco teórico; para comenzar la estimación, se calculan las tasas de crecimiento poblacional requeridas por cada uno de los cuatro métodos mencionados, aplicando las ecuaciones presentadas en el marco teórico, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 6

Tasas de crecimiento calculado para cada uno de los cuatro métodos aplicados.

AÑO	n	r	k	i
2011				
2012	40,98	0,410	0,34	34,01
2013	12,09	0,121	0,11	11,40
2014	5,19	0,052	0,05	5,06
2015	3,94	0,039	0,04	3,87
Promedio	15,55	0,156	0,14	13,59

Nota: Tomar en cuenta que:

n = Tasa de crecimiento para el método aritmético, se determinó aplicando la ecuación 2.
r = Tasa de crecimiento para el método geométrico, se determinó aplicando la ecuación 4.
k = Tasa de crecimiento para el método Exponencial, se determinó aplicando la ecuación 6.
i = Tasa de crecimiento para el método Wappaus, se determinó aplicando la ecuación 8.

Posteriormente resolviendo las ecuaciones que corresponden a cada método se obtuvieron las siguientes proyecciones:

Tabla 7

Proyecciones de población para el periodo de diseño requerido.

Proyección	Aritmético[1]	Geométrico[2]	Exponencial[3]	Wappaus[4]
2019	589	940	911	920
2024	667	1.214	1.804	1.867
2029	745	1.374	3.574	3.787
2034	822	1.534	7.079	7.682
2039	900	1.694	14.024	15.584
2044	978	1.855	27.782	31.615

Nota: Considerar lo siguiente
1. Aplicando la ecuación 1
2. Aplicando la ecuación 3
3. Aplicando la ecuación 5
4. Aplicando la ecuación 7

Según los resultados obtenidos, el dato de proyección poblacional más adecuado para El Centro Poblado El Vino es el estimado aplicando el método geométrico, dado que es la que muestra un crecimiento proporcional a la población del último censo. El método aritmético se descarta ya que es aplicado en dinámicas de crecimiento vegetativo y por su parte el método exponencial y Wappaus muestran crecimientos poblacionales muy grandes que no corresponden a la dinámica de la población en estudio.

Caudales de diseño.

Estimación de la dotación bruta de agua.

Adoptando una dotación neta de 120 L/hab*día y unas pérdidas al sistema no mayores al 25%, se realizó el cálculo de la dotación bruta aplicando la Ecuación 9, de igual manera se aplica un análisis de sensibilidad a los datos, como se desarrolló en la proyección poblacional, en el ítem anterior. Los datos obtenidos son:

Tabla 8

Dotación bruta de agua.

PROYECCIÓN DEL CONSUMO

AÑO	**Habitantes**	**Incremento de la población**	**Incremento de consumo (%)**	**Neto (L/Hab*d)**	**% Perdidas**	**Dotación bruta (L/ Hab*d)**
2019	940			120	25%	160
2024	1.214	23%	2,3%	123	23%	160
2029	1.364	11%	1,1%	124	22%	160
2034	1.534	11%	1,1%	125	22%	160
2039	1.694	9%	0,9%	127	21%	160
2044	1.855	9%	0,9%	128	20%	160

Nota: Estimación de la población aplicando análisis de sensibilidad en intervalos de 5 años, metodología sugerida en el libro de "*Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*" de Ricardo Alfredo López Cualla.

Caudal promedio de diseño.

El caudal promedio viene dado de la multiplicación de los habitantes proyectados frente a la dotación bruta estimada, aplicando la Ecuación 10 para obtener los siguientes resultados:

Tabla 9

Caudales promedio diarios calculados para cada intervalo de tiempo.

AÑO	Habitantes	Consumo Total (L/Hab*d)	Q Promedio (L/s)
2019	940	160	1,7
2024	1.214	160	2,2
2029	1.364	160	2,5
2034	1.534	160	2,8
2039	1.694	160	3,1
2044	1.855	160	3,4

Caudal Máximo Diario.

Aplicando la Ecuación número 11 y utilizando el Factor de Mayoración de 1,3 para poblaciones de menos de 12.500 habitantes se tienen los siguientes resultados:

Tabla 10

Resultados para el caudal máximo diario.

CAUDAL MÁXIMO DIARIO		
AÑO	**F mayoración, K1**	**Q Máx. diario (L/s)**
2019	1,3	2,3
2024	1,3	2,9
2029	1,3	3,3
2034	1,3	3,7
2039	1,3	4,1
2044	1,3	4,5

Nota: El caudal obtenido en la tabla anterior corresponde al *caudal de diseño*, bajo el cual se dimensionaron las estructuras de la tecnología de tratamiento seleccionada para ser diseñada como sistema de potabilización para el Centro Poblado el Vino, es importante aclarar que el caudal aplicado a los diseños es el calculado para el año 2044 que corresponde a 4,5 L/s.

Caudal Máximo Horario.

Resolviendo sobre la Ecuación 12, con un Factor de Mayoración de 1,6 correspondiente a una población de menos de 12.500 habitantes se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 11

Resultados para el caudal máximo Horario.

CAUDAL MÁXIMO HORARIO		
AÑO	**F mayoración, K2**	**Q Máx. horario (L/s)**
2019	1,6	2,8
2024	1,6	3,6
2029	1,6	4,0
2034	1,6	4,5
2039	1,6	5,0
2044	1,6	5,5

Caracterización de la fuente de abastecimiento en términos de cantidad y calidad

Caudal disponible en el Río Sabaneta.

Para la determinación del caudal disponible en el cauce del Río Sabaneta, se realizó una estimación del mismo aplicando la metodología que corresponde, el punto seleccionado para realizar esta determinación es el punto de captación donde se ubica la Bocatoma existente, perteneciente a la infraestructura disponible.

Para obtener una estimación más precisa se llevaron a cabo mediciones de caudal en época de lluvias y en época de estiaje, la primera medición se realizó el día 8 de Noviembre del 2018, como lo corroboran los boletines climatológicos del IDEAM, los meses de Octubre y Noviembre hacen parte de la segunda temporada de precipitaciones en gran parte del país. En algunos sectores especialmente de la región Andina, esta temporada es mucho más intensa que la primera temporada de lluvias centrada en abril-mayo.

Como se mencionó la primera medición se realizó en el mes de noviembre, en época de lluvias donde se pudo obtener un aproximado del caudal máximo que puede tener la fuente de abastecimiento en función de las condiciones del periodo descrito.

Aplicando la respectiva metodología detallada anteriormente, se dispuso de una sección transversal (Ver Figura 16) en el punto seleccionado para realizar la medición, por medio de esta sección se obtuvo el área transversal del cauce, la velocidad promedio del flujo con base al

promedio de cinco mediciones de esta variable y por último se calculó el respectivo caudal de la fuente en metros cúbicos y litros por segundo. Los datos mencionados y soporte fotográfico se presentan a continuación:

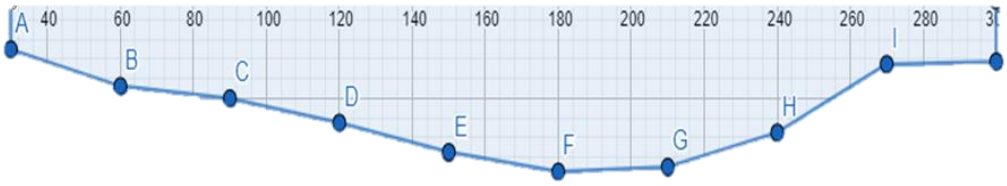


Figura 16: Secciones transversales dispuestas en el lugar de medición el día 08/11/2018.
Fuente: *Elaboración Bello – Gómez.*

Nota: Considerar que los valores del eje X del presente gráfico, corresponden a centímetros.

Tabla 12

Caudal estimado para el periodo de lluvias en la fuente de abastecimiento.

Área m^2	Velocidad Promedio m/s	Caudal Promedio m^3/s	Caudal en L/s
0,64	0,15	0,065	65,87

Fuente: *Elaboración Bello – Gómez.*

Figura 17: Punto de captación el 08 de noviembre de 2018. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

La segunda medición de caudal se realizó el 9 de Enero del año 2019, periodo de tiempo correspondiente a época de bajas precipitaciones o estiaje en la mayor parte de la región Andina, en relación a lo anterior se presentó en esta segunda medición una disminución importante del caudal disponible, acorde a la dinámica de las precipitaciones en las fechas que antecedieron la estimación. En seguida se presentan los respectivos datos y soportes correspondientes:

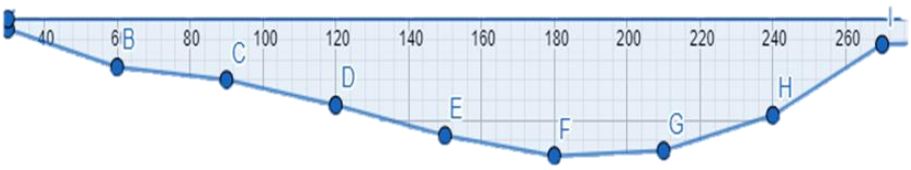


Figura 18: Secciones transversales dispuestas en el lugar de medición el día 09/01/2019.
Fuente: *Elaboración Bello – Gómez.*

Nota: Considerar que los valores del eje X del presente gráfico, corresponden a centímetros.

Tabla 13

Caudal estimado para el periodo de estiaje en la fuente de abastecimiento.

Área m^2	Velocidad Promedio m/s	Caudal Promedio m^3/s	Caudal en L/s
0,42525	0,08	0,023	23,61

Fuente: *Elaboración Bello – Gómez.*

Figura 19: Punto de captación el día 09/01/2019. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

Realizando un análisis simple de los valores de caudal determinados en los dos periodos señalados, se puede inferir que la fuente de abastecimiento podrá garantizar el caudal máximo diario requerido, debido a que en relación a las mediciones, la cantidad de agua es suficiente para satisfacer la demanda, sin que esto represente una porcentaje de captación alto frente a la cantidad de agua disponible.

Para el periodo de lluvias como se evidencia en la Tabla 12, el caudal estimado fue de 65,87 L/s, tomando en cuenta el QMD calculado para el año 2044 en la Tabla 10, se presentaría una extracción de apenas un 6,82 % del total de flujo disponible, por lo que en estos periodos de altas precipitaciones la afectación sobre la cantidad de agua en al cauce seria despreciable.

Por otra parte en el periodo de estiaje el caudal medido correspondió a 23,61 L/s por lo que al calcular el volumen extraído para aportar el QMD al sistema de acueducto, se determinó una captación de 19 % del total de flujo disponible, por lo anterior en estos periodos de pocas lluvias la afectación sobre el flujo en el cauce sería un poco mayor frente al periodo anterior, pero aun así la fuente de abastecimiento contaría con el caudal suficiente para realizar sus procesos eco sistémicos de una forma normal y sin afectaciones de relevancia.

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la fuente de abastecimiento

Para la caracterización de la fuente en términos de calidad, en primer lugar se hizo la determinación in situ de turbidez en época de lluvia, ya que en este periodo es donde se alcanzan los valores más altos para este parámetro debido al arrastre de sedimentos. Por otra parte para este mismo parámetro se realizó de nuevo la determinación en la época de estiaje con el fin de tener un contraste entre ambos periodos. Ver Tabla 14.

Adicionalmente en la época de estiaje se realizó un muestreo compuesto para la determinación de los demás parámetros fisicoquímicos (Ver Tabla 15), y un muestreo simple para los parámetros microbiológicos, donde este último se realizó en la época mencionada anteriormente ya que la actividad microbiana se ve favorecida por el aumento de la temperatura y reducción de la velocidad de flujo en el cauce.

Tabla 14

Turbidez medida en periodos de estiaje y lluvioso.

TURBIDEZ UNT			
PERIODO	**TÉCNICA**	**RESULTADO**	**REFERENCIA[1]**
ESTIAJE	Nefelométrica	3	2
LLUVIOSO	Nefelométrica	9,42	2

Fuente: *Elaboración Bello – Gómez.*

Tabla 15

Resultados análisis de laboratorio de los muestreos tomados en época de estiaje.

ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS				
PARÁMETRO	**UNIDADES**	**TÉCNICA**	**RESULTADO**	**REFERENCIA [1]**
Dureza Cálcica	mg $CaCO_3$/L	Titulométrica	1,51	100
Cloruros	mg Cl/L	Argentometrica	23,7	250
Color aparente	UPC	Fotométrica	11,7	15
Conductividad	µs/cm	Conductimétrica	25,2	1.000
Dureza Total	mg $CaCO_3$/L	Titulométrica	32,6	300
Hierro Total	mg Fe/L	Fotométrica	0,23	0,3
Nitratos	mg NO_3/L	Fotométrica	2,2	10
Nitritos	mg NO_2/L	Fotométrica	0,03	0,1
pH	Unidades	Electrométrica	7,06	6,5 - 9
SDT	mg/L	Electrométrica	26	640
Sulfatos	mg SO_4^2/L	Turbidimétrica	17,3	250
Temperatura	°C	Termométrica	16,7	25
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Totales	UFC/100 mL	Filtración por membrana	1.344	0
Escherichia Coli	UFC/100 mL	Filtración por membrana	54	0

Nota: Muestras analizadas en el laboratorio de aguas de la Empresa Aguas de Facatativá SAS. Para más información al respecto consultar anexo 2.

[1] Valores máximos permisibles en parámetros de Calidad, según la Resolución 2115 del 2007.

Como se observa en la Tabla 14 la turbidez en época lluviosa es evidentemente mayor al valor de turbidez obtenido en la época de estiaje, así como se sugiere en la teoría, por lo anterior este será el valor de referencia para la selección de alternativas tecnológicas en función de las capacidades de remoción límite de cada uno de los sistemas a evaluar.

Respecto a los resultados expuestos en la Tabla 15, la calidad del agua en la fuente se ve afectada por tres parámetros en específico los cuales son Coliformes totales, Fecales y Turbidez mostrada en la Tabla 16. Estos parámetros no cumplen con los valores máximos permisibles para aguas de consumo humano estipulados en la Resolución 2115 de 2007.

Con base a lo anterior se realizó el cálculo del índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano – IRCA, donde los resultados del presente índice se obtuvieron aplicando la

metodología asociada a la Ecuación 16. A continuación se detallan los resultados obtenidos en el cálculo del IRCA:

Tabla 16

Resultados del muestreo compuesto y asignación de los puntajes de riesgo para la posterior estimación del IRCA.

ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS			
PARÁMETRO	**RESULTADO**	**REFERENCIA**	**PUNTAJES DE RIESGO**
Dureza Cálcica	1,51	100	1
Cloruros	23,7	250	1
Color aparente	11,7	15	6
Dureza Total	32,6	300	1
Hierro Total	0,23	0,3	1,5
Nitratos	2,2	10	1
Nitritos	0,03	0,1	3
pH	7,06	6,5 – 9	1,5
Sulfatos	17,3	250	1
Turbiedad	3[1]	2	15
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS			
Coliformes Totales	1.344[1]	0	15
Escherichia Coli	54[1]	0	25

Nota: [1]Parametros de calidad que no cumplen con los valores máximos permisibles para agua potable, reglamentados en la Resolución 2115 de 2007.

Aplicando la Ecuación 16:

$$IRCA: \frac{55}{72} * 100 = 76{,}39\%$$

Según el cuadro N° 7, presentado en el Articulo 15, de la Resolución 2115 de 2007, el índice calculado se clasifica como un nivel de riesgo alto, que permite declarar el agua analizada como no apta para el consumo humano y ratifica que con la infraestructura existente no es posible garantizar un agua con las condiciones sanitarias estipulas por el marco legal Colombiano.

Seleccionar la tecnología de tratamiento analizando criterios de sostenibilidad.

Para la determinación de la tecnología de tratamiento es importante tener en cuenta la necesidad que tiene toda comunidad de una selección de tecnología adecuada a sus características o particularidades.

Como objetivo principal del sistema seleccionado, se busca que garantice un efluente apto para el consumo humano, según las condiciones de calidad reglamentadas por medio de la resolución 2115 del año 2007. La selección también debe permitir la adecuada operación del sistema por parte del recurso humano disponible en la comunidad, de forma que los costos de operación sean lo más bajos posibles.

Por último el diseño debe buscar cumplir el criterio de costo mínimo frente a los aspectos de implementación, operación y mantenimiento, para minimizar al máximo factores de riesgo financiero que puedan hacer el sistema insostenible a lo largo del tiempo

Alternativas tecnológicas de potabilización disponibles.

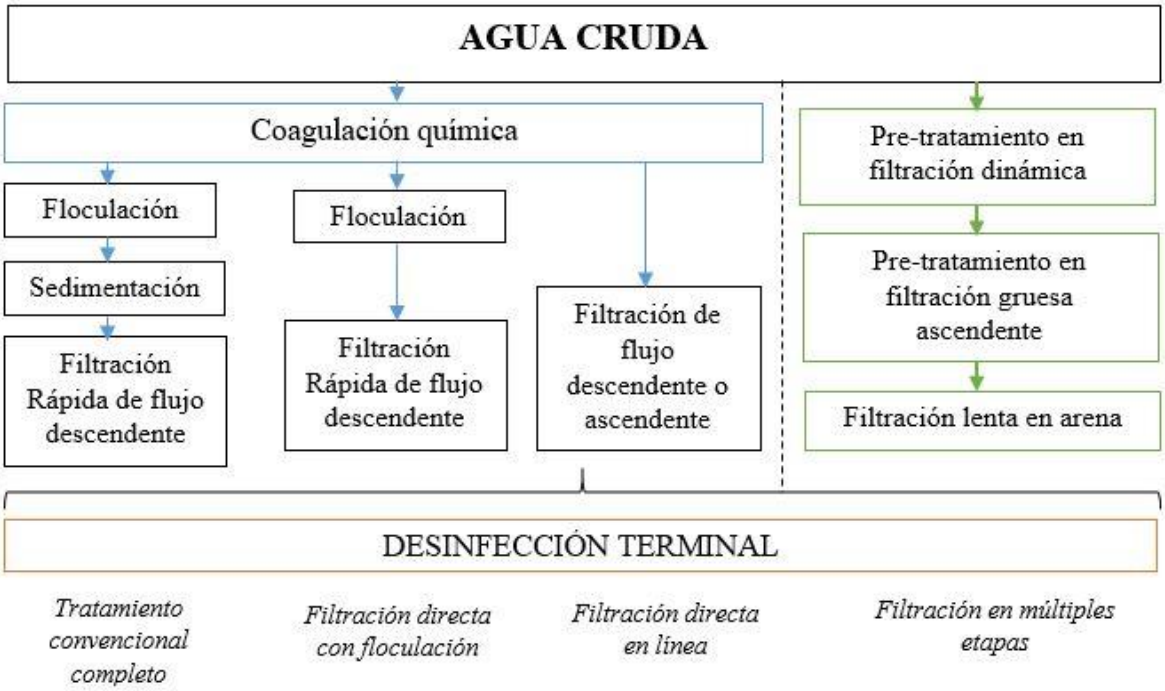


Figura 20: Tecnologías de tratamiento disponibles para desarrollar el diseño. ***Fuente:*** *Autores, con base el esquema propuesto por el Ing. Camilo Hernán Cruz de la Universidad del Valle.*

Las tecnologías expuestas en el esquema anterior son las alternativas tecnológicas disponibles para alcanzar los objetivos trazados al inicio del presente apartado, estas como se evidencia se presentan en dos grupos, el primero corresponde a aquellas opciones alternativas que forman parte de los sistemas de tipo convencional donde se hace necesaria la adición de compuestos químicos y el segundo grupo aborda una alternativa considerada ecológica que sin la adición de compuestos químicos a la ruta de tratamiento, remueve cargas contaminantes importantes.

La explicación general de cada una de estas tecnologías, puede ser consultada en el marco teórico del presente documento, donde se expone a grandes rasgos las particularidades técnicas de cada opción disponible.

Alcances y limitaciones de los sistemas disponibles.

En los siguientes esquemas se presentaran las limitaciones en cuanto a capacidades de tratamiento, por cada una de las tecnologías presentadas en el Figura 20, como criterio clave se

evalúa la capacidad de cada sistema para tratar parámetros importantes en calidad de agua como Turbidez, Color y Coliformes fecales:

Tabla 17

Límites de tratamiento para los sistemas de potabilización convencional según Susuma Kawamura en 1991.

SISTEMA CONVENCIONAL Y SUS DERIVACIONES SIMPLIFICADAS			
	Turbiedad (UNT)	Color Aparente (UPC)	Coliformes Fecales (UFC/100 mL)
CICLO COMPLETO	**≤ 5000**	**≤ 3000**	**Hasta más de 20000**
FILTRACIÓN DIRECTA EN LÍNEA	**≤ 25**	**≤ 15**	**≤ 500**
FILTRACIÓN DIRECTA CON FLOCULACIÓN	**≤ 50**	**≤ 20**	**≤ 1000**

Para el caso de la tecnología FiME las limitaciones del sistema están dadas por medio de varias combinaciones de pre – tratamiento antes del proceso clave de Filtración Lenta en Arena (FLA), en este caso es importante tener en cuenta que según las condiciones de calidad de la fuente de abastecimiento, la combinación más adecuada a los requerimientos de remoción de contaminantes es la que corresponde al nivel de contaminación intermedio, siendo esto una decisión de los diseñadores para facilitar el contraste de cada alternativa en este ítem, las demás combinaciones y sus respectivas limitaciones se dan a conocer en la siguiente tabla:

Tabla 18

Límites de tratamiento para cada una de las combinaciones de tecnología FiME.

Nivel de Contaminación	Turbidez (UNT)	Color Verdadero (UPC)	Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	Combinación sugerida
BAJO	< 10	<20	< 500	FGDI + FLA
INTERMEDIO	***10 – 20***	***<30***	***500 – 10.000***	***FGDI+FGAC+FLA***
ALTO	20 - 70	30 - 40	10.000 – 20.000	FGDI +FGAS (2 O 3 ETAPAS) + FLA

Nota: Combinaciones desarrolladas a partir de Investigaciones del Instituto CINARA y el IRC, en predios de la Planta Puerto Mallarino en Cali.

FGDi: Filtración gruesa Dinámica.
FGAC: Filtración gruesa ascendente en capas.
FGAS: Filtración gruesa ascendente en series de 2 o 3 unidades.
FLA: Filtración lenta en arena.

Los parámetros de calidad de agua empleados para evaluar las capacidades límite de cada sistema, se eligieron con base en la estrecha relación que estos tienen con muchos otros parámetros de calidad importantes y por otra parte debido a que los parámetros de Turbidez y Coliformes Fecales fueron 2 de los parámetros de calidad que no cumple el agua del Río Sabaneta, según los resultados obtenidos a partir de la caracterización fisco- química y microbiológica expuestos en la caracterización de la fuente de abastecimiento en términos de calidad.

Es importante recalcar que estos tres parámetros permiten conocer de forma preliminar el grado de contaminación del agua, son una primera aproximación en la determinación de la calidad de un afluente y son de fácil determinación, permitiendo una mejor evaluación de cada tecnología.

La turbidez permite conocer en gran medida la calidad del agua cruda, debido a que este parámetro se asocia a la cantidad de materiales en suspensión, que varían desde partículas coloidales hasta partículas gruesas, donde se puede tener evidencia de la presencia arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica dispersa y dar un indicio de la posible presencia de microorganismos patógenos los cuales se ven favorecidos a valores altos de turbidez. (Jairo Alberto Rojas Romero, 2002)

Por su parte valores importantes de color en unidades platino cobalto se asocia con la presencia de hierro, manganeso coloidal, desechos orgánicos en procesos de descomposición, así como la presencia de ácido húmico o incluso desechos industriales en solución. (Jairo Alberto Rojas Romero, 2002)

Por lo anterior estos 3 parámetros se consideraron claves para tomar una decisión sobre la tecnología de tratamiento adecuada para el caso evaluado.

Comparación de costos de las alternativas disponibles, según estudios consultados.

Indagando en estudios asociados al análisis de costos de los sistemas de potabilización en Colombia, se encuentra que para el Sector de Agua Potable y Saneamiento, se hace muy importante hacer una correcta orientación de los recursos desde el momento de la planificación, con el fin de lograr sistemas de potabilización viables y sostenibles a lo largo del tiempo desde el ámbito económico.

La siguiente información se apoya y sustenta en el "*Proyecto de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua*", desarrollado por el Instituto CINARA de la Universidad del Valle y analizado por los ingenieros Hernán A. Aristizabal A. y Alberto Galvis C.; en el artículo ANÁLISIS DE COSTOS EN SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.

En la siguiente tabla se demuestra que en términos administrativos la demanda de tiempo depende del sistema adoptado. Para ciclos con coagulación química la demanda de tiempo para el área administrativa es mayor:

Tabla 19

Requerimiento de tiempo completo de personal administrativo para distintos sistemas de potabilización.

