

**PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE ACUEDUCTO POR GRAVEDAD PARA LA
VEREDA MANTAGRANDE ARRIBA SECTOR QUEBRADAS EN MANTA
CUNDINAMARCA**

**MARLON DENILSON CÁRDENAS CÁRDENAS
JERSY HERRERA ARTEAGA**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
OCTUBRE DEL 2024**

**PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE ACUEDUCTO POR GRAVEDAD PARA LA
VEREDA MANTAGRANDE ARRIBA SECTOR QUEBRADAS EN MANTA
CUNDINAMARCA**

TRABAJO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:

Dr. RAFAEL ALBERTO FONSECA CORREA

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTA D.C.

OCTUBRE DEL 2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que los estudiantes abajo firmantes han cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos, satisface en su totalidad con los Lineamientos de Opción de Grado vigentes del programa de Ingeniería Civil y con las leyes de derechos de autor de la República de Colombia, por tanto, se encuentran preparados para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia.



**DR. RAFAEL ALBERTO FONSECA
CORREA**

Director del Proyecto

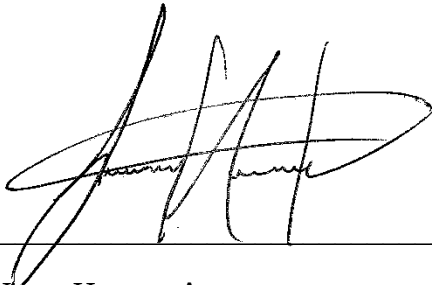
Bogotá, octubre de 2024.

INTEGRANTES



Marlon Denilson Cárdenas Cárdenas

Estudiante de Ingeniería Civil



Jersy Herrera Arteaga

Estudiante de Ingeniería Civil

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todos nuestros familiares por el amor, esfuerzo y paciencia a lo largo de estos años. Agradecemos especialmente a nuestro director por su constante apoyo y paciencia. También, a todos esos amigos presentes y pasados, los cuales somos afortunados en conocer y que dejaron tantas cosas buenas, brindándonos su apoyo, consejos y cariño. Nos sentimos afortunados de tenerlos en nuestras vidas y estar presentes en este logro tan importante.

Marlon Denilson Cárdenas Cárdenas

Jersy Herrera Arteaga

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	12
2. INTRODUCCIÓN	13
3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	13
4. OBJETIVOS	14
4.1. Objetivo general	14
4.2. Objetivos específicos	14
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
6. JUSTIFICACIÓN	16
7. ANTECEDENTES	16
8. MARCO TEÓRICO	17
8.1. Geografía	19
8.2. Características topográficas	23
8.3. Aspectos climatológicos	25
8.3.1. Precipitación	25
8.3.2. Lluvia	26
9. MARCO CONCEPTUAL	26
9.1 Parámetros para el diseño de acueducto	26
9.1.1 Población de diseño	26
9.1.2 Periodo de diseño	27
9.1.3 Demanda del sistema	27
9.1.4 Dotación neta máxima	27
9.1.5. Ajuste por población flotante	28
9.1.6. Dotación bruta	28
9.2 Caudales de diseño	28
9.2.1 Caudal medio diario (Qmd)	28
9.2.2. Caudal máximo diario (QMD)	29
9.2.3. Caudal máximo horario (QMH)	29

9.3. Componentes del sistema de acueducto	29
9.3.1. Bocatoma	30
9.3.2. Ecuaciones para el diseño de la bocatoma	30
9.3.3. Diseño del canal recolector	37
9.4. Aducciones y conducciones.....	39
9.4.1. Requisitos para el diseño de desarenadores.....	39
9.5.1. Zonas de sedimentación.....	41
9.5.3. Zona de lodos	49
9.6. Tanque de almacenamiento.....	54
9.6.1. Requisitos para el diseño de tanques de almacenamiento	54
9.7. Diseño del tanque de almacenamiento	54
9.8. Red de distribución.....	61
10. MARCO LEGAL	61
11. DISEÑO METODOLÓGICO	62
11.1. Calidad del agua	63
11.2. Información demográfica	66
11.2.1. Método aritmético	66
11.2.2. Método geométrico	67
11.2.3. Método exponencial	67
11.3. Red de Distribución	69
12. RESULTADOS.....	70
12.1. Calidad del agua, quebrada El Golpe.....	70
12.1.2. Resultados Índice de Calidad del Agua (ICA)	75
12.2. Proyección de población	76
12.2.1. Método aritmético	78
12.2.2. Método Geométrico.....	78
12.2.3. Método exponencial	78
12.3. Cálculo de caudales	79
12.3.1. Caudal medio diario	80
12.3.2. Caudal máximo diario.....	80

12.3.3. Caudal máximo horario	81
12.3.4. Caudal de diseño por componente	81
12.3. Dotación	82
12.3.1. Dotación neta según m.s.n.m.....	82
12.3.2. Cálculo de la dotación bruta.....	82
12.4. Sistema de tratamiento de agua más favorable	83
12.4.1. Bocatoma	83
Para llevar a cabo el cálculo de la rejilla, se utiliza la siguiente ecuación:.....	83
12.4.1.2. Caudal de captación	84
Para llevar a cabo el cálculo se usa la siguiente ecuación.....	84
12.4.1.2. Caudal de salida.....	84
12.4.1.3. Altura crítica	84
Fuente: elaboración propia	86
Fuente: tomado y adaptado.....	86
12.4.2. Diseño de desarenador	88
Fuente: elaboración propia	89
• Área requerida	91
Fuente: Elaboración propia	93
• Área efectiva de orificios.....	94
Puesto que la pantalla tiene una geometría rectangular, su área se calcula mediante la ecuación: 94	
• Área de orificios.....	94
12.4.2.3 Zona de lodos	95
Fuente: elaboración propia	95
12.4.2.4 Zona de salida.....	96
En esta parte maneja el proceso de recolección de agua clarificada de un aliviadero y es un factor clave en el diseño de esta área. El procedimiento se describe a continuación:	96
• Longitud de la canaleta de salida	96
Se emplea una longitud igual al ancho del desarenador y el largo de la pantalla deflectora de la zona de entrada. Es decir, el valor de la longitud de la canaleta de salida es de 0,790m	96
12.4.3. Diseño tanque de almacenamiento	98

12.5. Redes de distribución	102
13. CONCLUSIONES	105
14. RECOMENDACIONES	106
REFERENCIAS	107

Listado de Tablas

Tabla 1 Descripción de la región.	17
Tabla 2 División política del Municipio de Manta, Cundinamarca.	20
Tabla 3 Selección Dotación neta máxima.	27
Tabla 4 Caudales de diseño.	31
Tabla 5 Relación de la altura de la lámina de agua con la energía y la altura crítica.	35
Tabla 6 Coeficiente de descarga en rejilla	36
Tabla 7 Relación entre diámetro de partículas y velocidad de sedimentación	42
Tabla 8 Valores de a/t	44
Tabla 9 Descriptor de calidad ICA	63
Tabla 10 Ponderaciones variables de ecuación	64
Tabla 11 Resultados de laboratorio por cada parámetro	71
Tabla 12 Dosificación de sulfato de aluminio en muestra superficial	72
Tabla 13 Dosificación de sulfato de aluminio en muestra superficial	73
Tabla 14 Población del sector.	77
Tabla 15 Caudal por componente.....	81
Tabla 16 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida	82
Tabla 17 Datos hídricos de la quebrada el golpe.....	83
Tabla 18 . Criterios de diseño para cálculo de caudal de entrada de la rejilla	83
Tabla 19 Inclinação y coeficiente por tipo de rejilla	86
Tabla 20 Criterios para el cálculo de número de barras	86
Tabla 21 Parámetros para el cálculo de la velocidad de sedimentación	89
Tabla 22 Valores de parámetros para el cálculo de zona de entrada	93
Tabla 23 Valor de parámetros para zona de lodos.....	95

Listado de ilustraciones

Ilustración 1 <i>Densidad poblacional vs Tiempo</i>	14
Ilustración 2 <i>Mapa municipal de Manta</i>	16
Ilustración 3 <i>Localización zona de estudio</i>	18
Ilustración 4 <i>Temperaturas de Manta</i>	19
Ilustración 5 <i>Promedio de precipitaciones en Manta</i>	20
Ilustración 6 <i>Promedio de lluvias en Manta</i>	21
Ilustración 7 <i>Esquema de flujo sobre vertedero y rejilla</i>	29
Ilustración 8 <i>Esquema general de dimensiones del canal recolector</i>	31
Ilustración 9 <i>Zonas del desarenador</i>	32
Ilustración 10 <i>Esquema desarenador</i>	42
Ilustración 11 <i>Curva de consumos acelerados</i>	45
Ilustración 12 <i>Gráfica de Turbiedad vs Dosificación</i>	62
Ilustración 13 <i>Gráfica de Turbiedad vs Dosificación en muestra profunda</i>	63

1. RESUMEN

El propósito de la presente investigación radica en brindar una solución alternativa para abordar un desafío que afecta a los residentes de la vereda de Mantagrande Arriba en el sector Quebradas, ubicado en el municipio de Manta, Cundinamarca. Este desafío se materializa en la carencia de un recurso vital como lo es el suministro de agua potable, el cual es fundamental para atender las necesidades básicas. En virtud de esta situación, se ha optado por presentar una solución desde la perspectiva de la ingeniería como lo es, la determinación de viabilidad para la implementación de una red de acueducto óptima para la comunidad. Dicho diseño implica el análisis de diversos aspectos, como las características demográficas, climáticas y de calidad del agua presente en la zona de intervención. Además, se toma en consideración la topografía del terreno, con el fin de identificar los puntos más adecuados para la ubicación de las estructuras esenciales del acueducto, tales como la captación y el desarenador en caso de ser requeridos. Estas medidas tienen como último objetivo mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector, los cuales requieren un acceso a agua potable para su consumo sin riesgos a la salud humana.

Después de realizados los muestreos químicos, físicos y microbiológicos para el ICA del agua en la quebrada El Golpe, se obtiene un índice ICA que reportó de calidad “regular”, el cual permite la adaptación de un acueducto veredal con un nivel de complejidad baja para la población proyectada de 150 usuarios, así mismo las características topográficas determinan que las pendientes son pronunciadas por lo cual se puede llevar a cabo un acueducto sencillo por gravedad, llegando a la conclusión de que la quebrada El golpe, presenta características óptimas para el consumo y la implementación de un acueducto veredal.

Palabras claves: Acueducto veredal, quebrada El Golpe, Vereda Mantagrande, ICA, topografía, clima, población.

ABSTRACT

The purpose of this research is to provide an alternative solution to a challenge faced by the residents of the Mantagrande Arriba area in the Quebradas sector, located in the municipality of Manta, Cundinamarca. This challenge is the lack of a vital resource: potable water, which is essential for meeting basic needs. In light of this situation, a solution has been proposed from an engineering perspective, which involves determining the feasibility of implementing an optimal water supply network for the community. This design involves analyzing various aspects, such as the demographic, climatic, and water quality characteristics in the intervention area. Additionally, the topography of the terrain is considered to identify the most suitable locations for essential water supply structures, such as the intake and sedimentation basin if required. The ultimate goal of these measures is to improve the quality of life for the residents of the sector, who need access to potable water for safe consumption.

After conducting chemical, physical, and microbiological sampling for the ICA of the water in the El Golpe stream, an ICA index of "fair" quality was obtained, which allows for the adaptation of a low-complexity rural aqueduct for the projected population of 150 users. Additionally, the topographic characteristics indicate that the slopes are steep, allowing for a simple gravity-fed aqueduct, leading to the conclusion that the El Golpe stream has optimal characteristics for consumption and the implementation of a rural aqueduct.

Keywords: Rural aqueduct, El Golpe stream, Mantagrande rural area, ICA, topography, climate, population.

2. INTRODUCCIÓN

El agua es un preciado líquido vital para todo ser vivo, ya que el ser humano requiere aproximadamente 100 litros de agua para suplir sus necesidades básicas de consumo, este consumo promedio puede variar dependiendo de su estilo de vida y el ambiente en el cual se desarrolle. Por tal motivo se debe suministrar una determinada cantidad de agua que cumpla con todos los estándares de calidad para su consumo. (FAO, 2015)

Tal es el caso de la población ubicada en la vereda Mantagrande Arriba sector Quebradas, dicha comunidad se ve obligada a consumir agua directamente de aljibes o quebradas sin realizar ningún tipo de tratamiento previo, lo cual desfavorece a los habitantes de esta vereda en relación con la salubridad de esta.

Para solucionar esta problemática se plantea diseñar un acueducto veredal donde se recolectará el agua desde la parte alta del afluente principal de esta vereda correspondiente a la Quebrada del Golpe, la cual funcionará por medio de la gravedad y beneficiará aproximadamente 150 personas del sector Quebradas, dando solución a la siguiente pregunta problema

¿Cuáles son las condiciones fisicoquímicas, microbiológicas y de caudal del agua en la quebrada “El Golpe”, y como influyen estas características en la viabilidad de su uso para un acueducto en la vereda Mantagrande Arriba, sector Quebradas, en el municipio de Manta-Cundinamarca?

3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

- Línea de Investigación Institucional: Hábitat, biodiversidad y tecnologías sostenibles – HBTS.
- Línea de Investigación del programa: Sostenibilidad de la Infraestructura.
- Línea de Investigación grupo de Investigación: Gestión y tecnologías del agua.
- Nombre del semillero de Investigación: Gestión de la Infraestructura para el desarrollo.

El presente proyecto se enmarca en un estudio cualitativo y cuantitativo de la calidad del agua

suministrada en la vereda Manta Grande Arriba Municipio de Manta, Cundinamarca, se pretende evaluar las problemáticas en cuanto a la posibilidad del manejo de los recursos que requieren sus habitantes, en donde se ha evidenciado crecimiento en su población y poco avance en la gestión del recurso hídrico y de la infraestructura, razón por la cual se justifica el estudio de los procesos respecto a la sostenibilidad y gestión del riesgo.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Proponer la viabilidad de un acueducto por gravedad en la quebrada “El Golpe” para beneficio de la comunidad en la vereda Mantagrande Arriba sector Quebradas del municipio de Manta, Cundinamarca.

4.2. Objetivos específicos

- Identificar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas según estándares ICA para determinación de calidad del agua.
- Analizar características topográficas y demográficas de la zona de estudio
- Proponer el sistema de acueducto más favorable para la comunidad

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Manta está ubicado en el Nororiente del departamento de Cundinamarca a 97 km de la ciudad de Bogotá, el cual tiene una población de 4,719 donde aproximadamente 3.350 habitan en zona rural. Manta es un municipio ubicado en la provincia de Almeidas, en la región del Altiplano cundiboyacense conocida como Valle de Tenza, la mayoría de la población vive en las zonas rurales (Alcaldía de Manta, 2017), las cuales tienen una deficiencia en el suministro de agua potable, ya que la red del acueducto municipal da cobertura en su gran mayoría al casco urbano y algunas veredas como lo son la vereda Cabrera, Fuchatoque y unas partes de

Mantagrande Abajo, Palogordo y Peñas; las demás veredas presentan una gran dificultad actualmente ya que el agua que utilizan para su consumo, en su mayoría, no se le realiza ningún tipo de tratamiento previo para su consumo y en algunos casos se consume de forma hervida como un tratamiento artesanal de potabilización.

Debido a lo anterior, se ha generado inconformidades por parte de la comunidad de dichas veredas del municipio ya que la red no puede captar la suficiente agua para suplir la necesidad de todas las personas que solicitan el servicio en la zona rural del municipio, por lo cual se plantea realizar el diseño de un acueducto, el cual beneficiaría a un aproximado de 150 habitantes de la zona rural del municipio. Esto se plantea por medio de un sistema de acueducto por gravedad para contribuir así en el mejoramiento de la salud pública del municipio, en concordancia con el sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) que es Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (Naciones Unidas, 2023)

Para ello, el agua será captada desde la parte alta de la quebrada “del Golpe”, siendo ésta la más grande presente en este sector, la cual nace a los 2752 msnm. en el subpáramo, que nace a 2752 msnm en el subpáramo del municipio y desemboca en el río Aguacías el cual pertenece a la cuenca del río Garagoa a 1592 msnm y una longitud total de 5,6 km. Posteriormente se realizará el tratamiento, contemplando en primera instancia los estudios previos que determinen cuáles serán los puntos de captación y el tipo de construcción más factible que funcione por medio de gravedad.

Por medio del presente proyecto, se plantea realizar el diseño de un tratamiento primario el cual pueda ser de fácil ejecución y financiamiento el cual beneficiará aproximadamente a un total de 150 habitantes de la zona rural del municipio, el agua será captada en la parte alta de la cuenca para su posterior tratamiento.

6. JUSTIFICACIÓN

La construcción de un tratamiento primario de un acueducto cumple con el propósito de brindar servicios de agua potable de manera eficiente, arraigada al principio de que la comunidad merece un sistema de suministro de agua eficaz y eficiente que satisfaga sus necesidades esenciales.

La creciente población requiere el establecimiento de acueductos para fomentar el crecimiento regional. Además, la provisión de servicios de agua potable mejorará las condiciones de las instituciones educativas que atienden a los niños en el pueblo y las áreas vecinas. (Ministerio de Salud, 2020)

El diseño del sistema de tratamiento de agua para la vereda Mantagrande Arriba sector Quebradas en Manta, Cundinamarca, se llevará a cabo a través de una serie de estudios preliminares para identificar los modelos óptimos adaptados a los requisitos de desarrollo del pueblo. Desde una perspectiva de ingeniería, se diseñará una solución para mejorar el suministro de agua de esta población, asegurando el requerimiento básico de agua de cada hogar. La solución propuesta se apega a los estándares de calidad del suministro de agua, asegurando un servicio óptimo según la resolución colombiana.

7. ANTECEDENTES

Según un estudio realizado en el año 2020 de la Universidad Piloto de Colombia, en la cual se efectuó la optimización en el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en el municipio de Carmen de Apicalá, muestra la problemática en el suministro de abastecimiento de agua potable dentro de este municipio debido a un mal manejo y administración por parte de la empresa prestadora de servicio, donde según dicha investigación se propone el aumento del diámetro de la red existente.

Los autores se basaron en los resultados obtenidos en el modelado de EPANET para poder obtener las velocidades, pérdidas de energía y caudales, por lo cual se concluyó que el agua en el municipio de Carmen de Apicalá no alcanza a satisfacer la población actual en su mayoría, razón por la cual se propuso la realización de una correcta sectorización del suministro de agua ya que solo se producen los cortes en los sectores más marginales del municipio. Sarmiento Colmenares, A. F., & Parra Burbano, G. A. (2020). Optimización en el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en el municipio de Carmen de Apicalá (Tesis de pregrado). Universidad Piloto de Colombia.

8. MARCO TEÓRICO

Manta se ha caracterizado por ser un municipio de vocación agrícola en el departamento de Cundinamarca, sin embargo, su economía se basa en la ganadería y porcicultura, el municipio cuenta con limitaciones para invertir en el sector de la infraestructura a nivel municipal, generando la necesidad para elaborar el presente trabajo de grado en la vereda Mantagrande Arriba sector Quebradas.

Dentro de los aspectos importantes de esta región de Cundinamarca se resaltan los siguientes:

Tabla 1 Descripción de la región.

Aspecto	Descripción
Ubicación Geográfica	Manta es un municipio ubicado en el departamento de Cundinamarca, en la región andina de Colombia, a una altitud de aproximadamente 2,500 metros sobre el nivel del mar.
Población	Aproximadamente 4719 habitantes.
Composición Étnica	Predominantemente mestiza, con influencias indígenas, europeas y africanas.
Economía	Históricamente basada en la agricultura, con crecimiento en sectores como el comercio y el turismo debido a su proximidad a Bogotá.
Festividades	Celebraciones religiosas como la Semana Santa y festividades locales en honor a santos patronos.

Gastronomía	Basada en ingredientes locales como maíz, papa y otros productos agrícolas. Los platos típicos incluyen sopas, guisos y platos de carne.
Turismo	Potencial turístico por su belleza natural y actividades como senderismo, paseos a caballo y observación de aves.
Desafíos	Desarrollo económico, infraestructura y acceso a servicios básicos pueden ser desafíos para abordar.
Economía	Basada en agricultura, comercio y turismo.
Ruta de Ingreso	Acceso desde Bogotá a través de la autopista Norte, por la vía Bogotá – Tunja hasta desviar por la transversal del Sisga, lo que facilita la conectividad con la capital y otras regiones.

Fuente: Elaboración propia, 2024

En los siguientes gráficos, se representa la densidad poblacional y su crecimiento desde el año 2018 hasta el presente año 2023.

Ilustración1. Serie de tiempo de densidad poblacional Manta-Cundinamarca



Fuente: ArcGIS StoryMaps.(2023)

Al abarcar la historia del municipio, en 1593 los indígenas que poblaban Manta fueron reducidos y agrupados en Tibirita, que ya estaba constituido como resguardo. Durante los siglos XVII y parte del XVIII. Los primeros habitantes europeos fueron doctrineros y misioneros españoles, luego llegaron colonos y aserradores. Manta fue parte territorial de Tibirita hasta el año de 1702

en el que se desmembró para fundar la viceparroquia de Manta, por autorización del visitador Francisco Pacheco, y ratificada posteriormente por el arzobispo Sanz Lozano. (Alcaldía de Manta, 2017)

El 24 de julio del año de 1772 el presbítero José Joaquín Pompeya fundó el municipio de Manta que fue ordenado por el virrey Manuel Guirior. Durante este periodo de la historia colombiana, Manta hizo aportes muy significativos, con personajes memorables, que a continuación se enuncian: Padre, José Ángel Manrique: El padre Manrique estuvo a cargo de la iglesia de Manta desde el año de 1811 y a partir de 1.817 colaboró con la guerrilla patriota de los hermanos Vicente y Ambrosio Almeidas.

La guerrilla patriota de los Almeidas se tomaron Chocontá y avanzaron hasta Suesca y Nemocón. Tenían como base un campamento en cercanías a Machetá y contaban con amplio respaldo popular, además entre sus filas tenían a campesinos de la zona incluyendo algunos mantunos. (Alcaldía de Manta, 2017)

8.1. Geografía

El municipio de Manta está ubicado en el Nororiente del departamento de Cundinamarca a 97 km de la ciudad de Bogotá, el cual tiene una población de 4.719, donde aproximadamente 3.350 habitan en zona rural. Manta es un municipio colombiano ubicado en la provincia de Almeidas, en la región del Altiplano cundiboyacense conocida como Valle de Tenza y está compuesta por 18 veredas con una extensión total de 105 km² (Alcaldía de Manta, 2017) ver ilustración 2.

Descripción Física: Manta forma parte de la provincia de "Los Almeidas". Tiene una extensión geográfica de 105 kilómetros cuadrados y está conformada por 18 veredas. Su territorio es quebrado y se reparte en curvas de nivel que van desde 1000 a 3400 msnm. Su posición geográfica, ofrece varios pisos térmicos: entre ellos, cálido, templado, frío y páramo.

Límites del municipio: Limita al norte con el municipio de Tibirita, al occidente con el municipio de Machetá, al sur con el municipio de Gachetá, de la provincia del Guavio, y al oriente con el departamento de Boyacá y dos de sus municipios, Guateque y Guayatá.

Extensión total: 105 kilómetros cuadrados Km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 1924 msnm

Distancia de referencia: Se encuentra a 90km de Bogotá

División Político-administrativa: El Municipio de Manta se compone del casco urbano y 18 veredas de acuerdo con la siguiente Tabla 2

Tabla 2 División política del Municipio de Manta, Cundinamarca.

Vereda	Área (hectáreas)	% Del área total municipal
Peñas	623.3	5,9%
Bermejal	550.5	5,2%
Salitre	74.3	0,7%
Cabrera	380.0	3,6%
Manta grande arriba	862.3	8,1%
Fuchatoque	179.5	1,7%
Minas	123.8	1,2%
Palo gordo	132.4	1,2%
Quimbita	610.0	5,7%
Manta grande abajo	200.8	1,9%
Salgado	194.7	1,8%
Capadocia	125.4	1,2%
Cubia	226.6	2%
Juan gordo	406.5	3,8%
Palmar arriba y abajo	3978.6	37,3%
Madrid	495.1	4,6%
El bosque	1409.6	13,2%
Total rural	10677.1	99,7%

La topografía de Manta muestra una combinación de elevaciones que abarcan valles, colinas y laderas. Este terreno variado no sólo influye en los microclimas locales, sino que también determina el flujo de las masas de agua, que desempeña un papel crucial tanto en los procesos naturales como en las actividades humanas. La presencia de ríos, arroyos y humedales aumenta la riqueza ecológica del municipio, proporcionando hábitats para diversa flora y fauna.

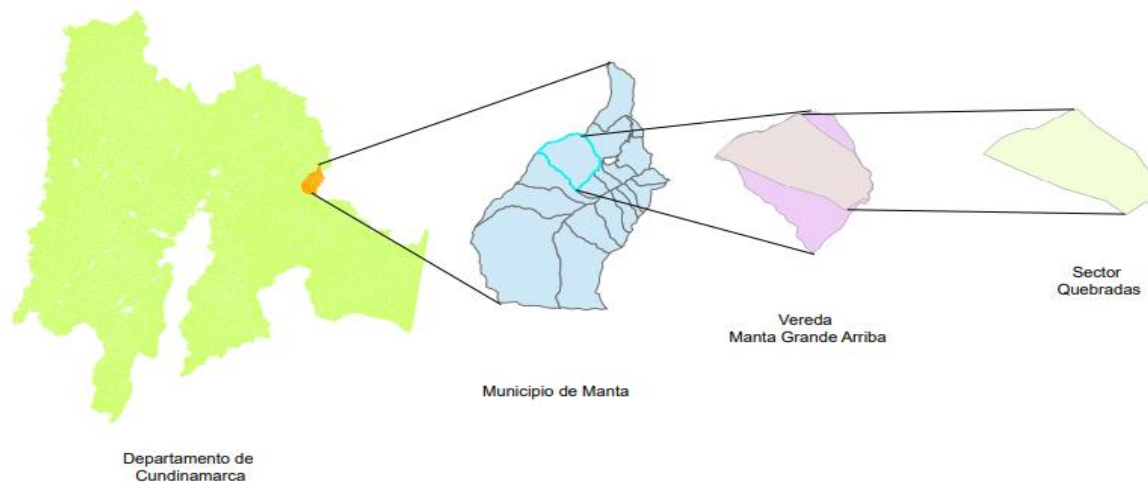
El clima de Manta está influenciado por su elevación, latitud y proximidad a cuerpos de agua naturales. Esto da como resultado zonas climáticas distintivas que van desde templadas a frías, cada una marcada por patrones específicos de temperatura y precipitación a lo largo del año. El municipio experimenta distintas estaciones lluviosas y secas, lo que afecta las prácticas agrícolas, la disponibilidad de agua y los medios de vida locales.

Para efectos del presente proyecto de investigación, se escogió específicamente la vereda Manta grande Arriba, sector Quebradas (ver ilustración 3), como zona de estudio, ya que a simple vista se puede identificar necesidades básicas, como lo es el recurso hídrico de forma potable y para consumo humano, ya que la comunidad de este sector no cuenta con un sistema de acueducto que suple esta necesidad y por lo cual se vio la importancia de desarrollar la presente investigación.

Este sector cuenta con una población aproximada actual de 77 personas según el libro de afiliados de la Junta de Acción Comunal, los cuales varían entre edades que van desde los 15 a los 80 años. (Junta de Acción Comunal sector Quebradas, 2024)

Ilustración 3 Localización zona de estudio

Mapa de localización vereda Manta Grande Arriba Sector Quebradas

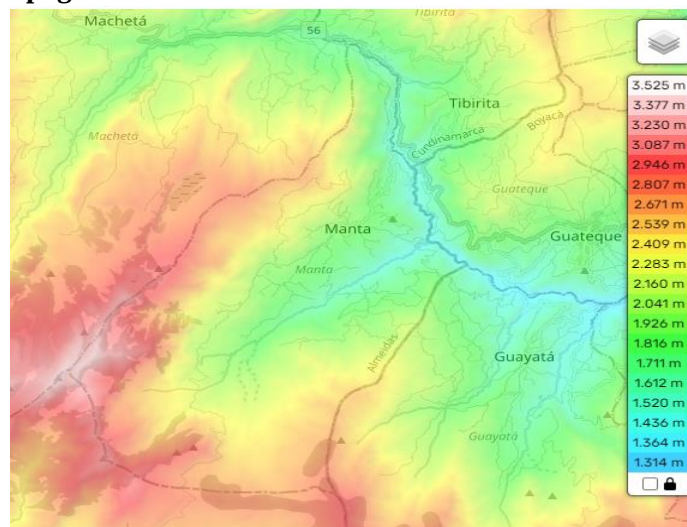


Fuente: Elaboración propia

8.2. Características topográficas

El municipio de Manta cuenta con una topografía que varía desde los 1314 m.s.n.m. hasta los 3.525 m.s.n.m, encontrando mayor elevación en nor-occidental en los límites municipales donde se encuentra la zona de estudio del proyecto como se muestra en la siguiente ilustración

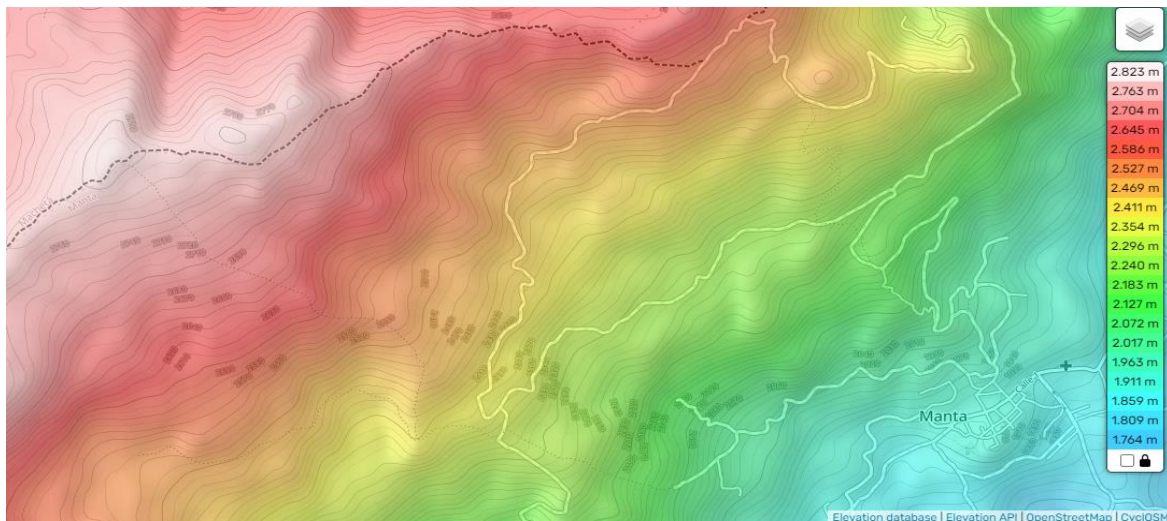
Ilustración 4. Mapa topográfico de Manta



Fuente: Topographic Map. *Mapa topográfico de Manta.*

Teniendo en cuenta lo anterior, la vereda Manta Grande arriba, se encuentra en elevaciones que van desde los 1.764 hasta los 2.823 m.s.n.m. como se muestra en la siguiente imagen.