HABITANTES	**PERSONAL**	**TECNOLOGÍA**			
		CC	**FD**	**PC**	**FIME**
≤ 2500	**Administrador**	0,15	0,15	0,15	0,10

Nota: Fracción tomada de la Tabla 2 del artículo Análisis de costos en sistemas de potabilización de aguas, de la autoría de Hernán A. Aristizabal A. y Alberto Galvis C.

Considerar:

CC: Ciclo completo
FD: Filtración directa
PC: Plantas compactas
FiME: Filtración en múltiples etapas

Otro aspecto relevante sobre los costos, evaluado por los autores citados es la frecuencia de reposición o reemplazo de las instalaciones, componentes o equipos en cada alternativa tecnológica.

Los factores determinantes en la frecuencia de reposición son la incidencia de eventos esporádicos (como accidentes en la operación) y el desgaste u obsolescencia de ciertos componentes que implican no una reparación, sino una sustitución completa del mismo. Como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 20

Reposiciones registradas en las tecnologías disponibles y periodos de vida de cada componente.

Elemento	**Tecnología**				**Causa de la reposición**	**Periodo de vida útil (años)**
	CC	**FD**	**PC**	**FIME**		
Equipos de bombeo	X	X			Desgaste carcasa por erosión.	10
Dosificadores de sulfato de aluminio, cal y cloro.	X	X		X	Falla de la carcasa.	7
Agitadores de soluciones.	X	X			Quema del rotor	10
Cilindros de Cloro	X	X			Fisura en el cilindro.	10
Equipo electromecánico de floculadores.	X	X			Quema del rotor o falla de la carcasa del reductor por esfuerzos excesivos.	10
Equipo de laboratorio	X	X	X	X	Obsolescencia o falla del material constructivo.	10
Medios filtrantes en filtros rápidos	X	X	X		Desgaste de granos por fricción.	7
Válvulas	X	X	X	X	Desgaste y pérdida del sello.	10
Placas planas	X	X	X		Rotura.	5
Bandejas de					Desgate de lámina por	5

aireación					erosión.	
Planta eléctrica	X	X	X		Obsolescencia o falla del material constructivo.	10
Medidores de flujo y turbiedad	X	X	X	X	Desgaste y pérdida del sello	10

Nota: Datos tomados de la Tabla 1, del artículo Análisis de costos en sistemas de potabilización de aguas, de la autoría de Hernán A. Aristizabal A. y Alberto Galvis C.

Como se observó en la tabla anterior el sistema FiME presenta una necesidad menor de reposición de componentes que las otras fuentes evaluadas, por lo que económicamente se puede hacer más sostenible en el tiempo.

Comparación de costos de construcción y costos totales, para las tecnologías disponibles.

Como criterio clave para determinar que tecnología es viable desde el punto de vista económico se cuentan con los siguientes resultados obtenidos a partir de modelos de costos desarrollados por el CINARA y las experiencias en implementación de sistemas FiME en la región del eje cafetero. En primer lugar en la Figura 21 se muestran los resultados de la comparación de costos de construcción de 4 alternativas de tratamiento.

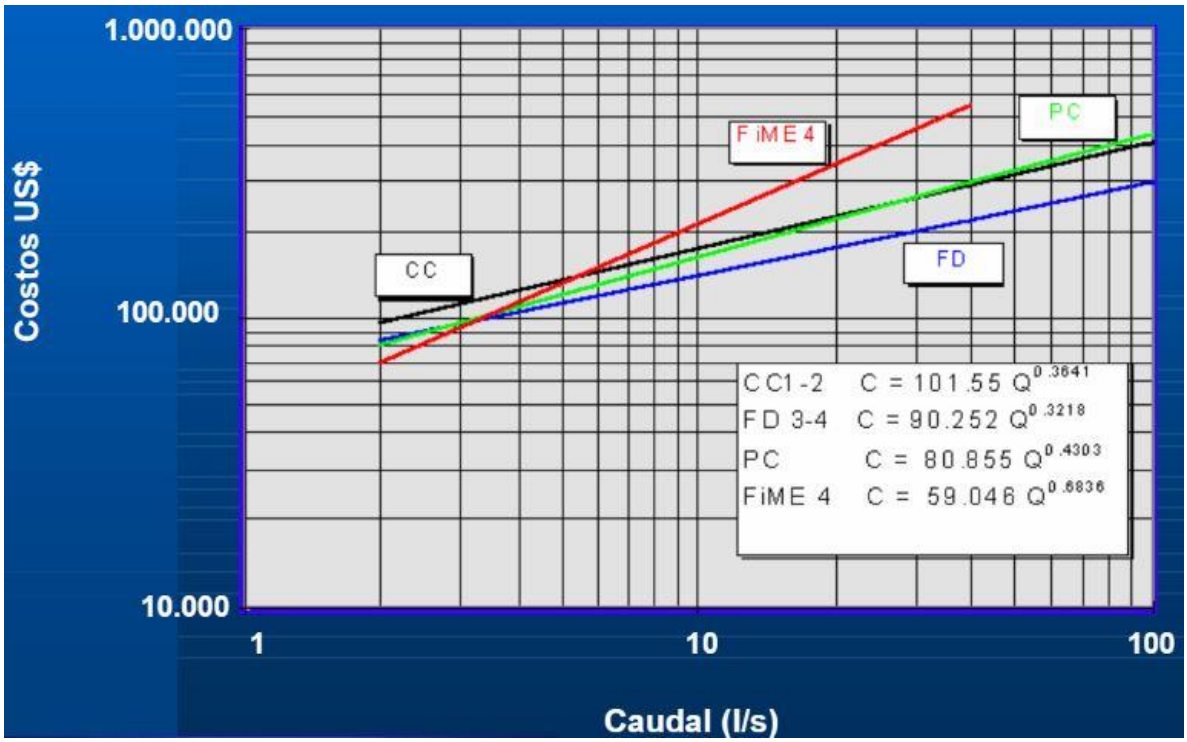


Figura 21: Costos de construcción estimados para diferentes tecnologías de tratamiento en función del caudal a tratar. ***Fuente:*** *Grafico tomado de: "Proyecto de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua", realización de Alberto Galvis, Instituto CINARA y Universidad del Valle.*

Analizando el grafico anterior es importante tener en cuenta que el caudal de diseño calculado para el Centro poblado El Vino, para un periodo de diseño de 25 años es de 4,5 L/s, por lo anterior observando en el grafico es importante destacar que la diferencia en cuanto a costos de construcción, entre las 4 tecnologías disponibles no es considerable, las tecnologías de filtración directa, según estos resultados son las de menor inversión según el caudal de diseño, después de estas en cuanto a costos de construcción siguen las plantas compactas, la tecnología FiME y terminando con el Ciclo Completo que es el que requiere mayor costo de construcción.

Como una aproximación a los costos de construcción se puede decir que el costo oscila entre más de 100 mil dólares estadounidenses, hasta cerca de 150 mil dólares estadounidenses para cualquiera de las 4 opciones de tratamiento, es muy importante tener en cuenta que estos precios corresponden a costos de Valor Presente Neto del año 1998.

Por otra parte en la Figura 22 se contrastan los costos totales de las mismas 4 alternativas de tratamiento pero adicionando a la fase de construcción los costos de administración, operación

y mantenimiento, requeridos para operar eficientemente el sistema a lo largo de un año, según los autores del presente estudio económico.

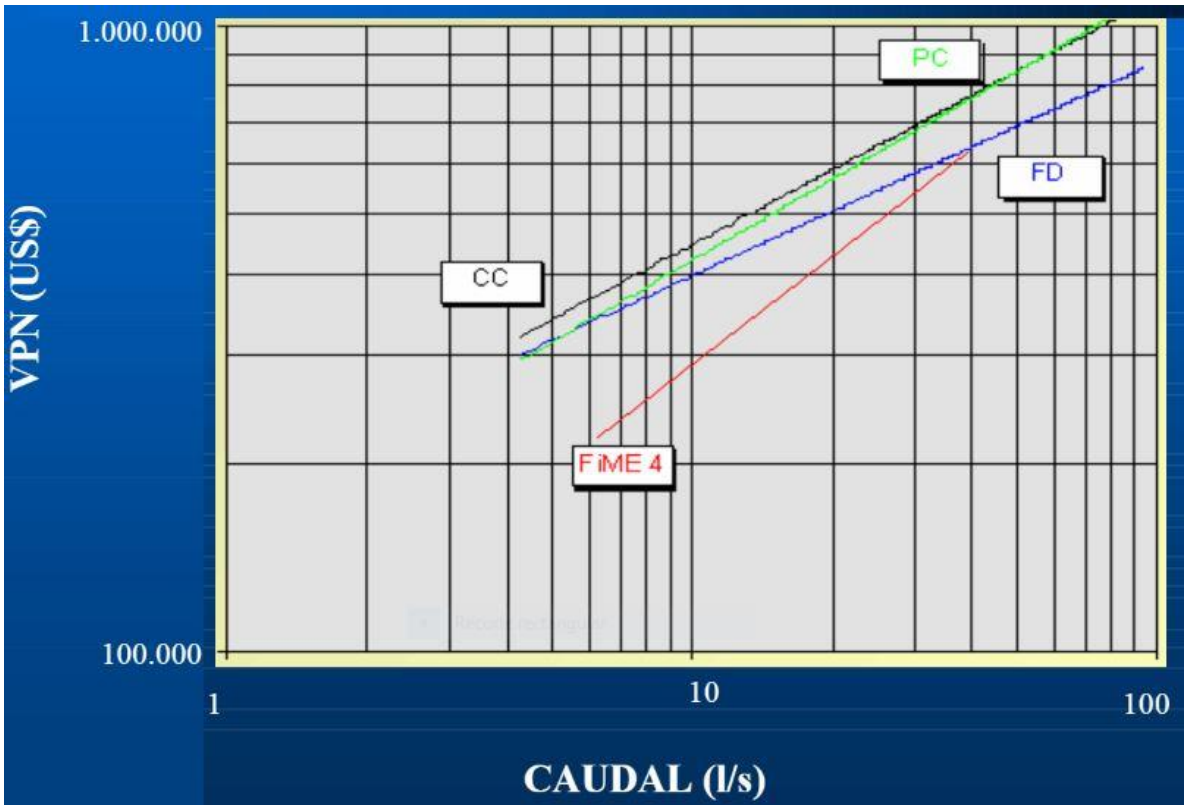


Figura 22: Costos de construcción, administración, operación y mantenimiento, estimados para diferentes tecnologías de tratamiento en función del caudal a tratar. ***Fuente:*** *Grafico tomado de: "Proyecto de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua", realización de Alberto Galvis, Instituto CINARA y Universidad del Valle.*

Como se observa en esta grafica es muy evidente que la tecnología FiME en este rubro es mucho más viable financieramente que las tres tecnologías restantes, en vista de que su operación es simple, no requiere de algún tipo de coagulante y tiene una exigencia mínima de componentes de reposición como se evidencio en la Tabla 20. Para el caudal de diseño calculado de 4,5 L/s y a costos de VPN del año 1998, el sistema FiME presento un costo total aproximado escasamente mayor a los 200 mil US$, mientras que las demás tecnologías presentan un costo total superior a los 300 mil US$ según el caudal de diseño que corresponde.

Por lo anteriormente analizado en los gráficos presentados y los demás datos expuestos el sistema FiME muestra desde el punto de vista económico, ser una opción muy viable y sobresaliente a las demás en cuanto a la disminución de riesgo financiero a lo largo del tiempo.

Criterios de sostenibilidad en el contexto del Centro Poblado El Vino.

Los criterios de sostenibilidad evaluados en la Tabla 21, fueron seleccionados con base a los criterios sugeridos para selección de tecnología del Artículo 14 de la Resolución 0330 de 2017, en la siguiente tabla se describe como se encuentra cada uno de los criterios desde el contexto de la Comunidad de El Vino, para dar un diagnóstico de las limitaciones o alcances de la propia comunidad, como objeto de estudio del presente proyecto:

CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD EN EL CONTEXTO DEL CENTRO POBLADO EL VINO

Tabla 21

Criterios de sostenibilidad ajustados al Contexto del Centro Poblado El Vino.