Ilustración 5. Mapa topográfico vereda Manta Grande Arriba, Sector Quebradas



Fuente: Topographic Map. *Mapa topográfico de Manta.*

Teniendo como referencia lo anterior, se toma la elevación del sector quebradas en un rango de 3,64 km, donde se tiene que las elevaciones varían desde los 1886 m.s.n.m. hasta los 2785 m.s.n.m. indicando una diferencia de 900 m, lo cual demuestra que el sector presenta terrenos de irregularidades pronunciadas como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 6. Rango de elevación sector Quebradas



Fuente: Google Earth Pro, 2024

8.3. Aspectos climatológicos

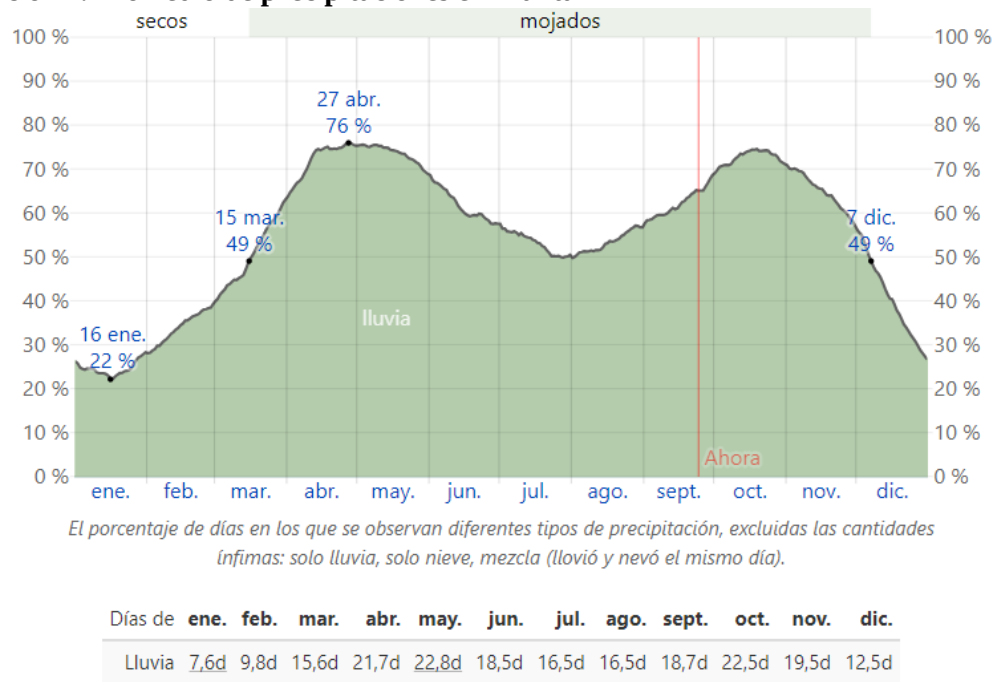
El municipio de Manta cuenta con temperaturas que oscilan entre los 11°C a 23°C, pero la mayoría del tiempo tiene periodos de temperatura cálida teniendo el mes de abril como el más cálido del año y julio como el más frío (Weatherspark, 2024)

8.3.1. Precipitación

La probabilidad de precipitación en Manta puede variar durante el año, sin embargo, la temporada con mayor cantidad de agua por precipitación es entre marzo y diciembre, siendo mayo el mes más mojado.

La temporada más seca de Manta dura aproximadamente 3 meses siendo enero el mes más seco del año. ver ilustración 7.

Ilustración 7. Promedio de precipitaciones en Manta

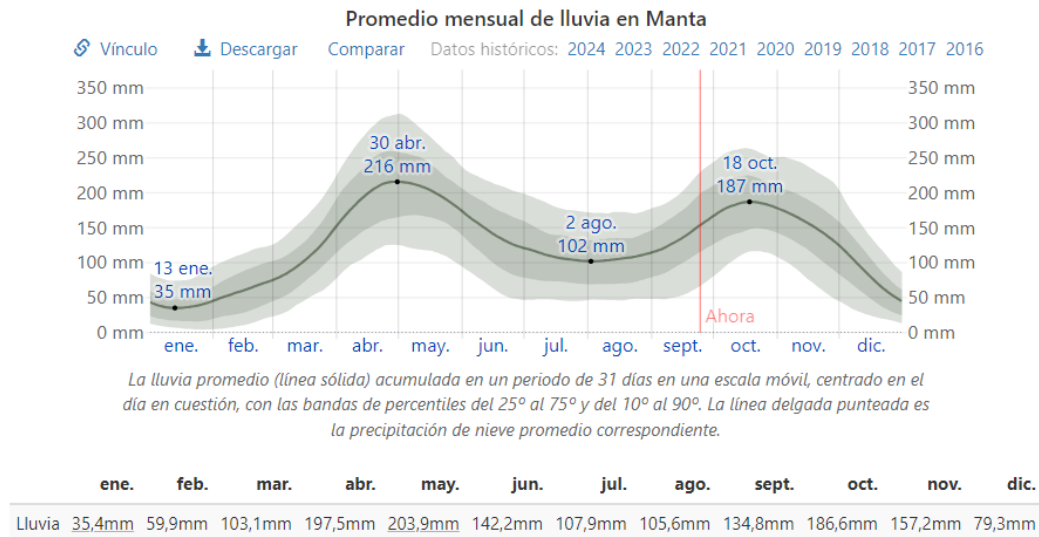


Fuente: Weatherspark. (2024) promedio de temperatura en Manta, Colombia al año. Weatherspark

8.3.2. Lluvia

En Manta llueve durante todo el año, siendo mayo el mes con mayor cantidad de lluvia con un promedio de 204 ml y enero con menor cantidad de lluvia con un promedio de 35 ml. Ver ilustración 8.

Ilustración 8. Promedio de lluvias en Manta



Fuente: Fuente: Weatherspark. (2024.). promedio de temperatura en Manta, Colombia al año. Weatherspark.

9. MARCO CONCEPTUAL

9.1 Parámetros para el diseño de acueducto

9.1.1 Población de diseño

Es la cantidad de personas o unidades para las que se diseña y planifica el sistema de agua potable, necesario para determinar la capacidad y la infraestructura necesarias para satisfacer adecuadamente el consumo de agua potable

9.1.2 Periodo de diseño

En este contexto, se refiere al lapso durante el cual se proyecta una infraestructura de suministro de agua potable, cubran las necesidades de la población y cumplan con los estándares de calidad y seguridad estipulados en el reglamento técnico. El RAS establece lo siguiente: “Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño 25 años”

9.1.3 Demanda del sistema

Se refiere a la cantidad de agua potable requerida por la población atendida. Que es muy importante en el diseño, planificación y operación de los sistemas, ya que nos sirve para determinar correctamente la infraestructura y calcular la cantidad de recursos necesarios para satisfacer las necesidades de la población.

9.1.4 Dotación neta máxima

La dotación neta máxima debe calcularse basándose en datos históricos del consumo de agua potable de los residentes y que no exceda los límites establecidos en la tabla siguiente:

Tabla 3 Selección Dotación neta máxima.

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
> 1000 m.s.n.m	140

Fuente: reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 0330 de 2017 y 779 de 2021)

9.1.5. Ajuste por población flotante

Según el RAS debe ajustarse la dotación neta dado a factores turísticos, laborales, industriales y/o comerciales que representen población flotante.

9.1.6. Dotación bruta

Se refiere a la cantidad total de agua asignada por habitante antes de considerar cualquier tipo de desperdicio.

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

Donde:

D_{Bruta} = Dotación bruta en L/Hab*día.

d_{neta} = Dotación neta en L/Hab*día.

$\%p$ = Porcentaje de pérdidas máximas para diseño

9.2 Caudales de diseño

Los flujos de agua se calculan y dimensionan para el diseño y la operación eficiente de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, teniendo en cuenta factores como la población, el periodo de diseño, la altitud sobre el nivel del mar, entre otros. Pueden variar según el tipo de infraestructura y las características de la población a la que están destinados. Son esenciales para garantizar un funcionamiento adecuado.

9.2.1 Caudal medio diario (Qmd)

Es una medida que se utiliza para representar la cantidad promedio de agua que circula por un sistema de acueducto en un día normal, y depende directamente de la dotación bruta y la proyección de la población

$$Qmd = \frac{P * d_{bruta}}{86400}$$

Donde: P= Población proyectada

d_{bruta} = Dotación bruta en L/Hab*día

9.2.2. Caudal máximo diario (QMD)

Es una medida usada para representar la cantidad máxima de agua que fluye en un tiempo determinado a través de un sistema de abastecimiento de agua potable.

$$QMD = Qmd * K_1$$

Donde:

K_1 = Coeficiente de consumo máximo diario, se determina según la población, el RAS establece que para una población proyectada menor o igual de 12500 habitantes el valor de K_1 no será mayor de 1.3 y para una población mayor a 12500 habitantes no será superior a 1.2.

9.2.3. Caudal máximo horario (QMH)

Se refiere a la demanda máxima estimada durante una hora específica del día. Es esencial que un sistema de acueducto esté preparado para cubrir estos picos de demanda sin comprometer la calidad del servicio.

$$QMH = QMD * K_2$$

Donde:

QMD = Caudal máximo diario.

K_2 = Coeficiente de consumo máximo horario.

9.3. Componentes del sistema de acueducto

9.3.1. Bocatoma

La Bocatoma es una estructura diseñada para captar el agua de una fuente natural, dirigiéndola hacia un sistema de distribución de agua, como un acueducto. En esta estructura se encuentran empotradas las rejas que permiten el paso de agua y retienen los sólidos flotantes. (OPS, 2004)

Requisitos para el diseño de estructuras de captación de agua

Según la Resolución 0330 de 2017 y 799 de 2021, para el diseño de las obras de captación de agua para el consumo humano deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Los diseños deben contemplar de manera integral el conocimiento de la hidrología, la geomorfología, y la hidráulica de la fuente de captación, se debe evitar la modificación o alteración de los cauces de agua.
2. La captación de agua debe ubicarse en tramos rectos del cauce, cuando esto no sea posible, debe localizarse en la orilla extrema de una curva o en una zona susceptible de erosión.
3. El diseño deberá garantizar la altura de los muros de protección y la estabilidad de la obra ante crecientes con periodos de retorno de 100 años, de igual manera se debe efectuar un estudio de riesgo ante deslizamientos, volcamientos, socavación y supresión.
4. Las obras deben localizarse en zonas de fácil acceso.
5. En los casos donde se requieran equipos de bombeo se debe garantizar la disponibilidad de energía eléctrica, ya sea por sistema interconectado o por otras alternativas.
6. Se debe garantizar que la zona cuente con los medios de protección necesarios, evitando la entrada de personas o animales.

9.3.2. Ecuaciones para el diseño de la bocatoma

Para el diseño de la bocatoma se aplican las ecuaciones de canales, a continuación, se describe el procedimiento para diseñar este tipo de captaciones:

9.3.2.1. Caudal de entrada a la rejilla

Para determinar el caudal mínimo que para por la zona central de la rejilla es necesario partir del caudal mínimo que abastece la cuenca, este dato se obtendrá del estudio hidrológico. La ecuación empleada es la siguiente:

$$Q1 = \frac{Q_{min}}{\frac{W}{b}}$$

Donde:

Q1= Caudal de entrada a la rejilla (l^3 / t)

Q min= Caudal mínimo de la fuente de abastecimiento (l^3 / t)

W= Ancho total de la garganta del vertedero (L)

b= Ancho de la rejilla (L)

9.3.2.2. Caudal de captación

Según la Resolución 0330 de 2017 y la 799 de 2021, establece en el artículo 47 los caudales de diseño de cada uno de los componentes del acueducto, según las variaciones diarias y horarias que puedan presentar, se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 4 Caudales de diseño.

Componente	Caudal de diseño
Captación fuente superficial	Hasta 2 veces QMD
Captación fuente subterránea	QMD
Desarenador	QMD
Aducción	QMD
Conducción	QMD
tanque	QMD
Red de distribución	QMH

Fuente: Resolución 0330 de 2017 y 799 de 2021

Se calculará el caudal de captación por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_{dis} = 2 * QMD$$

Donde:

Q_{dis} = Caudal de diseño o caudal de captación (L^3/t)

QMD = Caudal máximo diario (L^3/t)

El caudal de salida de la rejilla se obtiene al calcular la diferencia existente entre el caudal de entrada y el caudal de captación, la ecuación se muestra a continuación:

$$Q_2 = Q_1 - Q_{dis}$$

Donde:

Q_2 = Caudal de salida (L^3/t)

Q_1 = Caudal de entrada a la rejilla (L^3/t)

Q_{dis} = Caudal de diseño o caudal de captación (L^3/t)

$$Q_2 = \frac{V^2}{gD}$$

.

Donde:

Fr = Número de Froude (Adimensional)

V = Velocidad de flujo (L/t)

D = Profundidad hidráulica (L)

Reemplazando la ecuación por continuidad que es $Q=V*A$ se reemplaza en la ecuación y queda así:

$$Fr = \frac{Q^2}{gD * A^2}$$

Reemplazando que $D=A/T$ queda:

$$Fr^2 = \frac{Q^2 * T}{g * A^3}$$

Donde:

F= Numero de Froude (Adimensional)

Q= Caudal a transportar por el canal (L^3 / t)

T= Ancho superficial (L)

g= Gravedad (L/t^2)

A= Área del canal (L^2)

Como el flujo crítico es $Fr=1$ y $Fr^2 = 1^2 = 1$ para los canales rectangulares el ancho en la superficie (T) es igual a la base del canal (b), de esta manera reemplazando:

$$1^2 = \frac{Q^2 * b}{g * b^3 * yc^3}$$

$$1 = \frac{Q^2}{g * b^2 * yc^3}$$

Como $q= Q/b$ y llamando a esta expresión caudal unitario:

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

$$1 = \frac{q^2}{g * yc^3}$$

Quedando como ecuación final

$$1 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Donde:

Q1= Caudal de entrada a la rejilla (L^3 / t)

b= Ancho del canal (L)

Yc= Altura crítica (L)

q= Caudal unitario para canales rectangulares ($L^3 / L * t$)

g= Gravedad (L/t^2)

9.3.2.3. Velocidad crítica

A partir de la altura crítica (Y_c) y el caudal de entrada (Q_1) es posible calcular la condición de velocidad crítica del canal, por medio de la siguiente ecuación:

$$1 = \frac{Q_1}{Ac} = \frac{Q_1}{b * Y_c}$$

Donde:

Q_1 = Caudal de entrada a la rejilla (L^3 / t)

Ac = Área de canal (L^2)

b = Ancho del canal (L)

Y_c = Altura crítica (L)

9.3.2.4. Energía crítica o mínimo

Es el punto donde hay menor energía, depende de la profundidad y velocidad crítica, la ecuación se presenta así:

$$Ec = Y_c + \frac{V_c^2}{2g}$$

Donde:

Ec = Energía crítica o mínima (L)

Y_c = Altura crítica (L)

V_c = Velocidad crítica (L/t)

g = Gravedad (L/t^2)

9.3.2.5. Energía específica al inicio de la rejilla

El cálculo de la energía en la entrada dependerá de la altura de la lámina de agua, la cual puede ser asumida como un valor cercano a la altura crítica.

$$Ec = Y_1 + \frac{V_c^2}{2g} = Y_1 + \frac{Q_1^2}{2 * g * b^2 * Y_1}$$

Donde:

E= Energía específica al inicio de la rejilla (L)

Y1= Altura lámina de agua a inicio de la rejilla (L)

V= Velocidad en la rejilla (L/t)

g= Gravedad (L/t^2)

Q1= Caudal de entrada a la rejilla (L^3/t)

b= Ancho de la rejilla (L)

9.3.2.6. Altura del agua a la entrada de la rejilla

La altura de la lámina de agua antes de la rejilla depende de la energía específica y de la altura supuesta. En la siguiente tabla se relaciona la altura de la lámina de agua con la energía y la altura crítica.

Tabla 5 Relación de la altura de la lámina de agua con la energía y la altura crítica.

Relación	Rango						
Y1/Yc	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,99
Y1/E	0,47	0,50	0,53	0,56	0,60	0,63	0,66

Fuente: Tomado y adaptado de Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004). Acueductos, teoría y diseño.

A partir de las relaciones anteriores es posible calcular la altura de la lámina, mediante la siguiente ecuación:

$$Y1 = Yc + \frac{Y1}{YC}$$

Donde:

Y1= Altura lámina de agua inicio de la rejilla (L)

Yc= Altura crítica en el canal (L)

9.3.2.7. Coeficiente de descarga en la rejilla

Para determinar este coeficiente es importante definir el tipo y la inclinación de la rejilla que se desea implementar en la estructura, a partir de esto será posible determinar mediante la siguiente tabla dicho coeficiente.

Tabla 6 *Coefficiente de descarga en rejilla*

Tipo de Rejilla	Inclinación	Coefficiente
Barras paralelas	1:05	0,435
	Horizontal	0,497
Lámina perforada	1:05	0,75
	Horizontal	0,80

Fuente: Tomado y adaptado de Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004). Acueductos, teoría y diseño. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11407/2545>.

9.3.2.8. Numero de barras

Para determinar el número de barras para la rejilla, es necesario q el diámetro de las barras y el espacio entre ellas, contando con los datos anteriores, se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$n = \frac{b - s}{\emptyset + s}$$

Donde:

n= Número de barras b= Ancho de la rejilla (L)

$\emptyset$ = Diámetro de barras

(L) s= Espacio entre barras (L)

Comprobación del ancho La comprobación del ancho permite determinar la idoneidad del diámetro, espacio y número de barras. Esta verificación se obtiene con la siguiente ecuación:

$$b = (n * \emptyset) + (s * (n + 1))$$

Donde:

b= Ancho de la rejilla (L)

n= Número de barras

$\emptyset$ = Diámetro de barras (L)

s= Espacios entre barras (L)

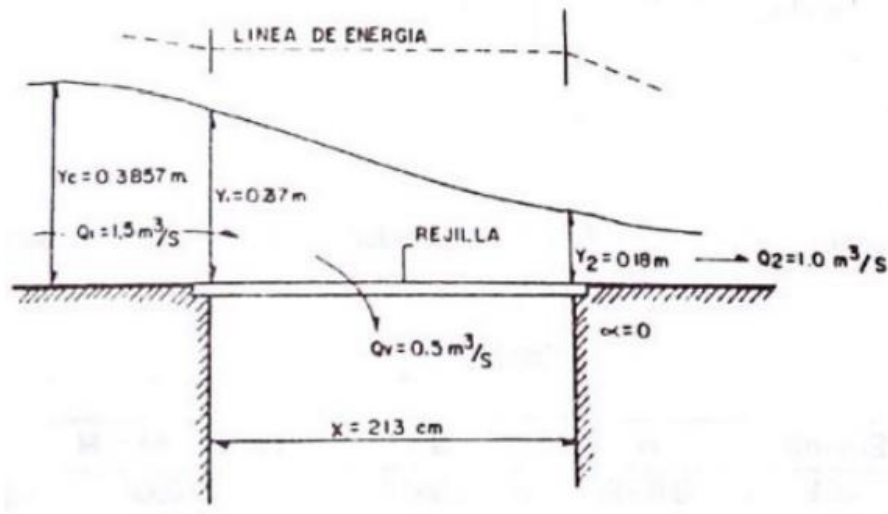
9.3.2.9. Relación entre el área de abertura y el área total

La relación entre el área ocupada por cada abertura y el área total de la rejilla, permite determinar la longitud de esta. Se determina con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{(n + 1) * s}{b}$$

En la siguiente imagen se podrá ver el esquema de flujo sobre el vertedero y la rejilla

Ilustración 9 Esquema de flujo sobre vertedero y rejilla



Fuente: Tomado y adaptado de Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004). Acueductos, teoría y diseño.

9.3.3. Diseño del canal recolector

Es el canal encargado de recoger el agua o de captar la descarga final, este se debe diseñar considerando el caudal de diseño de la estructura (Q_1). Para hallar las variables críticas del canal recolector se deberán tener en cuenta las ecuaciones de altura crítica, velocidad y energía crítica.

9.3.3.1. Altura del agua al final del canal recolector

Calculando la altura crítica para el canal recolector será posible determinar la altura de la lámina de agua, esto se calcula con la siguiente ecuación:

$$H2 = 1,1 * Yc$$

Donde:

H2= Altura lámina de agua al final del canal recolector (L)

Yc= Altura crítica (L)

9.3.3.2. Velocidad final del canal recolector

El diseño debe garantizar que la condición del flujo sea subcrítica, por este motivo se debe realizar un chequeo en el que se garantice la velocidad al final del canal, esta condición garantiza que la velocidad crítica sea mayor que la velocidad al final del canal. Se calculará de la siguiente manera:

$$V2 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{b * H2}$$

Donde:

V2= Velocidad al final del canal recolector (L)

Q= Caudal de diseño o caudal de captación (L³ /t)

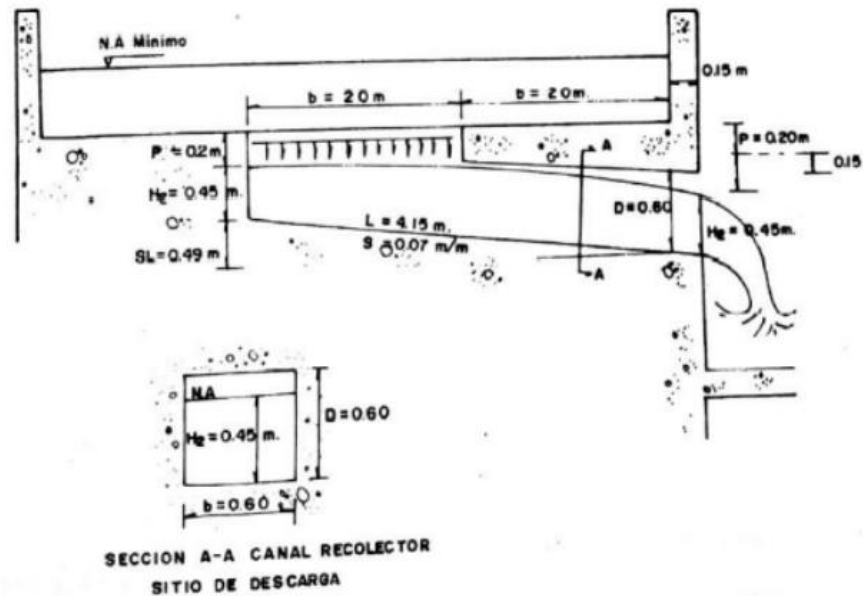
A= Área de canal recolector (L²)

B= Ancho del canal recolector (L)

H2= Altura lámina de agua al final del canal recolector (L)

A continuación, se muestran las dimensiones del canal recolector

Ilustración 9 Esquema general de dimensiones del canal recolector



Fuente: Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004).

9.4. Aducciones y conducciones

“Los sistemas de aducción y conducción deben contar con un cálculo hidráulico que contemple diferentes condiciones operativas o de expansión, tomando como referencia el trazado sobre planos topográficos a escala adecuada de la conducción 33 existente y de las alternativas de conducción propuestas por el diseñador” (RES 0330 de 2017 y 799 de 2021, Artículo 56)

9.4.1. Requisitos para el diseño de desarenadores

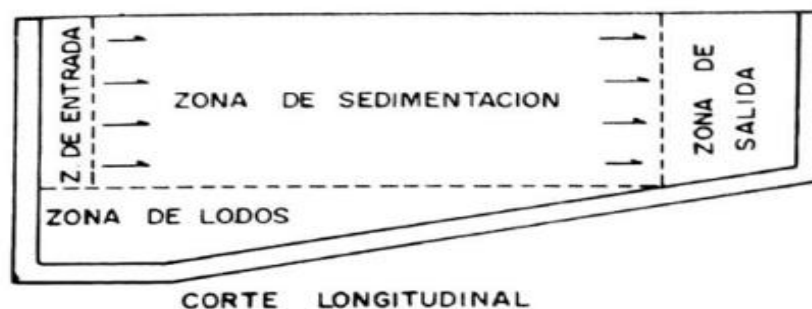
Para retirar la arena que queda en el agua, se coloca lo más cerca posible del punto de recolección, la tubería de suministro se coloca en el eje longitudinal de la estructura, cuenta con un dispositivo de desbordamiento a través de una presa lateral ubicada cerca. La entrada del desarenador debe tener un cerramiento y debe excluir el ingreso de personas no autorizadas. Además, deberá cumplir con los siguientes requisitos (Resolución 0330 de 2017):

- Para el diseño se necesita prever la eliminación de partículas con diámetro mínimo de 0.1 mm, con una velocidad de asentamiento vertical calculada en función de la temperatura del agua y un peso específico, deberá mantener una velocidad de asentamiento horizontal inferior a 0.25 m/s.
- El peso específico de las partículas de arena por remover será de 2.65 g cm^3 , la relación entre la velocidad horizontal y la velocidad de asentamiento vertical será inferior.
- El tiempo de retención de las partículas muy finas no debe ser menor de 20 min.
- Las estructuras deben contar con suficiente almacenamiento de arenas y contar con sistemas hidráulicos con pendientes superiores al 10% para obtener una eficiente evacuación del producto de desarenado.
- La unidad debe tener un sistema de paso directo con la capacidad para operar el caudal de diseño cuando la estructura este en limpieza, además, deberá contar con descargas adecuadas a fuentes que reciban exceso de corriente y producto de disposición

9.5. Diseño de desarenadores

Para el diseño de la estructura, se deben tener en cuenta las recomendaciones planteadas en el RAS 2000 y los parámetros exigidos en la Resolución 0330 de 2017. El desarenador está compuesto por cuatro zonas esenciales que permiten su funcionamiento: sedimentación, entrada, lodos y salida. A continuación, se describe el procedimiento a seguir para el diseño de cada una de las zonas que lo conforman.

Ilustración 10 Zonas del desarenador



Fuente: Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004).

9.5.1. Zonas de sedimentación

Es la zona que permite la remoción de sólidos en el agua, la velocidad horizontal del fluido en el desarenador está por debajo de la velocidad de arrastre de lodos, por tanto, las partículas que lleguen al fondo permanecerán ahí. (Acueductos Teoría y diseño, 1993)

- Caudal de diseño:

De acuerdo con los caudales de diseños establecidos en la Resolución 0330 de 2017, a partir del Caudal Máximo Diario (QMD) del periodo de diseño, se diseñará la totalidad de las zonas de la estructura.

- Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación es el parámetro más importante para el diseño del desarenador, este depende de la densidad y diámetro de la partícula a remover, así como la viscosidad del agua. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{(p_s - p) * d^2 * g}{18 * \nu}$$

Donde:

V_s = Velocidad de sedimentación (L/T)

P_s = Densidad de la partícula de arena (M/L³)

P = Densidad del agua (M/L³)

d = Diámetro de la partícula de arena (L)

g = Gravedad (M/t²)

ν = Viscosidad cinemática del agua (L²/t)

- Velocidad de sedimentación teórico

Existen valores de velocidad de sedimentación teóricos, los cuales dependen del régimen del agua y el diámetro limite que se espera, estos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7 Relación entre diámetro de partículas y velocidad de sedimentación

Material	Ø Partícula Límite	Número de Reynolds	Velocidad Sedimentación	Régimen	Ley aplicada
Grava	1 cm	> 10.000	≈ 100 cm/s	turbulento	Newton
Arena gruesa y media	0,10 cm	≈ 1.000	10.0 cm/s	Transición	Allen
	0,08 cm	≈ 660	8.3 cm/s	Transición	
	0,05 cm	≈ 380	6.3 cm/s	Transición	
	0,05 cm	≈ 27	5.3 cm/s	Transición	
	0,04 cm	≈ 17	4.2 cm/s	Transición	
	0,03 cm	≈ 10	3.2 cm/s	Transición	
	0,02 cm	≈ 4	2.1 cm/s	Transición	
	0,015 cm	≈ 2	1.5 cm/s	Transición	
Arena fina	0,010 cm	≈ 0,8	0.8	Laminar	Stokes
	0,008 cm	≈ 0,5	0.6	Laminar	
	0,006 cm	≈ 0,24	0.4	Laminar	
	0,005 cm	<1.0	0.3	Laminar	
	0,004 cm	<1.0	0.2	Laminar	
	0,003 cm	<1.0	0.13	Laminar	
	0,002 cm	<1.0	0.06	Laminar	
	0,001 cm	<1.0	0.015	Laminar	

Fuente: Tomado y adaptado de Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004). Acueductos, teoría y diseño.

- Velocidad de sedimentación para el diseño

Para obtener un valor de la velocidad de sedimentación, se procede a promediar el valor teórico calculado, esto se hará por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{sd} = \frac{V_s + V_{st}}{2}$$

Donde:

V_{sd}= Velocidad de sedimentación para el diseño (L/t)

V_s= Velocidad de sedimentación calculada (L/t)

V_{st} = Velocidad de sedimentación teórica (L/t)

- Tiempo que toma la partícula en tocar fondo

El tiempo que una partícula necesita para alcanzar el fondo del sedimentador está determinado por la velocidad de sedimentación y la altura del sedimentador. La altura del sedimentador se puede determinar utilizando la siguiente ecuación:

$$H = V_{sd} * t$$

Donde:

H= Altura del desarenador (L)

V_{sd} =Velocidad de sedimentación para el diseño (L/t)

t= Tiempo que demora la partícula en tocar el fondo (t)

A partir de esta ecuación se puede despejar el tiempo, la ecuación de tiempo se muestra a continuación:

$$t = \frac{H}{V_{sd}}$$

Donde:

t= Tiempo que demora la partícula en tocar el fondo (t)

H= Altura del desarenador (L)

V_{sd} =Velocidad de sedimentación para el diseño (L/t)

- Relación a/t

Esta relación depende del estado de las pantallas deflectoras, así como el porcentaje de remoción que se pretende lograr, estos valores son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 8 Valores de a/t

Condiciones	Remoción 50%	Remoción 75%	Remoción 87.5%
Máximo Teórico	0,500	0,750	0,875
Depósitos con muy buenos deflectores	0,730	1,520	2,370
Depósitos con buenos deflectores	0,760	1,660	2,750
Depósitos con deficientes deflectores o sin ellos	1,000	3,000	7,000

Fuente: Tomado y adaptado de Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004). Acueductos, teoría y diseño.