Criterios de Salud e Higiene	Criterios Ambientales	Criterios Socio Culturales	Criterios económicos	Criterios técnicos y de funcionamiento
- El agua proveniente del río Sabaneta no cumple con los límites máximos permisibles para turbidez y Coliformes Fecales fijados en la resolución 2115 de 2007. - En los estudios de calidad de aguas realizados se encontró en la fuente un pico máximo de turbidez de 9,42 UNT y 54 UFC/100mL de *E. Coli*. - El agua presento un Índice de riesgo de Calidad de aguas (IRCA) de 76,39%, que clasifica en un nivel de riesgo alto para consumo humano - El agua no es apta para consumo	- La cuenca presenta un grado de afectación antrópica bajo. - En la caracterización de la fuente en términos de cantidad se evidencia que la fuente de abastecimiento puede proporcionar el caudal requerido sin que esto genere afectaciones en la dinámica ecológica. - Se cuenta con un terreno destinado a la ejecución del proyecto, por lo que no es necesario afectar áreas adicionales en una futura ejecución del proyecto. La obra no presentaría impactos ambientales	- La comunidad cuenta con una organización comunitaria denominada Acuelvino que es la encargada de realizar mantenimiento y operación del sistema existente. - La comunidad del Vino en su mayoría tiene un nivel educativo primario y secundario. - En el caso de contraer alguna enfermedad relacionada al consumo de agua sin tratar, las personas posiblemente deberán asumir gastos médicos particulares. - Existe una brecha entre la zona urbana	- La mayoría de la población pertenece a los estratos 1 y 2, por lo que la capacidad de pago es limitada. - La comunidad asume un costo de 10.000 pesos Colombianos de forma bimensual por el suministro de agua cruda y el mantenimiento eventual de la infraestructura existente. - Hay evidencia en FINDETER que las tasas de éxito para tecnología de tratamiento es muy baja cuando se proponen instalaciones que requieren importante alcance económico para operación y	- El caudal de diseño requerido para un periodo de 25 años es de 4,5 L/s. - Los materiales de construcción para ejecutar las líneas de tratamiento de menor complejidad se pueden encontrar en los mercados de los municipios de Facatativá, El Rosal o la Vega. Materiales especializados pueden encontrarse en Bogotá D.C pero esto aumentaría los costos de ejecución. - El recurso humano y logístico no sería el suficiente para operar sistemas de importante complejidad técnica. - Se cuenta con un personal de

humano, pero aun así la comunidad la utiliza para todas las actividades de uso doméstico. - En encuestas realizadas a la comunidad de El Vino un 30, 7% de los encuestados manifestó que ellos o algún familiar presentaron problemas de salud debido a la calidad de agua suministrada. - La población es Vulnerable a contraer algún tipo de enfermedad hídrica si la fuente de abastecimiento cambia abruptamente sus condiciones de calidad. - El centro poblado el Vino no cuenta con un centro médico que pueda atender a una población afectada por alguna enfermedad de origen hídrico.	relevantes, independiente de la ruta de tratamiento seleccionada. - El terreno disponible presenta una vía de acceso público, por lo que el transporte de materiales no afectaría componentes ambientales. - Se cuenta con sistemas de captación, aducción y conducción, por lo que no es necesario realizar esas obras que generarían más factores de deterioro ambiental en la zona.	y rural, en temas de potabilización y saneamiento. - Apoyo deficiente en temas administrativos y logísticos desde la administración municipal. - Considerando que el Centro poblado el Vino es un reconocido corredor turístico, es desfavorable la ausencia de potabilización, afectando directamente el comercio ya que esto influye sobre la calidad de los productos y servicios ofrecidos. - Con el fin de suplir la deficiencia de agua potable una parte importante de la comunidad se ve obligada a comprar agua embotellada, lo que aumenta el costo de vida.	mantenimiento. - Los recursos económicos no serían suficientes para contratar recurso humano capacitado que opere sistemas técnicamente complejos. - Capacitar personal de la comunidad para operar un sistema complejo puede aumentar los costos de implementación y operación, ya que el personal debe tener una importante disponibilidad de tiempo, por lo que se deben asumir costos salariales para el personal encargado.	fontaneros que pueden operar y realizar mantenimiento a sistemas de tratamiento de baja complejidad que no necesiten de una importante disponibilidad de tiempo. - La diferencia altitudinal del terreno es favorable para la conducción, ya que no se hace necesario instalar bombas o redes de energía eléctrica, necesarias para operar la maquinaria requerida.

Nota: L**os** anteriores criterios de sostenibilidad son ajustados al contexto del Centro Poblado El Vino, y fueron claves para aplicar la matriz multi – criterios de la Tabla 22. **Fuente:** *Elaboración Bello – Gómez.*

Selección de la tecnología de tratamiento, aplicando matriz multi – criterio.

En la siguiente matriz multi - criterio es importante tener claro que en el eje horizontal, se disponen las tecnologías de tratamiento identificadas y en el eje vertical se disponen los criterios de sostenibilidad en el contexto de El Vino. Para no efectuar una evaluación subjetiva de las alternativas frente a los criterios, se tomaron en cuenta cada uno de los argumentos técnicos y económicos relacionados a las alternativas identificadas con el fin de determinar, cual opción es más favorable para el contexto de la comunidad. La siguiente matriz fue desarrollada por los autores del presente proyecto de diseño.

Tabla 22

Matriz multi - criterio para selección de tecnología de tratamiento

MATRIZ MULTICRITERIO		FIME			Convencional			Filtración directa en línea			Filtración directa floculante		
Criterios generales	Criterios específicos	Calificación	X̄	Ponderado	Calificación	X̄	Ponderado	Calificación	X̄	Ponderado	Calificación	X̄	Ponderado
Higiene (0,1)	Calidad del afluente[1]	5	5	0,5	2	3,5	0,35	4	4,5	0,45	3	4	0,4
	Calidad del efluente[2]	5			5			5			5		
Ambientales (0,1)	Requerimientos de área para construcción[3]	2	3	0,3	3	2,5	0,25	5	3,5	0,35	4	3	0,3
	Generación de residuos en operación[4]	4			2			2			2		
Culturales (0,15)	Apoyo institucional[5]	3	3,7	0,55	2	2,0	0,3	3	3,0	0,45	3	3,0	0,45
	Impacto sobre las tarifas[6]	4			2			3			3		
	Alcance logístico y administrativo[7]	4			2			3			3		
Económicos (0,35)	Costos construcción[8]	3	4,0	1,4	3	2,7	0,9	4	3,3	1,2	4	3,3	1,2
	Costos administración operación y mantenimiento[9]	5			2			3			3		
	Insumos[10]	4			3			3			3		
Técnicos (0,3)	Caudal de diseño[11]	5	4,3	1,3	3	2,7	0,8	4	3,3	1	4	3,3	1
	Capacidad recurso humano[12]	4			2			3			3		
	Requerimiento de tiempo para operación y mantenimiento[13]	4			3			3			3		
Calificación total				4,1			2,6			3,4			3,3

Fuente: *Elaboración Bello – Gómez.*

Método de calificación: Se aplica método de calificación donde 5 es la calificación más favorable, teniendo en cuenta los criterios específicos asociados al contexto de la comunidad, para determinar las sostenibilidad del sistema.

Método de ponderación: Para los criterios generales se asignó un ponderado a cada uno, donde el criterio de higiene tiene un valor de 0,1, de la misma manera ambiente tiene un valor de 0,1 en el ponderado final, al criterio cultural se le asignó un peso del 0,15, por su parte el criterio técnico representa un 0,3 sobre el ponderado total y por último el criterio de mayor peso es el económico con un 0,35.

El criterio económico es el de mayor peso sobre el ponderado debido a que este es un factor clave, para garantizar la sostenibilidad del sistema seleccionado a lo largo del tiempo, el segundo factor de mayor peso es el técnico, ya que determinara la forma en como la tecnología seleccionada realizara sus actividades de operación y mantenimiento, además de que este criterio también afecta en gran medida al económico.

Los demás criterios tuvieron una ponderación baja en vista de que sí los criterios económicos y técnicos funcionan adecuadamente, probablemente se reduzca la posibilidad de tener problemáticas en los demás criterios.

Descripción del método de evaluación de los criterios específicos.

Tabla 23

Descripción de las consideraciones tomadas para calificar los criterios específicos en la matriz multi criterio.

Criterio	Descripción
Calidad del afluente[1]	La calificación más alta corresponde a la alternativa, que presente una capacidad de tratamiento acorde a las necesidades de remoción encontradas, teniendo en cuenta la caracterización en términos de calidad del afluente. De modo que la tecnología NO exceda las capacidades o que presente limitaciones para el caso formulado.

Calidad del efluente[2]	Capacidad de cada sistema para cumplir con las disposiciones de la Resolución 2115 de 2007, sobre agua potable.
Requerimientos de área para construcción[3]	La calificación más alta corresponde a los sistemas que requieren una menor área para su construcción.
Generación de residuos en operación[4]	La calificación más alta se otorga a la alternativa que presente la menor generación de residuos sólidos, como puede ser los empaques o recipientes de los coagulantes químicos; por dar un ejemplo.
Apoyo institucional (Externo)[5]	Se considera la complejidad de cada sistema y las dificultades técnicas que estos pueden presentar a lo largo del tiempo, donde se evaluara la posibilidad de un apoyo administrativo y logístico, por parte de la administración municipal u otra entidad, para garantizar la sostenibilidad de cada alternativa.
Impacto sobre las tarifas[6]	En función de los costos de administración, operación y mantenimiento, cada alternativa presentara un impacto mayor o menor sobre las tarifas del servicio, por lo que la calificación más alta se otorga a la alternativa que muestre un impacto tarifario menor.
Alcance logístico y administrativo (Interno)[7]	Teniendo en cuenta la complejidad de cada sistema se otorgara la calificación más alta a la alternativa que se ajuste mejor a la capacidad organizacional, administrativa y logística de la comunidad para operar y mantener el sistema a lo largo del tiempo.
Costos construcción[8]	La Calificación más alta se otorga a la alternativa que según la gráfica presentada en la Figura 21, presente los menores costos de construcción, donde es importante tener en cuenta que los costos estas en función del Caudal de Diseño.
Costos de administración operación y mantenimiento[9]	La Calificación más alta se otorga a la alternativa que según la gráfica presentada en la Figura 22, presente los menores costos de administración, operación y mantenimiento, donde es importante tener en cuenta que los costos estas en función del Caudal de Diseño. Además se considera la frecuencia de reposición de la Tabla 20, debido a que afecta directamente los costos de mantenimiento.
Insumos[10]	La calificación más alta corresponde al sistema, que requiera una menor cantidad de insumos, ejemplo, uso de coagulantes.
Caudal de diseño[11]	Se evalúa que alternativa es la más adecuada teniendo en cuenta el caudal de diseño y considerando que hay sistemas que son más aptos para caudales grandes o pequeños.
Capacidad recurso humano[12]	Teniendo en cuenta la complejidad de cada sistema se otorgara la calificación más alta a la alternativa que se ajuste mejor a la capacidad técnica y operativa del recurso humano disponible para operar eficientemente en sistema

Requerimiento de tiempo para operación y mantenimiento[13]	La calificación más alta corresponderá a la alternativa que requiera una menor fracción de tiempo completo, por parte del personal encargado.

Fuente: *Elaboración Bello – Gómez.*

Análisis de la matriz multi Criterio.

Según el desarrollo de la matriz multi criterio la tecnología más viable para ser diseñada como sistema de potabilización del Centro Poblado El Vino es la tecnología FiME, en vista de que esta presento importantes ventajas frente a las demás opciones especialmente en los criterios de mayor importancia como el económico y técnico.

Además se mostró más favorable en los criterios higiene y cultural, siendo una opción de baja complejidad frente a temas de operación y mantenimiento, ofreciendo un muy buen balance entre el costo – beneficio, ya que permite alcanzar los criterios de higiene dentro de sus capacidades de operación sin ser un sistema que exceda capacidades o que presente limitaciones para el caso formulado.

En el criterio ambiental presento una falencia, siendo por esta razón superada por la filtración directa en línea, la cual mostró ser más viable, en especial por el tema de requerimientos de área; pero observando el contexto general, la Población de El Vino, cuenta con un terreno previamente destinado para la construcción de un sistema de potabilización, por lo que no sería necesario buscar terrenos para desarrollar esta tecnología, por otra parte sus ventajas en los demás criterios compensan muy bien su limitante en materia ambiental. Por lo que la tecnología FiME es con certeza la tecnología más viable para ser diseñada.

Como criterios que respaldan esta decisión se cuenta con varios datos relevantes establecidos en el artículo *análisis de costos en sistemas de potabilización de agua* y que reafirman selección de la tecnología FiME.