- Tiempo de sedimentación de acuerdo con el estado de las pantallas deflectoras

Después de seleccionar el porcentaje de remoción, se puede determinar la relación a/t y despejar a , que representa el tiempo que tardan las partículas en sedimentar según el estado de las pantallas deflectoras. A continuación, se muestra el despeje de la ecuación:

$$x = \frac{a}{t}$$

Donde:

a/t = Relación adimensional obtenida en la tabla 5

x = Valor asumido para la relación a/t , acorde con el porcentaje de remoción y estado de deflectores (Adimensional)

De la anterior ecuación es posible despejar a , quedando:

$$a = x * t$$

Donde:

a= Tiempo de sedimentación teórica acorde con el estado de las pantallas deflectoras (T)

x= Valor asumido para la relación a/t, acorde con el porcentaje de remoción y estado de los deflectores (Adimensional)

t= Tiempo que demora la partícula en tocar el fondo (T)

- Volumen o capacidad del desarenador

El volumen del desarenador se determina por medio del tiempo de sedimentación (a) y del caudal de diseño de la unidad, con la siguiente ecuación:

$$V = Q * a$$

Donde:

V= Volumen o capacidad del desarenador (L^3)

Q= Caudal de diseño (L^3 / t)

a= Tiempo de sedimentación teórica acorde con el estado de las pantallas deflectoras (T)

- Área del desarenador

El área se puede hallar mediante el volumen de la estructura y la profundidad que pueda recorrer la partícula crítica, mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{V}{H}$$

Donde:

A= Área del desarenador (L^2)

V= Volumen o capacidad del desarenador (L^3)

H= Profundidad que recorre la partícula crítica (L)

- Área requerida

Teniendo en cuenta el caudal de diseño y la velocidad de sedimentación, se puede calcular el área de sedimentación mínima que se requiere para el diseño del desarenador, mediante la siguiente ecuación:

$$Ar = \frac{Q}{Vsd}$$

Donde:

Ar= Área requerida (L^2)

Q= Caudal de diseño (L^3/t)

Vsd= Velocidad de sedimentación para el diseño (L/t)

Si el área calculada es mayor al área requerida, se asume el cumplimiento del diseño.

- Ancho de la zona de sedimentación

La relación sugerida entre el ancho y el largo de la unidad, indica que el largo debe ser cuatro veces el ancho, a partir de esto es posible despejar el ancho de la ecuación del área, de la siguiente manera:

$$A = L * b$$

Donde:

A= Área de la zona de sedimentación (L^2)

L= Longitud de la zona de sedimentador (L)

b= Ancho de la zona de sedimentación (L)

Reemplazando $L=4b$, se tiene

$$A = 4b * b$$

Despejando b, se obtiene:

$$b = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

- Longitud de zona de sedimentación:

Aplicando la relación mencionada en el paso 11 y considerando el ancho calculado con anterioridad, es posible hallar la longitud del sedimentador por medio de la ecuación:

$$L = 4 * b$$

Donde:

L= Largo de la zona de sedimentación (L)

b= Ancho de la zona de sedimentación (L)

- Velocidad de horizontal

La velocidad horizontal es la aceleración es la aceleración que tarda la partícula en recorrer la zona de sedimentación considerando la altura de la estructura, se calculará por medio de la siguiente ecuación:

$$V_h = \frac{Qd}{b * H}$$

Donde:

V_h= Velocidad horizontal (L/t)

Qd= Caudal de diseño (L³/t)

b= Ancho de la zona de sedimentación (L)

H= Profundidad que recorre la partícula crítica (L)

- Relación V_h/V_s

La relación entre la velocidad horizontal y de sedimentación, indica el adecuado dimensionamiento de la estructura, es un parámetro que indica el cumplimiento del diseño, según la Resolución 0330 de 2017, esta relación debe ser menor a 20 y se obtendrá al dividir las velocidades obtenidas.

- Zona de entrada

“Es la cámara donde se disipa la energía del agua que llega con alguna velocidad de captación. En esta zona se orientan las líneas de corriente mediante un dispositivo denominado pantalla deflectora a fin de eliminar turbulencias en la zona de sedimentación” (Acueductos, teoría y diseño, 1993).

Para los cálculos de la zona de entrada al desarenador, se diseñará una pantalla deflectora, para esto, es necesario la velocidad de paso a través de los orificios, ancho de la pantalla, longitud de la pantalla, altura, borde de la canaleta y diámetro de los orificios, a partir de estos parámetros se calcularán los factores esenciales para el diseño de la pantalla con las ecuaciones que se presentan a continuación:

- Altura total de la canaleta

Es el valor de la suma entre la altura y el borde libre propuestos, se calcula por medio de la siguiente ecuación

$$HT = HC + BL$$

Donde:

HT= Altura total de la canaleta (L)

HC= Altura propuesta para la canaleta (L)

BL= Borde libre propuesto para la canaleta (L)

- Área efectiva de orificios

Puesto que la pantalla tiene una geometría rectangular, su área se calcula mediante la ecuación:

$$Ae = \frac{Qd}{v}$$

Donde:

Ae= Área efectiva de los orificios (L^2)

Qd= Caudal de diseño (L^3/t)

V= Velocidad de paso a través de los orificios (L/t)

- Área de orificios

A partir del diámetro de los orificios, será posible calcular el área de estos por medio de la siguiente ecuación:

$$Ao = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

Ao= Área de cada orificio (L^2)

D= Diámetro de cada orificio (L)

- Número de orificios

El número de orificios con los que contará la pantalla deflectora se calcula con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{Ae}{Ao}$$

Donde:

N= Número de orificios

Ae= Área efectiva de los orificios (L^2)

Ao= Área de cada orificio (L^2)

9.5.3. Zona de lodos

Es la zona del sedimentador encargada de recibir y almacenar los lodos sedimentados, para el diseño de esto es necesario asumir la altura de lodos de la estructura, la pendiente y la salida acorde con lo exigido por la normativa vigente. El proceso de diseño se presenta a continuación:

- Distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada del desarenador

El diseño expuesto en el libro Acueductos Teoría y diseño, se sugiere que esta distancia sea la tercera parte del largo de la zona de sedimentación, para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$x = \frac{L}{3}$$

Donde:

x= Distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada al desarenador (L)

L= Largo zona de sedimentación (L)

- Volumen de la tolva

Según el diseño expuesto en el libro Acueductos Teoría y diseño, el volumen de la tolva de lodos debe ser el 20% del volumen de la zona de sedimentación. Se calculará con la siguiente ecuación:

$$V_t = V * 20\%$$

Donde:

V_t= Volumen tolva de lodos (L³)

V= Volumen o capacidad del desarenador (L³)

- Distancia de entrada

La longitud depende de la distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada del desarenador, así como la pendiente planteada para el mismo. A partir de esto es posible hallar la distancia de entrada con la siguiente ecuación:

$$De = x * Pe$$

Donde:

De= Distancia de entrada (L)

x= Distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada al desarenador (L)

Pe= Pendiente de entrada

- Distancia de salida

La distancia de salida de la tolva de lodos es el resultado de la diferencia entre la longitud de la zona de sedimentación y la distancia de entrada, para hallar se usa la ecuación que se muestra:

$$Ds = (L - x) * Ps$$

Donde:

Ds= Distancia de salida (L)

L= Largo zona de sedimentación (L)

x= Distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada al desarenador (L)

Ps= Pendiente de salida

- Carga superficial

La carga superficial es la velocidad crítica de sedimentación, esta puede obtenerse realizando ensayos de sedimentación o puede ser calculada a partir de la relación entre caudal y área, como se muestra a continuación:

$$CS = \frac{Qd * 86400}{A}$$

Donde:

CS= Carga superficial (L3/ L2/t)

Qd= Caudal de diseño (L3/t)

A= Área del desarenador (L2)

9.5.4. Zona de salida

Es la zona encargada de recoger el agua clarificada desde un vertedero de la salida, el cual es el parámetro más importante de diseño para esta zona.

El procedimiento se expone a continuación:

- Longitud de la canaleta de salida Se emplea una longitud igual al ancho del desarenador y el largo de la pantalla deflectora de la zona de entrada.
- Velocidad máxima del agua en la zona de salida Se asume la misma velocidad de paso establecido en la zona de entrada del desarenador.
- Altura de la lámina de agua sobre la cresta Para determinar la altura de la lámina de agua sobre la cresta, se utiliza la ecuación de Francis para vertederos rectangulares, se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = \left(\frac{Qd}{1,84 * L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

h= Altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero de salida (L)

Qd= Caudal de diseño (L³/T)

L= Longitud de la canaleta de salida (L)

4. Área de la canaleta de salida

Teniendo en cuenta la ecuación de continuidad es posible despejar para hallar el área, como se muestra en la ecuación:

$$Ac = \frac{Qd}{Vs}$$

Donde:

Ac= Área de la canaleta de salida (L²)

Qd= Caudal de diseño (L³/t)

Vs= Velocidad máxima del agua en la canaleta de salida (L/t)

5. Ancho de la canaleta de salida

El ancho de la canaleta deberá ser 1.5 veces la altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero de salida, por lo tanto, se calcula con la siguiente ecuación:

$$bc = 1,5 * h$$

Donde:

bc=Ancho de la canaleta de salida (L)

h= Altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero de salida (L)

6. Altura del vertedero de salida

La altura del vertedero se calculará como la relación entre el área y el ancho de la canaleta de salida

$$hv = \frac{Ac}{bc}$$

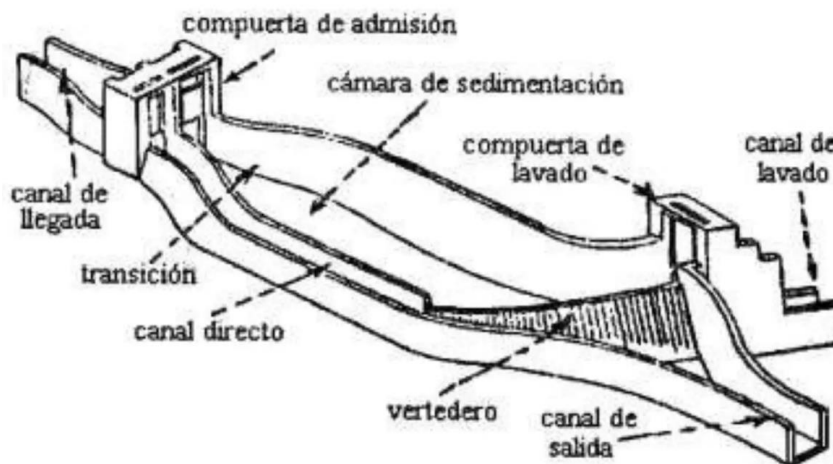
Donde:

Ac= Área de la canaleta de salida (L²)

bc= Ancho de la canaleta de salida (L)

El esquema general de la zona de sedimentación se puede ver a continuación:

Ilustración 10 Esquema desarenador



Fuente: Tomado y adaptado de Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004).

9.6. Tanque de almacenamiento

Esta estructura desempeña un rol importante en los sistemas de distribución de agua, los tanques de agua ubicados en zonas rurales compensan las variaciones de los consumos que se producen durante el día y mantiene las presiones en el servicio de la red de distribución. (Guías para el diseño de reservorios elevados de agua potable, 2005)

9.6.1. Requisitos para el diseño de tanques de almacenamiento

- El volumen del tanque de almacenamiento deberá ser la mayor cantidad obtenida entre la capacidad de regulación y la capacidad de almacenamiento.
- La capacidad de almacenamiento debe ser igual a $1/3$ del volumen distribuido. La capacidad de regulación se debe evaluar en función de los patrones de consumo de cada zona establecida, utilizando métodos gráficos y analíticos.
- El volumen de almacenamiento se debe incrementar para el control de incendios estructurales en los siguientes porcentajes: 25% riesgo alto 20% riesgo medio 15% riesgo bajo
- Los tanques deben funcionar hidráulicamente con esquema de mezcla tipo FIFO.
- La tubería de salida debe ubicarse de manera que los niveles mínimos de operación no generen entrada de aire a la red, ni se permita la resuspensión de sedimentos.
- Los tanques deben tener sistemas de renovación de aire, los elementos de ventilación deberán contar con sistemas que impidan la entrada de sustancias contaminantes.
- El borde libre debe tener como mínimo 0.3 m.

9.7. Diseño del tanque de almacenamiento

El diseño del tanque de almacenamiento se realiza teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la Resolución 0330 de 2017, el procedimiento se detalla a continuación:

- Caudal de diseño

El caudal de diseño del tanque de almacenamiento es el Caudal Máximo Diario (QMD), de acuerdo con lo establecido en la Resolución 0330 de 2017.

- Tiempo de abastecimiento

El diseño del tanque de almacenamiento se realizará considerando un día de abastecimiento.

- Volumen máximo diario

Es el volumen que tendrá la estructura para el tiempo de abastecimiento planteado, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$VMD = Qd * t$$

Donde:

VMD= Volumen Máximo Diario (L^3)

Qd= Caudal de diseño (L^3/t)

t= Tiempo de abastecimiento (t)

- Volumen de almacenamiento

Según la Resolución 0330 de 2017, el volumen o capacidad de almacenamiento con la que debe contar el tanque corresponde a 1/3 del volumen máximo diario, se calcula así:

$$V = VMD * \frac{1}{3}$$

Donde:

V= Volumen de almacenamiento (L^3)

VMD= Volumen Máximo Diario (L^3)

- Volumen sistema contra incendios

De acuerdo con los porcentajes de caudales de incendio, se debe considerar un porcentaje adicional acorde con el riesgo que presente el municipio ante un incendio, la ecuación para hallarlo es:

$$VSCI = V * \%$$

Donde:

VSCI= Volumen del sistema contra incendios (L^3)

V= Volumen de almacenamiento (L^3)

% Acorde al riesgo eventual incendio

- Volumen de almacenamiento total

El volumen total de almacenamiento es la sumatoria entre el volumen del sistema contra incendios y de almacenamiento, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$VT = V + VSCI$$

Donde:

VT= Volumen de almacenamiento total (L^3)

V= Volumen de almacenamiento (L^3)

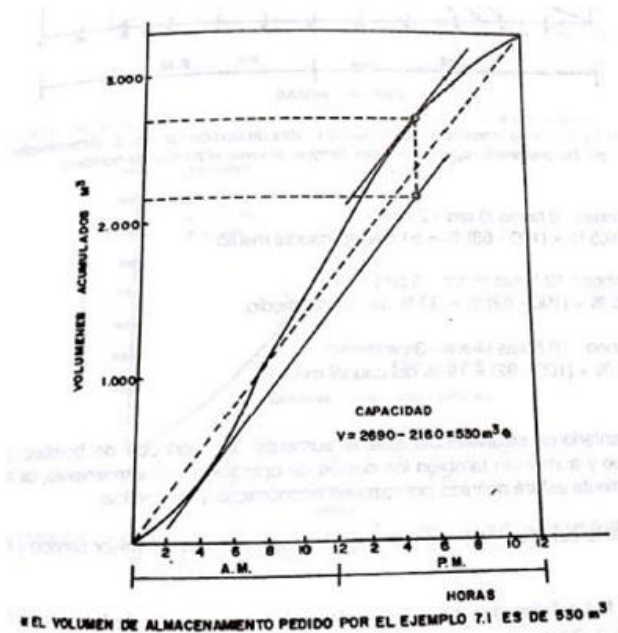
VSCI= Volumen del sistema contra incendios (L^3)

- Volumen de regulación

Este dependerá de los patrones de consumo con los que cuente el área de estudio, en este caso no existe una micro medición o información sobre el consumo y será necesario adoptar un patrón

de consumo. El método para establecer este volumen de regulación del tanque se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 11 Curva de consumos acelerados



Fuente: Tomado y adaptado de Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004)

Se tendrá que calcular el factor de consumo horario en la hora de máxima demanda, se utiliza la siguiente ecuación:

$$FHM = \frac{QMH}{MMD}$$

Donde

FHM= Factor en la hora de máximo consumo (Adimensional)

QMH= Caudal Máximo Horario del periodo de diseño (L^3/t)

QMD= Caudal Máximo Diario del periodo de diseño (L^3/t)

- Volumen de diseño

Según la Resolución 0330 de 2017, el volumen total del tanque de almacenamiento a elegir será el mayor entre la capacidad de almacenamiento y la regulación calculada.