Para el sistema FiME un estudio realizado por *Gustavo Hurtado* en plantas con un caudal de operación menor a 9 L/s, evidencio que los costos de operación y mantenimiento, en esta ruta se ven reflejados mayoritariamente en la remuneración del personal encargado, abarcando hasta más del 60% de los costos y otro porcentaje importante en el gasto requerido para el proceso indispensable de desinfección química. (Hurtado, 1996)

Como criterio clave en cuanto a costos de implementación se determinó que el sistema FiME es más viable económicamente que los ciclos de tratamiento completo hasta caudales de diseño iguales o inferiores a 70 L/s. (Galvis, 1988)

Adicionalmente según el documento técnico Filtración en Múltiples Etapas publicado por el CINARA, la tecnología FiME presenta una estructura de costos mucho más favorable que las otras tecnologías con coagulación química debido a que los costos administrativos, operacionales, mantenimiento y reposición de componentes, son muy bajos al contrastar con las otras opciones.

Esto se debe según el documento citado a que no requiere materias primas, ni energía eléctrica para su operación, también es muy favorable el hecho de que proporciona autonomía técnica a las comunidades en vista de que no requiere productos químicos a excepción de los usados en desinfección, no requiere componentes o repuestos importados, no implica el uso de maquinaria para su operación y además no exige de la vigilancia de un personal experto y con altos niveles de escolaridad para poder operar eficientemente.

Como otro criterio económico atractivo se encuentra que la tecnología FiME puede llegar a tener una vida útil mayor a 50 años por lo que las posibilidades de recuperar la inversión y generar utilidades o beneficios, es alta.

En función de lo anterior se eligió el sistema FiME, en la combinación de grado de contaminación intermedio mostrado en la Tabla 18, recordando que esta combinación fue la seleccionada a criterio por los diseñadores para hacer el respectivo contraste con las demás alternativas tecnológicas, por lo tanto el diseño del sistema de potabilización para el Centro Poblado El Vino, corresponderá a esta combinación.

Diseñar los procesos y operaciones unitarias para la potabilización del agua

Los siguientes resultados corresponden al diseño del sistema FiME, donde las dimensiones de cada uno de los componentes o estructuras, son expresadas en metros del Sistema internacional de unidades. Es importante recordar que este sistema se trazó para un

caudal de diseño de 4,5 L/s y atendiendo a un horizonte de operación de 25 años, como se reglamenta en la Resolución 0330 de 2017.

Es importante dar a conocer que por criterios técnicos cada uno de los filtros que componen el sistema FiME, tienen un duplicado en el sistema, que permite facilitar las labores de mantenimiento sin interrumpir el suministro de agua. Por lo que en operación normal cada unidad de filtración debería operar a “media marcha” y cuando se planifiquen labores de limpieza una sola unidad trabajara con la totalidad del caudal de diseño.

Adicionalmente de forma previa se indica que el espesor de los muros para la estructura en general, es un valor adoptado de 0,15 metros que corresponde al promedio de espesor de un muro de mampostería.

Entrada al sistema.

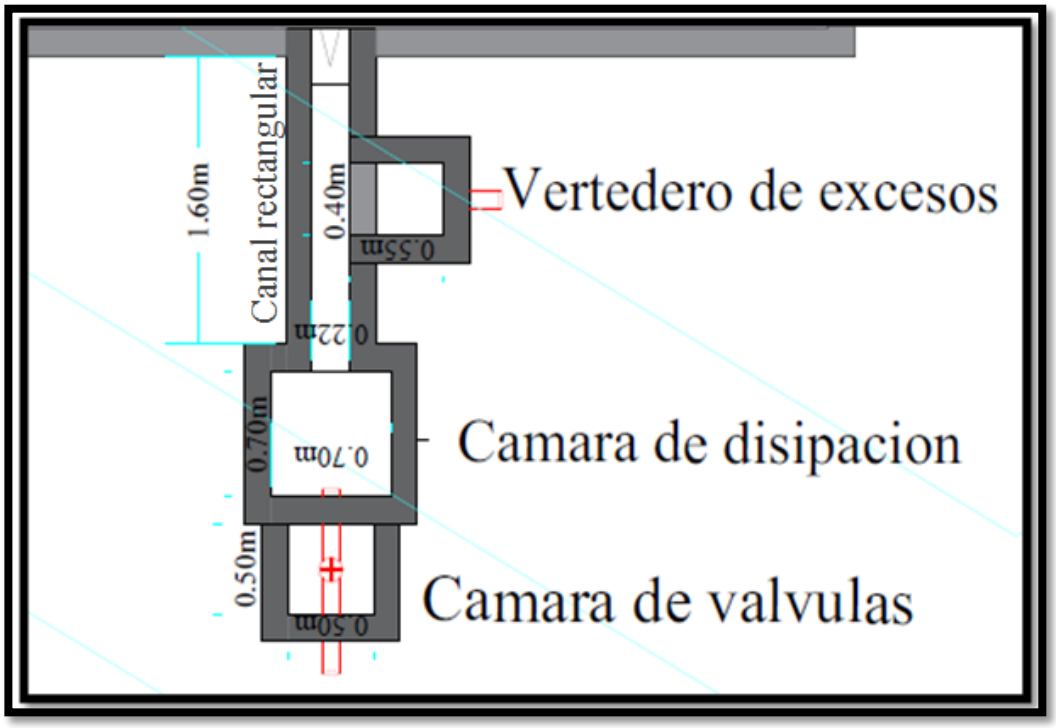


Figura 23: Estructuras de entrada al sistema, vista en planta. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

Cámara de Válvulas de Control.

Conociendo que la línea de conducción descrita anteriormente presenta un diámetro de tubería de 0,1016 metros (4 pulgadas), el cual es suficiente para transportar un caudal igual o

superior al caudal de diseño estimado, la cámara de válvulas se diseñó de forma que se puede contar con una válvula de compuerta, adicionalmente se consideraron las recomendaciones básicas para estas estructuras, las cuales son descritas en el Artículo 68 de la Resolución 0330 de 2017. En consideración de lo anterior las dimensiones de la cámara de Válvulas son:

Tabla 24

Dimensiones adoptadas para la Cámara de Válvulas de Control.

Cámara de Válvulas de Control (m)	
Diámetro Tubo de Entrada	0,1016
Espesor de muros	0,15
B	0,5
L	0,5
H	0,51

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto

Cámara de disipación de energía.

Considerando que para estos sistemas es necesario proponer a lo largo del tren de tratamiento varias estructuras de disipación de energía, se adoptó la siguiente cámara de disipación de energía a la entrada del sistema FiME:

Tabla 25

Dimensiones adoptadas para la Cámara de Disipación de energía.

Cámara de Disipación de energía (m)	
B	0,7
L	0,7
H	0,51

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto

Canales rectangulares.

El canal de ingreso se diseñó de forma posterior al diseño del vertedero triangular, por lo que el canal es función de la estructura de aforo, es importante tener en cuenta que la longitud del canal es de 10 veces la carga hidráulica sobre el vertedero, por lo que como se observa la longitud del canal fue de 1,6 metros. Las demás dimensiones del canal se adoptaron en función de las dimensiones del vertedero de aforo.

Tabla 26

Dimensiones calculadas para el canal de entrada al sistema.

Canal Rectangular de Ingreso (m)	
B canal	0,22
L	1,6
H	0,26
BL	0,05
H total	0,31

Nota: Considerar lo siguiente, **B canal:** Ancho, **L:** Largo, **H:** Altura del canal, **BL:** Borde Libre del Canal y H total: es la suma de la altura del canal más el borde libre.

Es importante acotar que los FGAC y los FLA, también cuentan con canales rectangulares que permiten la estabilización de flujo necesaria para garantizar un buen funcionamiento de los vertederos de aforo dispuestos antes de las respectivas cámaras de entrada a cada unidad. En estos canales subsiguientes, se adoptaron longitudes que fueran necesariamente mayores a 10 veces la carga hidráulica sobre el vertedero, de forma que se alcancen las condiciones de operación óptimas.

Vertederos de excesos.

Considerando que la línea de conducción puede transportar un caudal superior al caudal de diseño para el sistema, se propusieron vertederos de exceso a lo largo del tren de tratamiento FiME, para garantizar que el sistema no sea excedido y que el aforo en los vertederos triangulares sea lo más preciso posible. Para el ancho de cada uno de estos vertederos se adoptó 0,4 metros, para que de esta forma las láminas de agua generadas sobre los mismos no excedan el borde libre en los canales rectangulares incluso con excesos iguales a los del propio caudal de diseño.

Tabla 27

Calculo de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero.

Vertedero de excesos (m)	
B	0,4
L	0,55
H lamina	0,03
H total del canal	0,31

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo, **H lamina:** Altura de la lámina de agua sobre el vertedero, **H total del Canal:** la altura del vertedero es igual a la del canal.

Es importante tener en cuenta que los siguientes vertederos de excesos en la ruta de tratamiento FiME, fueron dispuestos antecediendo al FGAC y al FLA, considerando que las condiciones de operación para todo el sistema son iguales, estos vertederos tienen las mismas dimensiones que las estipuladas en la Tabla 27.

Vertedero triangular.

Aplicando la Ecuación 17 junto con los fundamentos teóricos asociados, se calculó la carga hidráulica sobre el vertedero, la cual es la altura de la lámina de agua que va a fluir sobre la apertura de 30 grados dispuesta para este, esta estructura permite regular el caudal de diseño requerido para que el sistema opere de forma armónica, la ubicación de este tipo de vertedero en el sistema se hizo de forma que se logre la descarga libre bien sea en el canal de disipación de energía al ingreso del FGDi o en cada una de las cámaras de entrada a los FGAC o los FLA. Las dimensiones de este tipo de vertedero se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 28

Dimensiones calculadas para el vertedero triangular.

Vertedero Triangular (4,5 L/s)	
Q (m^3 /s)	0,0045
Cd	0,72
g (m/s^2)	9,81

Angulo (°)	30
Tan (θ/2)	0,268
h carga hidráulica (m)	0,16
Ancho apertura (m)	0,11
Y (m)	0,1
BL (m)	0,05

Nota: Considerar lo siguiente, **Q:** Caudal de Diseño, **Cd:** Coeficiente de descarga, **g:** Fuerza de gravedad, **Y:** Altura desde la cota batea del canal hasta el inicio de la apertura del vertedero.

Es importante mencionar que en las cámaras de entrada a los FGAC y los FLA, también se disponen de vertederos triangulares pero estos fueron diseñados para aforar solo la mitad del caudal de diseño en vista de que el sistema FiME, trabaja con dos unidades por cada componente o en este caso filtro. Los vertederos triangulas generalmente y para tenerlo en cuentan son en materiales como acrílico o aleaciones con metales resistentes a la corrosión.

Área superficial para los filtros.

Para la estimación de las áreas de filtración en cada uno de los tres filtros se utilizaron dos variables importantes la primera es el caudal de diseño y la segunda es la tasa de filtración la cual fue seleccionada dentro de los rangos de velocidades sugeridas para cada tipo de filtro en el marco teórico. Aplicando la Ecuación 19 se obtuvieron las siguientes áreas superficiales:

Tabla 29

Áreas superficiales calculadas para cada tipo de filtro.

Tipo de Filtro	Tasa de filtración en (m/h)	Área superficial en m^2
FGDi	2	8,1
FGAC	0,5	32,4
FLA	0,15	108

Nota: Áreas superficiales correspondientes a una solo unidad de tratamiento, recordar que son 2 unidades por cada tipo de filtro.

Filtro Grueso Dinámico.

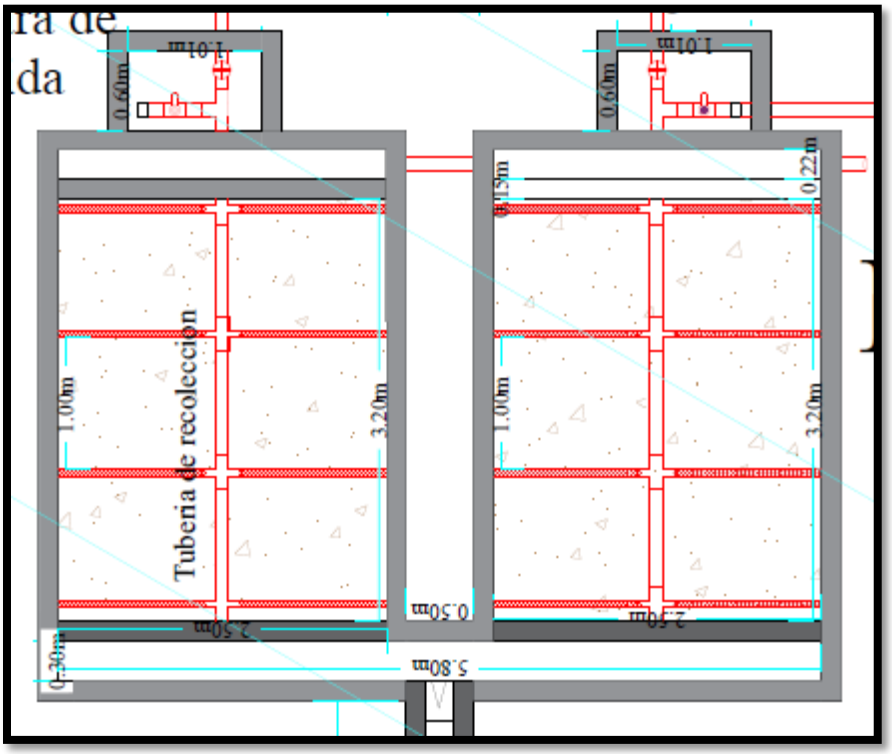


Figura 24: Filtro Grueso Dinámico, vista superior. ***Fuente****: Autores del proyecto.*

Cámara de disipación de energía al inicio del filtro.