- Longitud y ancho del tanque

De acuerdo con el área disponible el diseñador deberá proponer el largo y ancho que tendrá el tanque de almacenamiento.

- Área del tanque de almacenamiento

El área se calcula a partir de los valores de largo y ancho del desarenador, se calcula con la siguiente ecuación:

$$AT = b * L$$

Donde:

AT= Área del tanque de almacenamiento (L^2)

b= Ancho del tanque de almacenamiento (L)

L= Largo del tanque de almacenamiento (L)

- Altura del tanque de almacenamiento

Para calcular la altura del tanque, se tendrá en cuenta el volumen de diseño y el área de este. Se emplea la siguiente ecuación:

$$H = \frac{VD}{AT}$$

Donde:

H= Altura del tanque de almacenamiento (L)

VD= Volumen de diseño del tanque de almacenamiento (L^3)

AT= Área del tanque de almacenamiento (L^2)

- Altura total del tanque de almacenamiento

Según la Resolución 0330 de 2017, se debe adicionar mínimo 0.30 m como borde libre y se calcula con la siguiente ecuación:

$$HT = H + BL$$

Donde:

HT= Altura total del tanque de almacenamiento (L)

H= Altura del tanque de almacenamiento (L)

BL= Borde libre del tanque de almacenamiento (L)

- Área del desagüe

El área del desagüe podrá ser calculado con la ecuación de tiempo de vaciado del tanque de almacenamiento. La ecuación es la siguiente:

$$T = \frac{2 * AT * \sqrt{H}}{m * a * \sqrt{2g}}$$

Donde:

T= Tiempo de vaciado del tanque de almacenamiento (T)

AT= Área del tanque de almacenamiento (L^2)

H= Altura del tanque de almacenamiento o carga hidráulica sobre el desagüe (L)

m= Coeficiente de contratación del desagüe (Adimensional)

a= Área del desagüe (L^2)

g= Gravedad (L/T^2)

A partir de esto el diseñador tendrá que plantear un tiempo de vaciado que sea inferior a 8 horas, despejando esta ecuación para hallar el área quedaría así:

$$a = \frac{2 * AT * \sqrt{H}}{m * T * \sqrt{2g}}$$

- Radio de la tubería de desagüe

Con el área del desagüe se podrá despejar el radio de la tubería, aplicando la siguiente ecuación:

$$a = \pi * r^2$$

Donde:

a= Área del desagüe (L^2)

r= Radio de la tubería de desagüe (L)

Para conocer el radio de la tubería a instalar se despejará la ecuación del área del desagüe quedando:

$$r = \sqrt{\frac{a}{\pi}}$$

- Diámetro de la tubería de desagüe

El diámetro de la tubería de desagüe se obtendrá al duplicar el radio, es decir:

$$\emptyset = 2 * r$$

Donde:

$\emptyset$ = Diámetro de la tubería de desagüe (L)

r= Radio de la tubería de desagüe (L)

- Velocidad de vaciado

La velocidad de vaciado dependerá del tiempo de vaciado, así como la profundidad calculada, para su cálculo se tendrá en cuenta la siguiente ecuación:

$$V = \frac{H}{T}$$

Donde:

V= Velocidad de vaciado del tanque (L/t)

H= Altura del tanque de almacenamiento (L)

T= Tiempo de vaciado del tanque (T)

Diámetro de entrada y salida Depende de la red de distribución y a la posición que tendrá el tanque dentro de la misma será posible determinar el diámetro de las tuberías de ingreso y salida de la estructura.

9.8. Red de distribución

Es el conjunto de tuberías las cuales están destinadas al suministro y ruta de agua potable a las viviendas y establecimientos de la vereda. Estas redes parten de los tanques de almacenamiento y los demás accesorios y estructuras necesarias para la correcta operación del sistema. (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS)

10. MARCO LEGAL

La normatividad concerniente al sector del agua potable y saneamiento básico, las cuales están dadas para estandarizar los procesos de vertimiento, conducción y tratamiento de las aguas servidas, además del componente ambiental de tales procesos:

República de Colombia. Ley 99 de 1993. “Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA y se dictan otras disposiciones”.

República de Colombia. Ley 373 de 1997. “Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua”. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa

para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico

República de Colombia. Decreto 3102 de 1997 “Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas y elementos de bajo consumo de agua”. “Es el consumo mensual promedio de cada usuario medido en condiciones normales en los seis (6) meses anteriores a la instalación de equipos, sistemas o implementos de bajo consumo de agua, ajustados por el factor de eficiencia de dichos equipos.” República de Colombia. Decreto 475 de 1998 “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable”.

Parágrafo: “Las personas que prestan el servicio público de acueducto, bajo condiciones normales, deberán garantizar su abastecimiento en continuidad y presión en la red de distribución, acorde con lo dispuesto en los planes de gestión y resultados (PGR), elaborados por las personas que prestan el servicio público de acueducto y aprobados por el Ministerio de Desarrollo Económico, de acuerdo con lo estipulado en la Ley 142 de 1994.”

Según el Ministerio De Desarrollo Económico, Colombia. Resolución 0330 (8 de junio de 2017). Por la cual adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico “RAS”.

Decreto 1076 de 2015 por la cual se otorga a la Autoridad Ambiental competente para otorgar concesión de aguas superficiales según los parámetros allí dispuestos y que se deberán tener en cuenta al momento de realizar proyectos de captación de agua superficial según el uso que se le de al mismo.

11. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación, se deberá tener en cuenta diferentes factores relevantes para determinar la viabilidad de la implementación de un acueducto en el sector Quebradas de la vereda Manta Grande Arriba, así, el primer paso para determinar si la quebrada es apta para consumo humano se determinará la calidad del agua mediante el indicador ICA como se describe a continuación:

11.1. Calidad del agua

Para el cálculo y medición de la calidad del agua de la quebrada del Golpe, se hará una toma de muestras que determine la potabilidad del agua a través de indicadores como lo es el ICA contemplado en la Resolución 2115 de 2007. Los cuales contemplan parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Así, por medio de dicho indicador se determinará la calidad y nivel de riesgo del recurso hídrico correspondiente a dicha quebrada.

Para el cálculo y medición de la calidad del agua de la quebrada del Golpe, se hará una toma de muestras a través de indicadores como lo es el ICA (Índice de Calidad del Agua), por medio del cual se calificará la calidad del agua a partir de 7 parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Estas variables tomarán valores de 0 a 1 dependiendo el nivel de concentración de cada una, ver tabla 9.

Las variables que serán tenidas en cuenta en el ICA, son:

- Oxígeno disuelto (OD)
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Conductividad eléctrica
- Sólidos suspendidos totales
- Demanda química de Oxígeno (DQO)
- Relación N total /P total
- Coliformes fecales

Tabla 9 *Descriptor de calidad ICA*

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Fuente: (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2023)

Para llevar a cabo este cálculo, el IDEAM determinó la siguiente fórmula:

$$ICA_{njt} = \sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt}$$

Ecuación 1

La ecuación 1, relaciona la sumatoria entre la cantidad de variables a tener en cuenta teniendo en cuenta la ponderación para cada una de ellas y el resultado obtenido por cada variable.

Donde, se deberá tener en cuenta la siguiente tabla de ponderaciones por cada una de las variables mencionadas anteriormente así:

Tabla 10 *Ponderaciones variables de ecuación*

n	I _{ikjt}	W _i
1	Oxígeno disuelto (OD)	0.16
2	Potencial de hidrógeno (pH)	0.14
3	Conductividad eléctrica	0.14
4	Sólidos suspendidos totales	0.14
5	Demanda química de Oxígeno (DQO)	0.14
6	Relación N total /P total	0.14
7	Coliformes fecales	0.14

Fuente: Adaptado y elaborado de (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2023)

Se realizará una evaluación parcial del índice ICA, donde se tendrán en cuenta las siguientes 3 variables:

Conductividad eléctrica (C.E.):

Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, refleja la mineralización. Se calcula como sigue:

$$I_{C.E} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\log_{10}*C.E.)}$$

Ecuación 4 Fórmula de cálculo subíndice de Conductividad eléctrica

Cuando IC.E. < 0, entonces IC.E. = 0.

Potencial de Hidrogeniones (pH):

Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas.

Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0.1$

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$

Si $7 \leq pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$

Si $8 \leq pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 * e^{[(pH-8)-0.5187742]}$

Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0.1$

Patógenos E. coli:

Representa la contaminación por materia orgánica procedente de actividades antrópicas.

Si E. coli < 50, entonces $I_{E.coli} = 0.98$

Si $50 \leq E.coli < 1600$, entonces $I_{E.coli} = 0,98 * e^{(E.coli-50)*(-0.0009917754)}$

Si E. coli ≥ 1600 , entonces $I_{E.coli} = 0.1$

Una vez calculados los valores anteriores para determinar la calidad de agua de la quebrada El Golpe, se continuará con el diseño del acueducto que mejor se adapte a la zona de estudio, contemplando los siguientes factores:

11.2. Información demográfica

Para la información demográfica, se contempla el censo poblacional más reciente y el del año anterior, así mismo al ser un sector de una vereda, se tendrá en cuenta, además, la información contenida en el libro de la Junta de Acción veredal para el Sector Quebradas de la vereda Mantagrande Arriba.

Proyección poblacional

Teniendo en cuenta lo anterior se llevará a cabo la proyección poblacional para estimaciones en el consumo de agua a partir del acueducto que se adapte a las características de la zona, a partir de los siguientes métodos

11.2.1. Método aritmético

Este método tiene en cuenta la población de los censos de dos periodos distintos, puede ser para plazo cortos de tiempo. Se da aplicando la siguiente fórmula

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

Donde:

Pf: Población futura

Puc: Población del último censo

Pci: Población del censo inicial

Tuc: Año del último censo

Tci: Año del censo inicial

11.2.2. Método geométrico

El modelo geométrico consiste en considerar que a iguales periodos de tiempo el mismo porcentaje de incremento de la población, para el cálculo de este incremento se utiliza la fórmula del interés compuesto.

Se calcula la tasa de crecimiento aritmético:

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

r = Tasa de crecimiento aritmético

Puc: Población del último censo

Pci: Población del censo inicial

Tuc: Año del último censo

Tci: Año del censo inicial

Se calcula la población futura así:

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

Pf: Población futura

Puc: Población del último censo

r: Tasa de crecimiento aritmético

Tfu: Año proyectado

Tuc: Año del último censo

11.2.3. Método exponencial

Consiste en calcular un modelo de crecimiento poblacional constante y rápido de la población:

Se calcula la tasa de crecimiento aritmético:

$$k = \frac{\ln Puc - \ln Pci}{Tuc - Tci}$$

k = Tasa de crecimiento exponencial

Puc: Población del último censo

Pci: Población del censo inicial

Tuc: Año del último censo

Tci: Año del censo inicial

Se calcula la población futura así:

$$Pf = Pci * e^{k*(Tfu-Tci)}$$

Pf: Población futura

Pci: Población del último censo

k: Tasa de crecimiento exponencial

Tfu: Año proyectado

Tuc: Año del censo inicial

11.3. Propuesta acueducto

Para el desarrollo de propuesta de n sistema de acueducto, se deberán tener en cuenta los anteriores cálculos de población además de la determinación de la calidad de agua, con el fin de dar un concepto viable para la implementación de n sistema de acueducto favorable para las condiciones físicas de la zona de estudio.

Para ello se contemplará lo suscrito en la Resolución 0330 de 2017, en la cual se indican los parámetros necesarios para la implementación de n sistema de acueducto según las condiciones d la zona donde se desee implementar. Así, se hará el cálculo de los apartados que se realizaron en el marco conceptual del presente proyecto, teniendo en cuenta caudales, dotación, bocatomas, energía, canal recolector, desarenador, zonas de sedimentación, zona de lodos, tanque de almacenamiento y red de distribución.

Lo anterior se da en el marco de la primera etapa de estudio de un sistema de acueducto, ya que el alcance del proyecto solo contemplará la viabilidad y propuesta de un sistema que se adapte a las condiciones socioeconómicas actuales de la comunidad objeto de estudio.

11.4. Red de Distribución

En lo que respecta a la infraestructura de distribución, hace referencia a un sistema compuesto por una serie de conductos, componentes y disposiciones destinadas a guiar el flujo del agua desde un centro de almacenamiento hacia los lugares de destino, es decir, las viviendas. Este sistema se divide en ductos principales y ductos secundarios. Las líneas principales podrían ser diseñadas con dimensiones de 3 pulgadas, mientras que las líneas secundarias podrían tener diámetros de 2 o ½ pulgadas. El enfoque considera tres variantes de estructura. La planificación del proyecto de distribución debe abarcar diversas actividades, entre las cuales se encuentran:

- a) Definición de los caudales para el dimensionamiento de la red de distribución
- b) Delimitación del perímetro sanitario, perímetro de servicio o del área total
- c) Fijación de las capacidades de los tanques de distribución y compensación localizados dentro de la red de distribución
- d) Establecimiento del trazado tanto para los conductos principales como para los secundarios en la red.
- e) Cálculo de las dimensiones adecuadas para cada tubería presente en la red.
- f) Determinación del lugar y dimensiones correspondientes a los dispositivos y elementos esenciales para el funcionamiento y la operatividad eficaz del sistema de distribución de agua potable.
- g) Delimitación de las fases esenciales para la ejecución exitosa del sistema de distribución de agua potable.
- h) Descripción detallada de las construcciones, los materiales, así como los equipos que constituyen la red de distribución en su conjunto.

Las reservas entran en juego cuando la demanda de consumo se intensifica, asegurando así un suministro de agua constante a los hogares.

En el proceso de diseño, es esencial tener en consideración lo siguiente:

- Evaluar el nivel de complejidad, lo que implica llevar a cabo estudios iniciales que abarcan aspectos topográficos y la relación entre costos y beneficios.
- Establecer el caudal de diseño en función del caudal máximo horario (QMH).
- Hay que asegurar que las dimensiones del tanque se adecuen a los parámetros normativos pertinentes, los cuales varían en función de factores como ubicación geográfica, costos y materiales. Este ajuste garantiza tanto la seguridad como la durabilidad del sistema.

Por otra parte, es crucial limitar la dotación de suministro. Concretamente, esta dotación debe oscilar entre 30 y 60 litros por día y por individuo. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021)

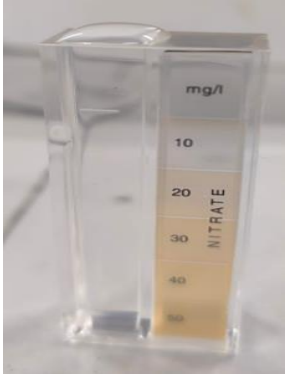
12. RESULTADOS

12.1. Calidad del agua, quebrada El Golpe

Para determinar la calidad del agua, se tuvo en cuenta el índice ICA donde se evaluaron aspectos físicos, químicos y microbiológicos del agua en la quebrada El Golpe.

Así se tomaron varias muestras de agua el día 01 de julio del presente año, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia y en un laboratorio especializado para la muestra microbiológica. Ver las siguientes ilustraciones (12 a 17)



Ilustración 12. Q. del Golpe	Ilustración 13. muestras de agua	Ilustración 14. Muestras de agua separadas en el laboratorio
		
Ilustración 15. resultados color del agua	Ilustración 16. resultados Turbidímetro	Ilustración 17. resultados Nitrato

Fuente: Elaboración propia, 2024

Una vez se obtuvieron estos resultados en campo, se continuó con el análisis de las muestras en el laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia, realizando el análisis de jarras tanto de agua superficial como de agua profunda, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 11 Resultados de laboratorio por cada parámetro

Parametros	Unidades	M1 Sup. Cruda (0 - 13 cm)	J1	J2	J3	J4	M2 Prof Cruda (13 - 27 cm)	J5	J6	J7	J8	Limite aceptable
Cantidad de floculante (Al2So4)	mg/l		40	80	160	320		40	80	160	320	
pH	UND	8,07	4,45	4,59	4,52	4,40	8,26	5,60	4,81	4,41	4,29	6,5 - 9,0
Conductividad	μS/cm	5,62	59,42	92,48	152,40	257,50	5,83	51,70	90,54	155,10	263,80	< 1000
TDS	PPM=mg/L	3,53	37,97	59,07	97,53	168,30	3,67	32,90	57,66	99,23	172,50	
Turbiedad	FNU	0,53	0,34	0,49	0,43	0,42	0,40	0,51	0,41	0,47	0,47	< 2
Color	UPC	33	19	27	26	28	34	23	24	27	34	< 15
Acidez	mg/l	NA	1,80	5,80	6,40	10,20	x	1,60	3,40	7,00	14,00	
Alcalinidad	mg/l	NA	15,60	8,40	8,40	9,60	x	10,00	13,00	14,20	13,40	200
Dureza T	mg/l	NA	13,40	5,16	4,68	10,80	x	11,28	4,32	7,64	6,84	300
Fe	mg/l	<1	NA	NA	NA	NA	<1	NA	NA	NA	NA	0,3
NO3	mg/l	<10	NA	NA	NA	NA	<10	NA	NA	NA	NA	10
SO4	mg/l	0	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA	NA	250
Resultado Microbiológico												
Coliformes	NMP/100mL	11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	< 0

Fuente: Elaboración propia, 2024

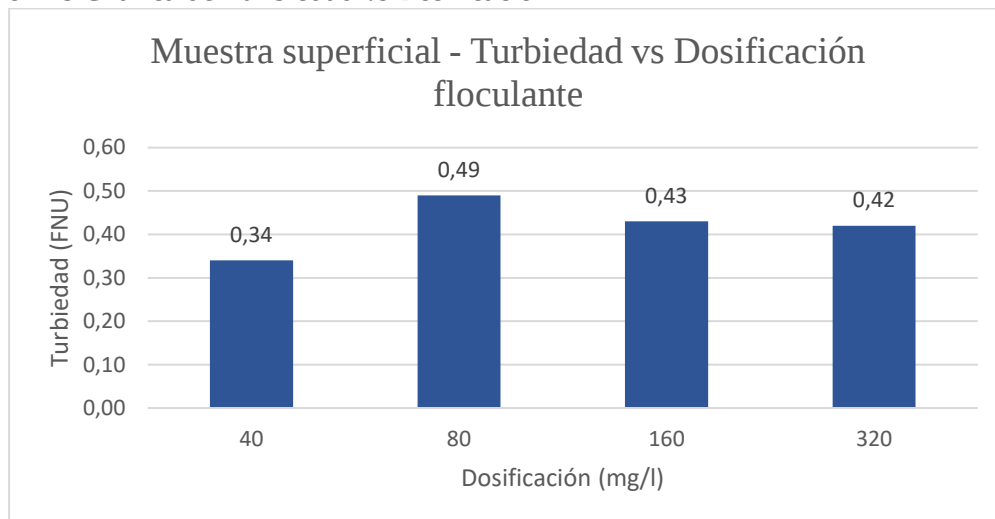
Conforme a los resultados obtenidos de las muestras tomadas en la quebrada El Golpe, y analizadas en laboratorio, se continúa con la prueba de jarras

Tabla 12 *Dosificación de sulfato de aluminio en muestra superficial*

M.SUPERFICIAL		
Dosificación (mg/L)	Turbiedad	pH
40	0,34	4,45
80	0,49	4,59
160	0,43	4,52
320	0,42	4,40

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18 *Gráfica de Turbiedad vs Dosificación*



Fuente: Elaboración propia

La gráfica anterior muestra la relación entre la turbiedad (medida en FNU) y la dosificación de coagulante (medida en mg/l). según los datos arrojados se puede inferir que:

- Reducción de Turbiedad con Aumento de Dosificación: Al aumentar la dosificación de coagulante, la turbiedad disminuye significativamente hasta un punto óptimo. Esto

indica que el coagulante es efectivo para clarificar el agua al reducir las partículas en suspensión.

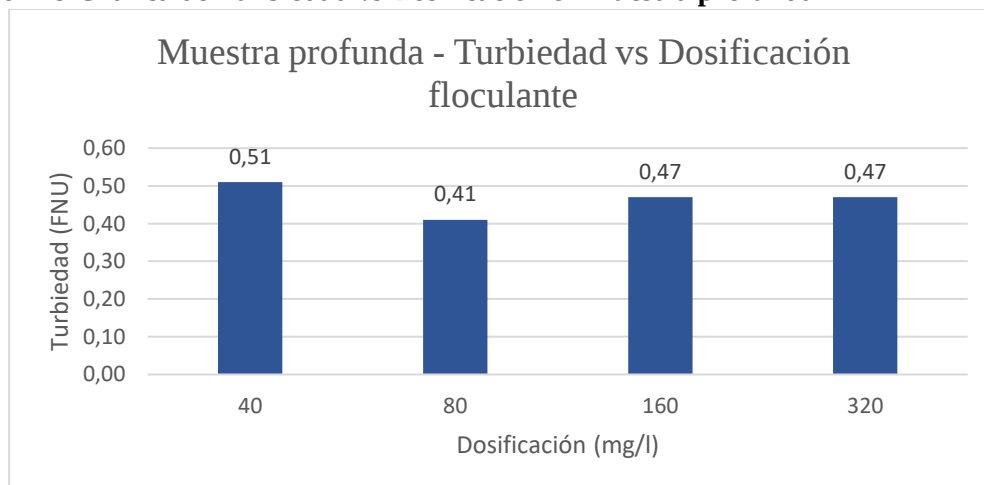
- **Punto Óptimo de Dosificación:** La gráfica muestra que hay un punto en el que la turbiedad alcanza su nivel más bajo utilizando 40 mg/l de Al_2SO_4 se obtiene la turbiedad más baja para la muestra superficial, la cual es 0,34 FNU. Este es el punto óptimo de dosificación, donde el coagulante es más eficiente.
- **Efecto de Saturación:** Después de alcanzar el punto óptimo, aumentar la dosificación de coagulante no resulta en una mayor reducción de la turbidez. Esto sugiere que hay un límite en la cantidad de coagulante que puede ser efectivamente utilizada para clarificar el agua

Tabla 13 Dosificación de sulfato de aluminio en muestra superficial

M.PROFUNDA		
Dosificación (mg/L)	Turbiedad	pH
40	0,51	5,60
80	0,41	4,81
160	0,47	4,41
320	0,47	4,29

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19 Gráfica de Turbiedad vs Dosificación en muestra profunda



Fuente: Elaboración propia

La ilustración 19 muestra una relación entre la dosificación de coagulantes y la turbiedad del agua. De lo cual se infiere que:

- Tendencia General: La turbidez disminuye inicialmente con el aumento de la dosificación de coagulante, alcanzando un punto mínimo, y luego vuelve a aumentar ligeramente. Esto sugiere que hay una dosificación óptima para reducir la turbiedad.
- Punto Óptimo de Dosificación: Similar a la gráfica anterior, hay un punto en el que la turbiedad es más baja utilizando 80 mg/l de Al_2SO_4 se obtiene la turbiedad más baja para la muestra superficial, la cual es 0,41 FNU. Este es el punto óptimo de dosificación, donde el coagulante es más efectivo.
- Efecto de Sobredosificación: Después del punto óptimo, la turbiedad aumenta ligeramente con una mayor dosificación de coagulantes. Esto podría indicar que una sobredosificación puede causar reacciones adversas, como la formación de flóculos que no se eliminan eficientemente, aumentando nuevamente la turbidez.

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 12, se puede inferir que, la mejor jarra del experimento es la J1, que es de agua superficial a la cual se le agregó 40 mg/l de Al_2SO_4 , que obtuvo una turbiedad de 0,34 FNU. Los parámetros medidos del agua en comparación con los límites se encuentran dentro del rango aceptable, sin embargo, en el caso del color, se obtuvo valores por encima del rango aceptable en las 8 jarras, el cual puede ser corregido con un filtro de carbón activado (AC) ya que está diseñado para absorber partículas y contaminantes que puedan estar en el agua y así evitar alterar el pH del agua.

En cuanto al pH del agua, se obtuvo como resultado un nivel de 8.03, el cual refleja un nivel estable de potabilidad según la Resolución 2115 de 2007, indica que el valor para el potencial de hidrógeno (pH) del agua potable deberán estar comprendido entre 6.5 y 9.0.

Conforme a los resultados obtenidos en la tabla anterior se evaluaron 3 de los parámetros para obtener el ICA, los cuales son los siguientes:

Conductividad eléctrica (C.E.):

- Agua Superficial

$$I_{C.E} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\log 10*5,62.)}$$

$$I_{C.E} = -1,203 \times 10^{14}$$

$$I_{C.E} = 0$$

- Agua profunda

$$I_{C.E} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\log 10*5,83.)}$$

$$I_{C.E} = -5,349 \times 10^{14}$$

$$I_{C.E} = 0$$

Potencial de Hidrogeniones (pH):

Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas.

- Agua Superficial

pH=8,07

$$I_{pH} = 1 * e^{[(8,07-8)-0.5187742]}$$

$$I_{pH} = 0,362$$

- Agua profunda

pH=8,26

$$I_{pH} = 1 * e^{[(8,26-8)-0.5187742]}$$

$$I_{pH} = 0,228$$

Patógenos E. coli:

E. coli =11

$$I_{E.coli} = 0.98$$

12.1.2. Resultados Índice de Calidad del Agua (ICA)

- **Agua Superficial**

$$ICA_{njt} = \sum_{i=1}^3 \left[(0,14 * 3) * \left(\frac{0 + 0,362 + 0,98}{3} \right) \right]$$

$$ICA_{njt} = 0,563$$

- **Agua profunda**

$$ICA_{njt} = 0,51$$

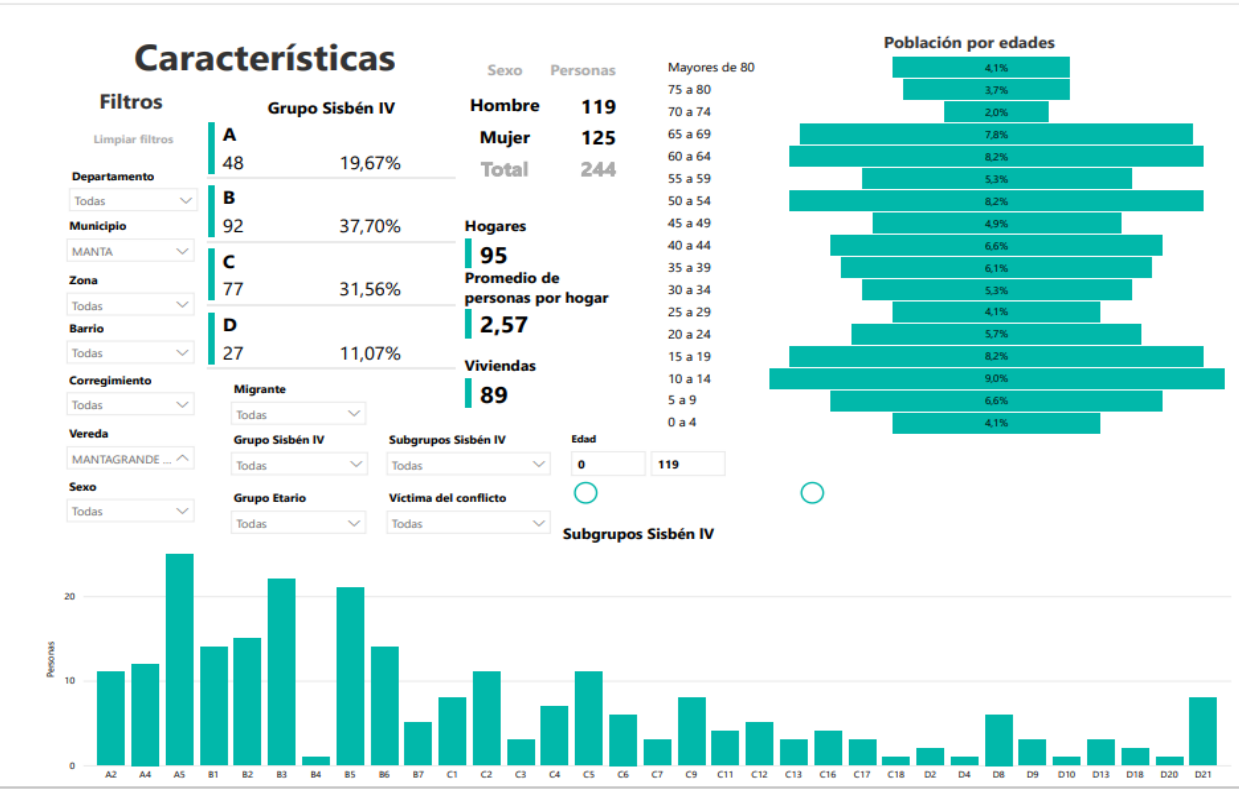
$$ICA_{njt} = \sum_{i=1}^3 \left[(0,14 * 3) * \left(\frac{0 + 0,228 + 0,98}{3} \right) \right]$$

Según la tabla 5 y los resultados de la ecuación anterior, donde se indica la calidad del agua (ICA), se puede concluir que el agua superficial es de calidad “regular”, y los resultados para el agua profunda indica que también es de calidad “regular” calidad.