Considerando la necesidad de estabilizar el flujo luego de la descarga del vertedero triangular se diseñó una cámara de disipación de energía que además de lo anterior permite distribuir el flujo en cada una de las dos unidades de filtración. Las dimensiones adoptadas para esta estructura son las siguientes:

Tabla 30

Dimensiones adoptadas para la cámara de disipación de energía.

Cámara de Disipación (m)	
B	0,3
L	5,8
H	0,3
Separación entre Filtros	0,50

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto.

Características del lecho empacado.

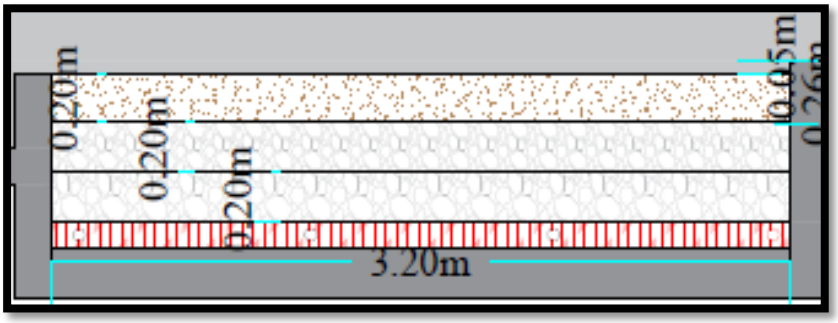


Figura 25: Filtro Grueso Dinámico, vista lateral. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

El número de capas, su espesor y el diámetro de las partículas dispuestas en cada una, fueron adoptados atendiendo a los criterios sugeridos en la Tabla 1 del marco teórico.

Tabla 31

Criterios de diseño adoptados para el Filtro Grueso Dinámico.

Ubicación	Espesor (m)	Diámetros de partículas (mm)
1. Superior	0,2	4
2. Intermedio	0,2	12
3. Fondo o soporte	0,2	24

Tubería de recolección.

Para la recolección del agua filtrada en esta etapa se dispuso de un colector principal ubicado en el centro del filtro, con tuberías perforadas de menor diámetro las cuales son perpendiculares a este, que además de permitir la captación del agua, facilita a su vez las tareas de lavado, estas tuberías fueron distribuidas en forma de espina de pescado para garantizar una recolección homogénea del flujo.

Cámaras de salida.

Las cámaras de salida se diseñaron adoptando medidas que permitan una cómoda maniobrabilidad por parte de los operarios, en estas cámaras se disponen dos tipo de válvulas la primera de estas es una válvula de compuerta y la segunda es una Válvula de apertura rápida, dispuesta en esta ubicación para permitir el lavado de los lechos cuando tengan una alta colmatación. Las dimensiones adoptadas para las cámaras de salida son las siguientes:

Tabla 32

Dimensiones adoptadas para la cámara de salida.

	Cámaras de salida (m)
B	0,6
L	1,0
H	0,7

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto.

Filtro Grueso Ascendente en Capas.

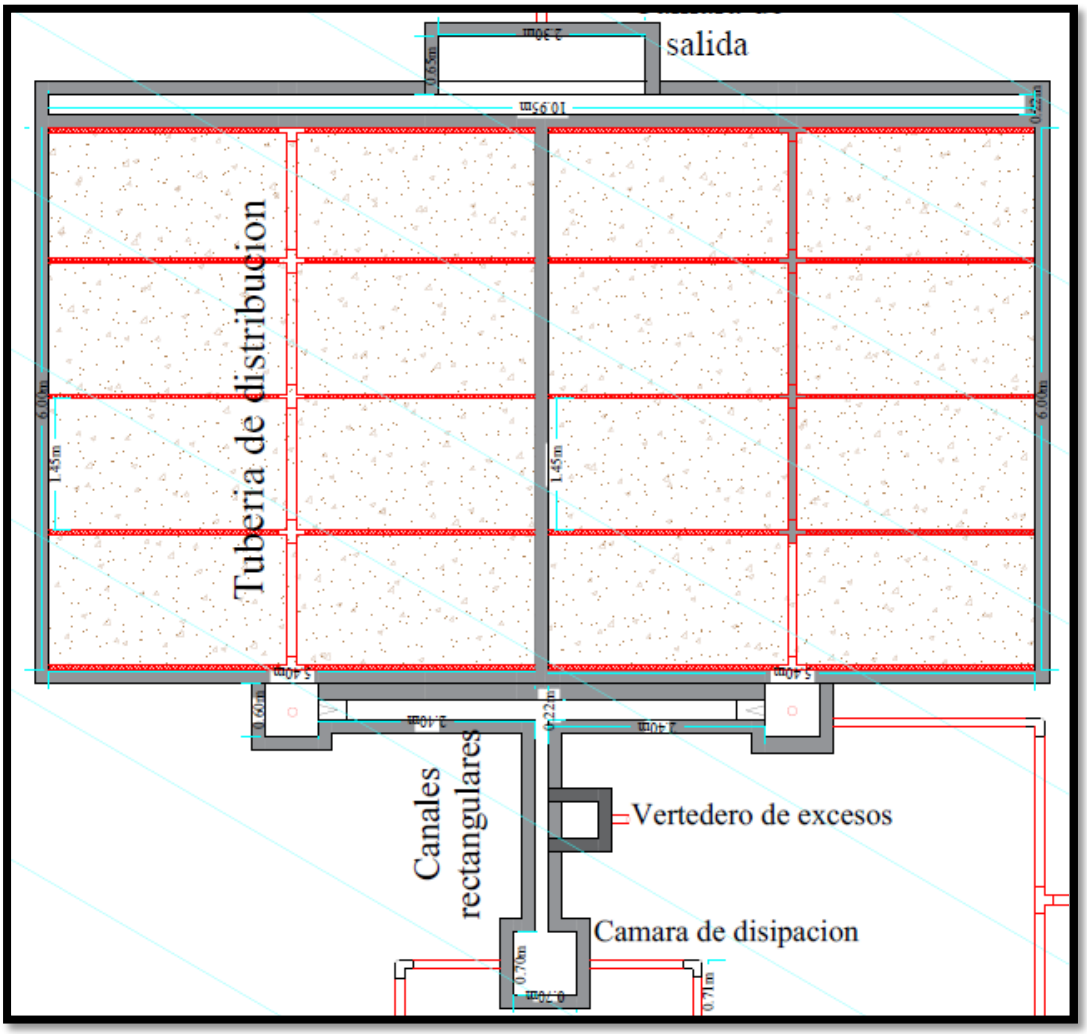


Figura 26: Filtro Grueso Ascendente en Capas, Vista superior. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

Cámara de disipación de energía.

Con la necesidad de contar con una estructura que estabilice el flujo antes de cualquier sistema de vertederos y antes del canal rectangular que conecta con las cámaras de entrada al FGAC se diseñó la siguiente cámara:

Tabla 33

Dimensiones adoptadas para la cámara de disipación de energía.

Cámara de disipación de energía (m)	
B	0,7
L	0,7
H	0,5

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto

Cámaras de entrada.

Las cámaras de entrada fueron diseñadas con el fin de conducir por medio de un drenaje de fondo el flujo de agua hacia la tubería de distribución del Filtro ascendente.

Tabla 34

Dimensiones adoptadas las cámaras de entrada.

Cámara de entrada a cada Filtro (m)	
B	0,6
L	0,6
H	0,31

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto.

Características del lecho empacado.

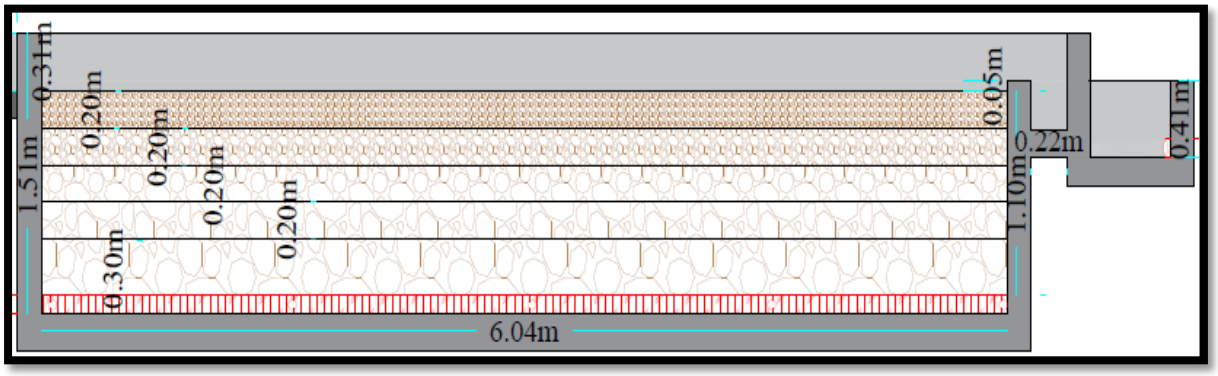


Figura 27: Filtro Grueso Ascendente en Capas, vista en lateral. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

El número de capas, su espesor y el diámetro de las partículas dispuestas en cada una, fueron adoptados atendiendo a los criterios sugeridos en la Tabla 2 del marco teórico.

Tabla 35

Criterios de diseño adoptados para el Filtro Grueso Ascendente en Capas.

Ubicación	Espesor (m)	Diámetros de partículas (mm)
Soporte	0,3	20
1	0,2	14
2	0,2	10
3	0,2	4
4	0,2	2

Tubería de distribución.

Para la tubería de distribución y recolección del lavado, en esta etapa se dispuso de un colector principal ubicado en el centro del filtro, con tuberías perforadas de menor diámetro las cuales son perpendiculares a este, que además de permitir la distribución del agua, facilitan a su vez las tareas de retro lavado, estas tuberías fueron distribuidas en forma de espina de pescado para garantizar una distribución homogénea del flujo.

Cámara de salida.

La cámara de salida de este sistema recibe el agua del canal de captación, en esta cámara el flujo proveniente de ambos filtros, es estabilizado y conducido al canal rectangular que da inicio a la siguiente etapa de filtración. Con respecto a las demás cámaras de salida del sistema esta funciona de forma similar a un vertedero rectangular por lo que se realizó el cálculo de la lámina de agua sobre la cresta de la cámara, en función del caudal de diseño.

Tabla 36

Dimensiones adoptadas las cámaras de salida.

Cámara de Salida (m)	
B	2,3
L	0,65
H	0,41
h lamina	0,024

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto.

Filtro Lento en Arena.

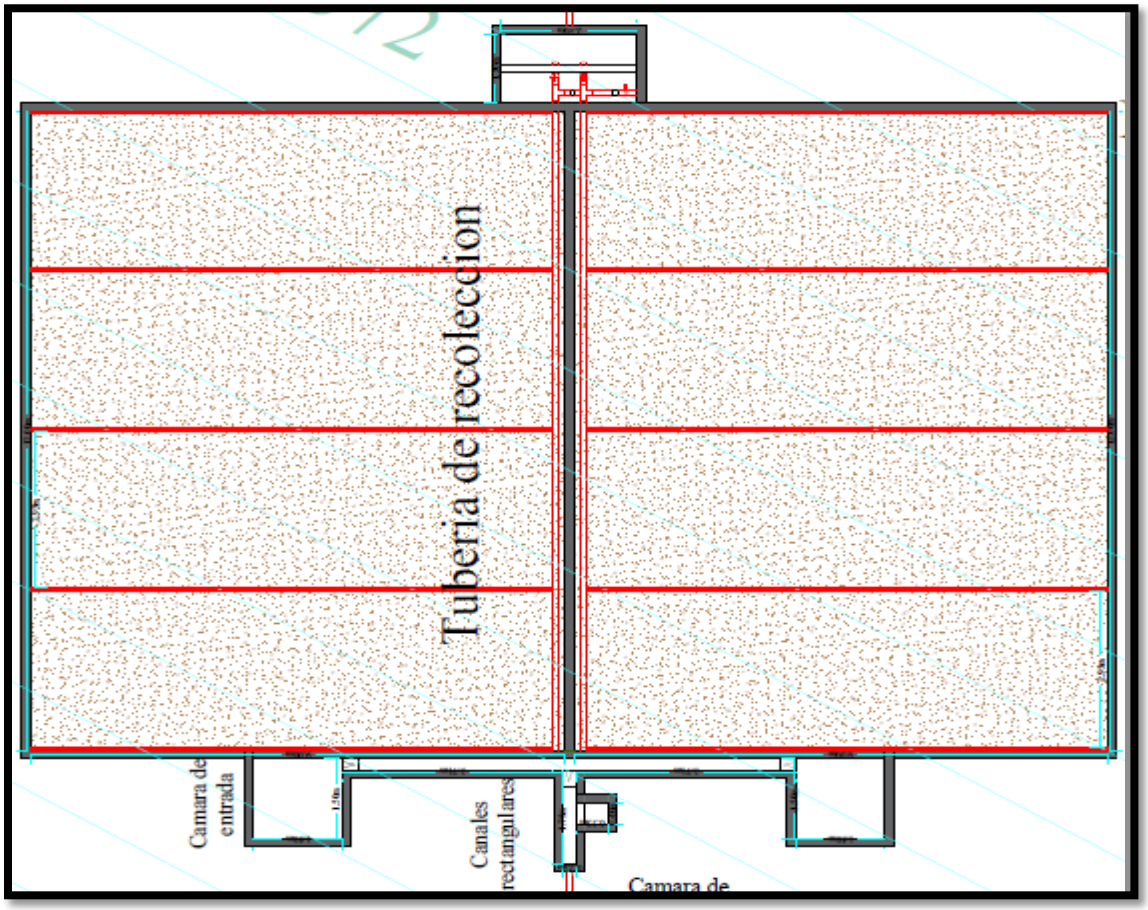


Figura 28: Filtro lento en Arena, vista superior. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

Cámara de entrada.

La cámara de entrada a este filtro se diseñó de forma que el flujo perdiera energía antes de ingresar a la superficie del lecho, esto garantiza que no se generen velocidades de arrastre al ingreso y se afecte el desarrollo de la capa Schmutzdecke.

Tabla 37

Dimensiones adoptadas las cámaras de entrada.

Cámara de entrada a cada Filtro (m)	
B	1,5
L	1,5
H	1,5

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto

Características del lecho empacado.

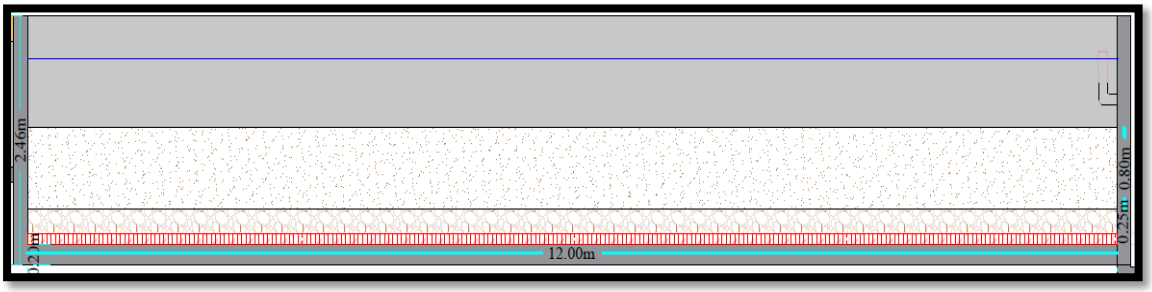


Figura 29: Filtro Lento en Arena, vista en lateral. ***Fuente:*** *Autores del proyecto.*

El número de capas, su espesor y el diámetro de las partículas dispuestas en cada una, fueron adoptados atendiendo a los criterios sugeridos en la Tabla 3 del marco teórico.

Tabla 38

Criterios de diseño adoptados para el Filtro lento en Arena.

Capa	Ubicación	Espesor (m)	Diámetros de partículas (mm)
Arena	Superior	0,80	0,2
Grava	Soporte	0,25	24

Tubería de recolección.

A diferencia de los demás filtros, el sistema de tuberías se dispuso de otra manera, ya que el tubo principal del sistema no fue dispuesto en el centro de cada unidad, si no junto al muro que divide las dos unidades facilitando así la unificación del flujo para poder conducir el total del caudal tratado a la cámara de salida y de este componente a la cámara de desinfección.

Cámara de válvulas.

Estas cámaras se dispusieron a la salida de los tubos de recolección de los filtros lentos, estas se diseñaron con el propósito de contar con válvulas de compuerta para tener la posibilidad de interrumpir la salida de agua, en especial para labores de lavado, por lo anterior la cámara también se añadieron redes de lavado con válvulas de apertura rápida que permitan el lavado del filtro lento.

Tabla 39

Dimensiones adoptadas para la cámara de válvulas.

	Cámara de Válvulas (m)
B	2,3
L	0,58
H	0,63

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto.

Cámara de salida.

Estas cámaras unifican el flujo que proviene de cada una de los dos tubos de recolección de las unidades de filtración, de modo que el agua pueda ser conducida a la cámara de desinfección.

Tabla 40

Dimensiones adoptadas para la cámara de salida.

	Cámara de Salida (m)
B	2,3
L	0,58
H	0,63

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto

Caída de presión en cada uno de los filtros.

Desarrollando las Ecuaciones 21 y 22, se estimaron pérdidas de presión en cada uno de los filtros del sistema esto con el fin de evaluar las condiciones de operación del sistema en función de las características de las capas de los lechos empacados y las tasas de filtración aplicadas.

Tabla 41

Estimación de la pérdida de presión en cada filtro aplicando el método de Ergún.

Tipo de Filtro	Numero de Reynolds	Flujo Dominante	Perdida de presión estimada en (mca)
FGDi	6	Turbulento	0,0017
FGAC	1,12	Turbulento	0,002123
FLA	0,41	Turbulento	0,037

Con las pérdidas de presión estimadas se corroboro que las condiciones de operación en el sistema desde el punto de vista teórico son las adecuadas y no es necesario proponer soluciones correctivas a condiciones de operación desfavorables.

Cámara de desinfección.

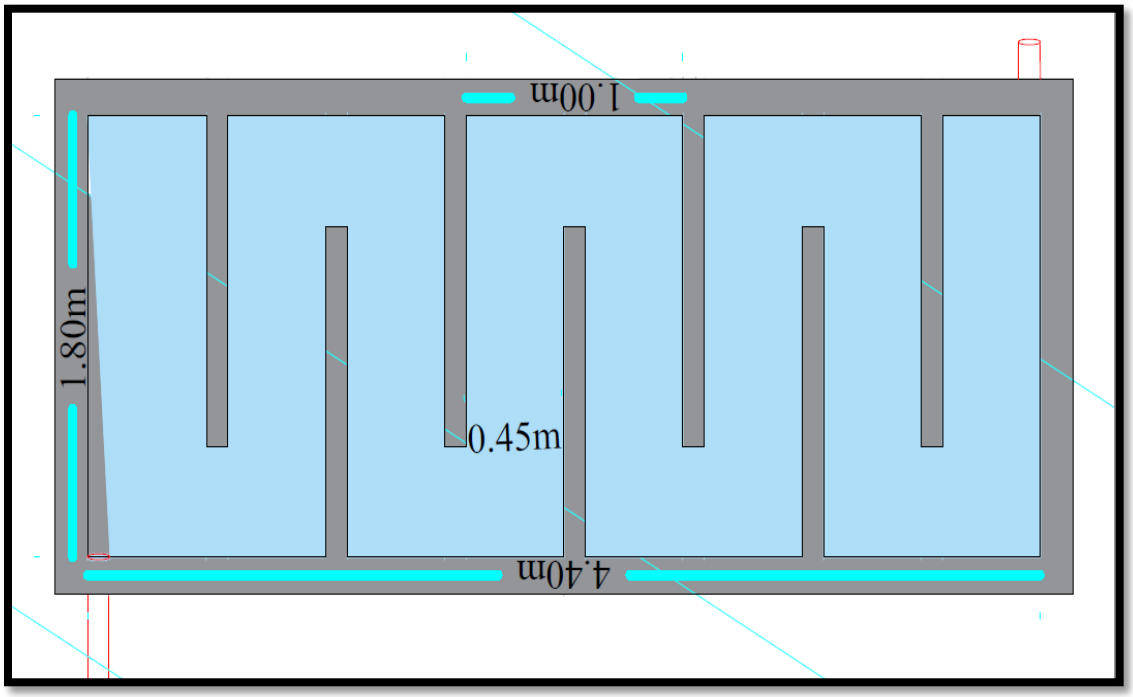


Figura 30: Cámara de desinfección, vista superior ***Fuente:*** *Autores del proyecto*

La cámara de desinfección fue calculada considerando el caudal de diseño y el tiempo de retención mínimo reglamentado en el Parágrafo 2 del artículo 121 de la Resolución 0330 de 2017.

Tabla 42

Dimensiones calculas para la cámara de desinfección.

Cámara de desinfección	
Tiempo de retención (s)	1.200
Caudal de diseño (m^3/s)	0,0045
Volumen de la Cámara (m^3)	5,4
B (m)	1,8
L (m)	4,4
H (m)	0,8
Espesor del muro de las pantallas (m)	0,1
Separación entre pantallas (m)	0,45

Nota: Considerar lo siguiente, **B:** Ancho, **L:** Largo y **H:** Alto

Determinación de la dosis de Penclorito

Para concluir con el diseño del sistema se estimó la dosis requerida de penclorito, con base a lo estipulado en el libro "*Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*".

Tabla 43

Estimación del Caudal de solución de Penclorito, necesario para realizar la desinfección terminal del caudal de Diseño.

Dosis de Penclorito (130)	
Concentración(g/L)	130
Caudal (m^3/s)	0,0045
Caudal (L/s)	4,5
Demanda de cloro adoptada (mg/L)	1,5
Gasto de penclorito (g/d)	583,2
Litros por día (L/d) de Penclorito	4,5
Caudal en la bomba dosificadora (mL/s)	5,2

Con este último componente del sistema de potabilización se concluyó la fase de diseño del presente proyecto, los respectivos planos de cada uno de los filtros que componen el sistema FiME fueron agregados como Anexos del proyecto, por otra parte los demás datos referentes al proyecto, así como los cálculos de cada una de las estructuras dispuestas en los planos son consultables en el documento Excel que se anexa como soporte del proyecto.

CONCLUSIONES

- La fuente de abastecimiento denominada Río Sabaneta según la caracterización en términos de cantidad, cuenta con el caudal suficiente para satisfacer la demanda de agua de la comunidad de El Vino para un periodo de diseño de 25 años, sin que esta captación continua, limite el paso del caudal necesario para que la cuenca continúe con sus dinámicas ecosistemicas. Con la caracterización en términos de Calidad se corroboro que el agua cruda suministrada a la Población de El Vino, no es apta para el consumo humano, debido a que según los resultados de los análisis de calidad de aguas el Índice de riesgo de esta agua es clasificado como alto.

- Con la selección de tecnología, se concluyó que según los criterios de Sostenibilidad estructurados desde el Contexto del Centro Poblado El Vino y la información consultada de cada una de las alternativas de tratamiento, la tecnología más idónea para los alcances de la comunidad, es la tecnología FiME, en su combinación para agua de riesgo intermedio.

- La ruta de tratamiento FiME, diseñada para el Centro Poblado El Vino, es una tecnología de fácil operación y mantenimiento que puede ser sostenible en el tiempo, sin ayudas importantes de la administración municipal u otras instituciones, por lo que esta propuesta le ofrece autonomía a la comunidad en términos operativos.

- Los criterios de diseño adoptados fueron los adecuados considerando que las pérdidas de presión calculadas para el sistema, sugieren unas condiciones de operación apropiadas en cada uno de los filtros.

- Desde nuestro criterio como futuros Ingenieros Ambientales y según lo analizado en el desarrollo del proyecto, la tecnología FiME es una opción con un bajo riesgo financiero para poblaciones rurales con limitadas capacidades técnicas y económicas. Lo anterior no quiere decir que este sistema sea aplicable para todos los casos donde se requiera un sistema de potabilización, dado que es indispensable caracterizar de la mejor forma posible los alcances de la comunidad en estudio. Respecto al diseño de este tipo de sistema, aun se tienen muchos aspectos técnicos por definir por lo que en términos generales, hay una mayor libertad para los diseñadores al momento adoptar criterios de funcionamiento sobre cada una de las estructuras.

RECOMENDACIONES

- Es indispensable que ante una hipotética construcción del sistema FiME diseñado, se realicen pruebas piloto, para determinar según las condiciones de la zona y las características del agua a tratar, que tasas de filtración son más eficientes para el caso, así como también, se debe verificar en la prueba piloto, que las condiciones de operación importantes, como la caída de presión, sean mínimas como sucedió en el diseño teórico del presente proyecto.

- Antes de la construcción de un sistema FiME es fundamental determinar la capacidad portante del suelo, con el fin de establecer qué tipo de cimentación es la más adecuada para evitar fallas en la consistencia del terreno.

- Es importante que este tipo de sistemas cuenten con un flujo continuo de agua, ya que periodos prolongados de tiempo sin flujo de agua, afectan directamente las condiciones de operación en el filtro lento.

- En los filtros lentos es importante permitir y monitorear el desarrollo de la Capa Schmutzdecke, ya que esta aumenta la eficiencia tratamiento en estos filtros, por lo que se puede esperar que al momento de las labores de mantenimiento se recupere la tasa de filtración pero se disminuya la eficiencia de remoción en el filtro hasta que de nuevo vuelva a regenerarse esta bio - película.

- Para conocer acerca de las labores de mantenimiento de estos sistemas se puede consultar la guía Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Agua por Filtración en Múltiples Etapas, FiME de la autoría del CINARA y la Universidad del Valle.

REFERENCIAS

Aristizabal, G. &. (Recuperado en 2019). *ANÁLISIS DE COSTOS EN SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.* Cali: Univalle.

Arturo González H., A. M. (2000). *TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN DE AGUA.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Ascencio, M. T. (2010). *Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones* . Mexico DF: Instituto Mexicano de tecnología del agua.

Brito, N. V. (2007). *Alternativas de potabilización para el agua que abastecera a la ampliación del aeropuerto internacional de la ciudad de Mexico.* Mexico DF: Instituto Politecnico Nacional .

CAR. (2014). DISTRITO DE MANEJO INTEGRADO DMI CUCHILLA EL CHUSCAL. En *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL* (págs. 21 - 24 - 26 - 27- 28). Bogotá.

Cárdenas, Y. A. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN FLOCULACIÓN.* Lima: SEDAPAL.

Carlos Facundo, L. D. (2016). *Caracterización experimental del flujo de aproximación a.* Cordoba.

CASTAÑO, G. G. (1999). *FILTRACIÓN EN MULTIPLES ETAPAS.* Calí: Univalle.

Corporación Autonoma Regional. (2014). DISTRITO DE MANEJO INTEGRADO DMI CUCHILLA EL CHUSCAL. En *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL* (págs. 53 - 54 - 55 - 73 - 74). Bogotá.

Cualla, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .

Empresa Descalcificador. (18 de 01 de 2017). *Descalcificador 10.* Obtenido de Agua Potable: su historia: https://descalcificador10.com/agua-potable-historia/

EPC. (2016). *Plan estratégico 2016 - 2020, EPC* . Bogotá: Empresas Publicas de Cundinamarca .

FINDETER. (2017). *Informe sectorial: Agua potable y Saneamiento básico.* Obtenido de file:///C:/Users/Personal/Desktop/Desktop/Redacci%C3%B3n%20Documento%20Tesis/Informe%20de%20agua_02octubre2017NMV.pdf

Galvis, A. (1988). *Costo de Plantas de Filtración Lenta en Arena. Proyecto Integrado de Investigación y Promoción de la Filtración Lenta en Arena.* . Cali: Univalle.

GALVIS, G. (1999). *FILTRACIÓN EN MULTIPLES ETAPAS.* Calí: Univalle.

Gómez, I. C. (2000). *Saneamiento Ambiental.* Costa Rica: EUNED.

Gonzalez, D. G. (1996). *Biblioteca digital de la CAR.* Obtenido de http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/33791/00011.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Herrera, W. L. (2014). *DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (ºC). PERIODO 1981 -2010.* Bogotá: IDEAM.

Hurtado, G. (1996). *Costos de Administración, Operación y Mantenimiento en Plantas de Filtración en Múltiples Etapas.* . Cali: Univalle.

IDEAM. (2003). *GUIA PARA EL MONITOREO DE VERTIMIENTOS, AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS* . Bogotá.

IDEAM. (2014). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de TIEMPO Y CLIMA: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

IDEAM. (2014). *METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS.* Bogotá.

IDEAM. (2018). *Boletines climatologicos* .

ITM. (2015). *Caída de presión en lechos empacados* . Mexicali.

Jorge Latorre. (2007). *Filtración en multiples etapas* . Centro Internacional En Agua y Saneamiento.

Latorre, J. (1994). *Performance evaluation of dynamic roughing filtration.*

Lenntech . (2018). *Tratamiento de agua & purificación*. Obtenido de https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/que-es-desinfeccion.htm

Linares, L. P. (2019). *SCRIBD*. Obtenido de https://es.scribd.com/doc/49495294/DEFINICION-DE-ZONAS-DE-VIDA-DE-HOLDRICH

Luz Adriana Echavarría, M. I. (2001). TECNOLOGIA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. Cali, Valle del Cauca, Colombia.

Lysaght, P. (30 de Agosto de 2018). *Unicef - El agua en peligro* . Obtenido de https://www.unicef.org/es/historias/el-agua-en-peligro

MARÍN, D. M. (2012). *Biblioteca digital Univalle.* Obtenido de http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7675/1/3750-0446254.pdf

MAVDT. (2003). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.* Obtenido de Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, dotación y la demanda de agua: http://www.minvivienda.gov.co/GuiasRAS/RAS%20-%20002.pdf

MVCT. (2003). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.* Bogotá.

MVCT. (08 de junio de 2017). *Resolusión 0330 de 2017.* Obtenido de http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_12c6ce75fa364625a48adee57602cea1

NAS. (2007). *National Academy of sciences* . Obtenido de https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Filtration-Systems-technologies.html

OMS. (14 de junio de 2018). *Organización Mundial de la salud.* Obtenido de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water

ONU. (28 de julio de 2010). *Decenio internacional para la acción 'El agua fuente de vida' 2005 - 2015.* Obtenido de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml

OPS. (2005). *GUÍA PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN EN MULTIPLES ETAPAS.* Lima.

OPS. (2011). *Agua y saneamiento: Evidencias para póliticas públicas con enfoque en derechos humanos y resultados en salud pública.* Obtenido de https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2012/AyS-PUB-WEB-20111104.pdf

Pizarro, C. y. (1996). *Costo de Administración, Operación y Mantenimiento para Plantas con Filtración Rápida y Coagulación Química.* Cali: Univalle.

Prem Ranjan, M. P. (2018). Schmutzdecke - A filtration layer of slow sand filter . *Int.J.curr.Microbiol.app.sci*, 637 - 645.

Republica de Colombia, Articulo 366 (Constitución Politica de Colombia 1991).

Republica de Colombia, Articulo 91 (Constituccion politica de Colombia 2001).

ROMERO, J. A. (2002). *Calidad del Agua.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

SEDAPAL. (2000). *Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico.* Lima: SEDAPAL.

SISBÉN. (2015). *DATOS ABIERTOS - CENSO MUNICIPIO DE LA VEGA.* La Vega, (Cundinamarca).

Triana, E. S. (2006). *Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia* . Bogotá: Mayol.

Valencia, J. A. (2000). *Teoria y practica de la purificación del agua.* Bogotá: McGraw-Hill.

ANEXOS

ANEXO 1

Formato de Encuesta aplicado en el centro Poblado El Vino

ENCUESTA PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA INSPECCIÓN DEL VINO

El propósito es determinar la percepción de la comunidad del centro poblado del Vino, respecto a la calidad del agua para consumo humano que le suministra la Inspección del Vino e identificar aspectos de interés

Fecha de realización: DÍA / MES / AÑO

Encuesta Nº: _____

1. **INFORMACION PERSONAL**

(Marque con una X la respuesta seleccionada)

Nombre completo: _____ Edad: _____
Documento de identidad: CC: ☐ TI: ☐ Nº: _____
Dirección de la vivienda: _____ Estrato: _____

Número de personas que habitan en la vivienda: 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 o más: ☐
Nivel de educación: Primaria: ☐Secundaria: ☐Media: ☐Superior: ☐

Número de Celular: _____ Correo Electrónico: _____

2. **INFORMACION REFERENTE A LA PRESTACION DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO**

1. ¿Conoce cuál es la fuente de la que se abastecen de agua?
   a. No sabe
   b. Acueducto veredal
   c. Aljibe
   d. Pozo Profundo
   e. ¿Otro? Cual: _____
2. ¿Cuenta con el servicio de agua las 24 horas del día?
   SI: ☐ NO: ☐

   En caso contrario especifique la frecuencia: _____

3. ¿El servicio de agua se le suministra los 7 días de la semana?
   SI: ☐ NO: ☐

   En caso contrario especifique la frecuencia: _____

4. En caso de presentar un servicio intermitente, ¿conoce las posibles causas?:
   a. Racionamientos por escases del recurso
   b. Daños en las redes de distribución
   c. Conflictos comunitarios
   d. Atrasos en el pago del servicio
   e. Desconoce la razón
   f. ¿Otra? _____
5. En su hogar el agua se destina a:

a. Cocinar los alimentos y beberla.
b. Aseo del hogar (incluye el lavado de las prendas de vestir).
c. Aseo personal
d. Todas las anteriores
e. ¿Otro? Cual: _____

6. ¿Alguna vez usted o alguien de su familia presentó problemas de salud atribuibles al consumo del agua que llega a su hogar?
   SI: ☐ NO: ☐ No responde/ No sabe: ☐

   Si la respuesta es afirmativa indique que problemas de salud han presentado: _____

   _____

7. ¿Cómo es su percepción con respecto a la calidad del agua suministrada?:
   a. Excelente
   b. Buena
   c. Regular
   d. Mala

8. En una escala de 1 a 5, como califica el servicio de agua potable. (Siendo 1 el valor que indica la pésima prestación del servicio y 5 excelente prestación del servicio):

   1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

9. ¿Considera importante la presencia de la administración municipal para solucionar los problemas relacionados con el saneamiento básico del agua?
   SI: ☐ NO: ☐ No responde/ No sabe: ☐

10. ¿Cree usted que la planta de tratamiento actual y el sistema de distribución cuentan con la infraestructura necesaria para proporcionar un servicio de acueducto óptimo?
    SI: ☐ NO: ☐ No responde/ No sabe: ☐

11. ¿Paga por el servicio de agua para consumo humano?
    SI: ☐ NO: ☐
    ¿Cuánta paga? _____

12. Si su respuesta fue afirmativa en la pregunta anterior, cada cuanto realiza el pago:

    Semanalmente ☐ Mensualmente ☐ Anualmente ☐

13. Cree que el valor cobrado por Acuelvino para llevarle el agua hasta su hogar, es un precio acorde a la calidad del servicio recibido:

    SI: ☐ NO: ☐

14. ¿Si el agua recibida, según su criterio, no es confiable para consumo humano cómo soluciona el consumo de agua potable en su casa?
    Aguas Hervidas: ☐ Agua tratada embotellada: ☐ Agua lluvia recolectada: ☐

No aplica ninguna solución: ☐

¿Qué otra solución ha implementado? _____

3. EXPECTATIVAS SOBRE EL TRABAJO ACADEMICO:

15. ¿Le parece importante la realización de una tesis de grado relacionada con el análisis de las condiciones de calidad del agua que se consume en la inspección del vino?
    SI: ☐ NO: ☐

16. ¿Considera que los diseños de tipo académico de alternativas de mejora pueden influir a futuro, de forma directa o indirecta, sobre la mejora de las condiciones de calidad del agua que se consume en su hogar?
    SI: ☐ NO: ☐

17. ¿Considera que los resultados de una posible implementación de las alternativas de solución a diseñar, podrían influir de manera práctica y positiva sobre la mejora de las condiciones de calidad del agua?
    SI: ☐ NO: ☐