12.2. Proyección de población

Según el censo de población veredal realizada por el Sisbén con proyección al presente año 2024, se tiene un total de 245 personas pertenecientes a la vereda Manta Grande Arriba, con edades que van desde los 4 a los 80 años, siendo el rango de edades entre 10 a 14 años el de mayor porcentaje con un 8.6% sobre el 100% de la población para esta vereda. Ver ilustración 20

Ilustración 20. Censo poblacional Sisbén vereda Manta Grande Arriba



Fuente: Sisbén, 2024, tomado de Alcaldía municipal de Manta

Ahora bien, específicamente para el área de estudio del presente proyecto, ubicado en el sector Quebradas de la vereda Manta Grande Arriba, la población se obtiene desde el libro de afiliados de la Junta de Acción Comunal del Sector Quebradas, perteneciente a la vereda Manta Grande Arriba, otorgado por la Junta de acción comunal, hay un promedio total de 77 personas mayores de 15 años inscritas (ver anexo 1. Libro de afiliados) indicando un porcentaje de 1.63% sobre la población total del municipio de Manta. Con la información anterior se determinó la población menor de 15 años, la cual corresponde al 19,6% para calcular la población total del sector la cual es 92 personas.

Tabla 14 Población del sector.

Población de la vereda Mantagrande Arriba sector Quebradas		
Año	2016	2024
Población libro de afiliados >15 años	68	77

Total de la población del sector	77	92
---	----	----

Fuente: Elaboración propia

12.2.1. Método aritmético

Asumiendo que el listado de afiliados de la junta del 2024 es el último censo, su población para este sector es de 77 habitantes, teniendo en cuenta que se tendrá un periodo de diseño de 25 años y que se tiene un nivel de complejidad bajo, se procede a realizar una proyección al 2049, como lo establece la resolución 0330 de 2017, los datos a obtener son los siguientes:

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

$$Pf = 92 + \frac{92 - 81}{2024 - 2016} * (2049 - 2024) = 126,375 \approx 126 \text{ Habitantes}$$

12.2.2. Método Geométrico

Tomando en cuenta la tasa de crecimiento anual se calcula así:

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

$$r = \left(\frac{92}{81} \right)^{\frac{1}{(2024 - 2016)}} - 1 = 0,016$$

Se obtiene una población final de:

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

$$Pf = 92(1 + 0,016)^{2049 - 2024} = 136,964 \approx 137 \text{ Habitantes}$$

12.2.3. Método exponencial

Se debe calcular k así:

$$k = \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca}$$

$$k = \frac{\ln 92 - \ln 81}{2024 - 2016} = 0,015$$

Una vez hallado el K se calcula la población final.

$$Pf = 81 * e^{0,015*(2049-2016)} = 136,886 \approx 137 \text{ Habitantes}$$

Teniendo las poblaciones calculadas se realiza un promedio de las 3 para el año 2049.

$$Poblacion\ de\ diseño = \frac{(126 + 137 + 137)}{3} = 133,333 \approx 133 \text{ habitantes}$$

12.3. Cálculo de caudales

Para la determinación del caudal del afluente se realizó un aforo de caudal por el método volumétrico, utilizando un recipiente con un volumen conocido de 19 (l) como se puede observar en la siguiente ilustración

Ilustración 21. cálculo de caudal en campo



Fuente: Elaboración propia

Se tomaron las muestras en 3 tiempos, dando como resultado un promedio de llenado de 5,38 (s) con el cual hallaremos el caudal del afluente.

$$Q = \frac{v}{t}$$

$$Q = \frac{19 \text{ l}}{5,38 \text{ s}} = 3,53 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Teniendo en cuenta el cálculo anterior, se determinó que el caudal promedio es de 3,53 l/s

12.3.1. Caudal medio diario

Con la población proyectada para el año 2049, aplicando la ecuación se obtiene:

$$D_{bruta} = \frac{161 * 191,66 \frac{L}{hab * día}}{86400} = 0,357 \frac{L}{s}$$

12.3.2. Caudal máximo diario

Teniendo en cuenta el caudal medio diario y el coeficiente de consumo máximo diario, se calcula el caudal de la siguiente manera

Factor de mayoración "k1"	Población
1,2	>12500
1,3	≤12500

Fuente: Tabla tomada y adaptada de la resolución 0330 del 08 de junio de 2017-RAS

Puesto que la población es de 161 habitantes, se toma un k1 = 1,3. Teniendo esto en cuenta:

$$QMD = Qmd * k1$$

$$QMD = 0,357 * 1,3 = 0,464 \frac{L}{s}$$

12.3.3. Caudal máximo horario

Con el caudal máximo diario calculado y adoptando el valor del coeficiente máximo horario, se calcula el caudal de la siguiente ecuación:

Factor de mayoración "k2"	Población
1,5	>12500
1,6	≤12500

Fuente: Tabla tomada y adaptada de la resolución 0330 del 08 de junio de 2017-RAS

Con esto se continúa a calcular el caudal máximo horario de la vereda, ya que su población es menor a lo estipulado se utiliza un factor de mayoración $k_2 = 1,6$, entonces:

$$QMD = QMD * k_2$$
$$QMD = 0,464 * 1,6 = 0,742 \frac{L}{s}$$

12.3.4. Caudal de diseño por componente

Teniendo en cuenta los caudales obtenidos anteriormente será posible hallar el caudal de diseño, según la Resolución 0330 de 2017 los caudales de diseño de cada uno de los componentes del sistema se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 15 Caudal por componente

Componente	Caudal (l/s)	Caudal m3/s
Captación fuente superficial	0,727	0,000727
Captación fuente subterránea	0,363	0,000363
Desarenador	0,363	0,000363
Aducción	0,363	0,000363
Conducción	0,363	0,000363
tanque	0,363	0,000363
Red de distribución	0,581	0,000581

Fuente: Elaboración propia

12.3. Dotación

12.3.1. Dotación neta según m.s.n.m

Teniendo en cuenta la Resolución 0330 del 08 de junio de 2017 (RAS), y la información recolectada en el Sistema Único de Información (SUI), se tiene que, para el municipio de Manta, específicamente la vereda Manta Grande Arriba, Sector Quebradas, oscila en un rango de altitud de 2437 y 1894 m.s.n.m., indicando así una dotación neta máxima de consumo de 120 L/hab*día. Ver Tabla 16

Tabla 16 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MAXIMA (L/HAB*DIA)
> 2.000 m.s.n.m	120
1.000 – 2.000 m.s.n.m	130
< 1.000 m.s.n.m	140

Fuente: Tabla tomada y adaptada de la resolución 0330 del 08 de junio de 2017-RAS

$$Dotación\ neta\ ajustada = 130 \frac{L}{hab * día} * 0,1 = 13 \frac{L}{hab * día}$$

$$Dotación\ neta\ ajustada = 143 \frac{L}{hab * día}$$

12.3.2. Cálculo de la dotación bruta

Según la Resolución 0330 de 2017, el porcentaje de pérdidas técnicas máximas no debe superar el 25%, se tiene:

$$D_{bruta} = \frac{143 \frac{L}{hab * día}}{(1 - 25\%)} = 191,66 \frac{L}{hab * día}$$

12.4. Sistema de tratamiento de agua más favorable

Teniendo en cuenta los resultados anteriormente obtenidos y según el análisis realizado por cada una de las variables tanto de calidad de agua, climatológicas, demográficas, topográficas y de caudal, se calculan los siguientes parámetros para el sistema de tratamiento de agua

12.4.1. Bocatoma

Para diseñar la bocatoma, se consideran los datos hidrológicos obtenidos previamente y el procedimiento descrito en el marco teórico. A continuación, se lleva a cabo el desarrollo.

12.4.1.1. Caudal de entrada a la rejilla

Para el cálculo del caudal de entrada a la rejilla se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

Tabla 17 Datos hídricos de la quebrada el golpe

Caudal máximo	25,15 m ³ /s
Altura máxima	2850 m
Caudal mínimo	1,14 m ³ /s
Altura mínima	1800 m

Tabla 18 . Criterios de diseño para cálculo de caudal de entrada de la rejilla

Caudal mínimo	1,14 m ³ /s
Ancho total de la garganta del vertedero	2,16 m
Ancho de la rejilla	1 m

Para llevar a cabo el cálculo de la rejilla, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_1 = \frac{Q_{min}}{W/b}$$
$$Q_1 = \frac{1,14 \text{ m}^3/\text{s}}{2,16\text{m}/1\text{m}} = 0,527 \text{ m}^3/\text{s}$$

12.4.1.2. Caudal de captación

Para llevar a cabo el cálculo se usa la siguiente ecuación

$$Q_{dis} = 2 * QMD$$
$$Q_{dis} = 2 * 0,000363 \text{ m}^3/s = 0,000726 \text{ m}^3/s$$

12.4.1.2. Caudal de salida

Teniendo en cuenta el valor calculado del caudal de captación y aplicando la siguiente ecuación, se obtiene:

$$Q_2 = Q_1 - Q_{dis}$$
$$Q_2 = 0,527 \text{ m}^3/s - 0,000726 \text{ m}^3/s = 0,526 \text{ m}^3/s$$

12.4.1.3. Altura crítica

Considerando la geometría rectangular del canal y teniendo en cuenta que caudal unitario es $q=Q/b$, se obtiene:

$$q = \frac{Q}{b}$$
$$q = \frac{0,526 \text{ m}^3/s}{1m} = 0,526 \text{ m}^3/s * m$$

Quedando como ecuación final

$$Y_c = \sqrt{\frac{(0,526 \text{ m}^3/s * m)^2}{9,81 \text{ m/s}^2}} = 0,304 \text{ m}$$

12.4.1.4. Velocidad crítica

Con los valores calculados en el numeral anterior se calcula la velocidad critica por medio de la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{Q1}{b * Y_c}$$

$$V_c = \frac{0,526 \text{ m}^3/\text{s}}{1\text{m} * 0,304\text{m}} = 1,730 \text{ m/s}$$

12.4.1.5. Energía crítica o mínima

A partir de la profundidad y la velocidad critica, se emplea la siguiente ecuación y se obtiene:

$$E_c = Y_c + \frac{V_c^2}{2g}$$

$$E_c = 0,304\text{m} + \frac{(1,730 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,456 \text{ m}$$

12.4.1.6. Energía específica al inicio de la rejilla

Para calcular la energía especifica se debe asumir una altura inicial que este cerca al valor de la altura crítica, de esta manera se asume que $Y1 = 0,045 \text{ m}$, teniendo este valor se emplea la siguiente ecuación:

$$E = Y1 + \left(\frac{Q1^2}{2 * g * b^2 * Y1} \right)$$

$$E = 0,045\text{m} + \left(\frac{(0,526 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 1^2 * 0,045} \right) = 0,358 \text{ m}$$

12.4.1.7. Altura del agua a la entrada de la rejilla

El cálculo de la altura de la lámina de agua antes de la rejilla depende de la energía específica y de la altura asumida, este valor permite tener la relación $Y1/Y_c$, expresada así:

$$\frac{Y1}{E} = \frac{0,045 \text{ m}}{0,358 \text{ m}} = 0,125$$

Teniendo en cuenta los valores Y/Y_C vs Y/E , se obtiene un valor de Y_1/Y_C de 0,156. A partir de esto, se calculará la altura de la lámina con la siguiente ecuación:

$$Y_1 = Y_C * \frac{Y_1}{Y_C}$$

$$Y_1 = 0,304 \text{ m} * 0,156 = 0,047 \text{ m}$$

12.4.1.8. Coeficiente de descarga en la rejilla

Para calcular este coeficiente es importante calcular el coeficiente de descarga, el cual depende del tipo de rejilla. Para este proyecto se emplean las barras paralelas con inclinación horizontal, por lo tanto, se asigna un coeficiente de 0,497.

Tabla 19 *Inclinación y coeficiente por tipo de rejilla*

Tipo de Rejilla	Inclinación	Coeficiente
Barras paralelas	1:05	0,435
	Horizontal	0,497
Lámina perforada	1:05	0,75
	Horizontal	0,80

Fuente: elaboración propia

12.4.1.9. Número de barras

El número de barras dependerá de varios criterios que se pueden consultar en la siguiente tabla.

Tabla 20 *Criterios para el cálculo de número de barras*

Parámetro	Valor Seleccionado
Diámetro de las barras	3/8" - 0,010 m
Espaciamiento de barras	0,020 m

Fuente: tomado y adaptado de Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004).

Teniendo en cuenta los requisitos expuestos en Acueductos, teoría y diseño, se tendrá un espaciamiento de barras de 0,020 m. Con estos valores será posible calcular el número de barras con la siguiente ecuación:

$$n = \left(\frac{1m - 0,020 m}{0,010 m + 0,020 m} \right) = 33,19 \text{ barras}$$

12.4.1.10. Comprobación del ancho

Para la comprobación del ancho se tendrá en cuenta la siguiente ecuación:

$$n = (n * \emptyset) + (s * (n + 1))$$

$$n = (33,19 * 0,010m) + (0,020m * (33,19 + 1)) = 0,960m$$

12.4.1.11. Relación entre el área de abertura y el área total

Para obtener esta relación se utilizará la siguiente ecuación:

$$e = \frac{(n + 1) * s}{b}$$

$$e = \frac{(33,19 + 1) * 0,020}{1m} = 0,684m$$

12.4.1.12. Diseño del canal recolector

Es el canal encargado de recoger el agua o de captar la descarga final, este se debe diseñar considerando el caudal de diseño de la estructura (Q1).

- Altura crítica

$$q = \frac{0,526 \text{ m}^3/s}{1m} = 0,526 \text{ m}^3/s * m$$

Quedando como ecuación final

$$Y_c = \sqrt{\frac{(0,526 \text{ m}^3/\text{s} * \text{m})^2}{9,81 \text{ m}/\text{s}^2}} = 0,304 \text{ m}$$

- Velocidad crítica

$$V_c = \frac{0,526 \text{ m}^3/\text{s}}{1\text{m} * 0,304\text{m}} = 1,730 \text{ m}/\text{s}$$

12.4.1.13. Altura del agua al final del canal recolector

Partiendo de la altura critica, será posible calcular la lámina de agua por medio de la siguiente ecuación:

$$H_2 = 1,1Y_c$$

$$H_2 = 1,1 * 0,304\text{m} = 0,334 \text{ m}$$

12.4.1.14. Velocidad final del canal recolector

Se podrá calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$V_2 = \frac{Q}{b * H_2}$$

$$V_2 = \frac{0,526 \text{ m}^3/\text{s}}{1\text{m} * 0,334\text{m}} = 1,574 \text{ m}/\text{s}$$

Al comparar el valor de la velocidad critica hallada anteriormente teniendo como resultado 1,730 m/s , es posible comprobar que la velocidad final del canal recolector es menor. Es decir que el diseño garantiza que la condición de flujo sea subcrítica.

12.4.2. Diseño de desarenador

Se presenta el diseño de las 4 zonas que componen el desarenador.

12.4.2.1. Zonas de sedimentación

- Caudal de diseño

Teniendo en cuenta los caudales expuestos en la tabla de caudales de diseño, el caudal de diseño adoptado es 0,000363 m³/s

- Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación es el parámetro más importante para el diseño del desarenador, para hallarlo es necesario conocer algunos datos, los cuales se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 21 Parámetros para el cálculo de la velocidad de sedimentación

Parámetro	Vr	Fuente
Temperatura del agua	15°C	
Viscosidad del agua	0,01 cm ³ /s	Acueductos, teoría y diseño
Peso específico de la arena	2,65 g/cm ³	Resolución 0330 de 2017
Diámetro de la partícula a remover (arena muy fina)	0,002 cm	Tabla 7

Fuente: elaboración propia

A partir de estos datos, se aplica la siguiente ecuación:

$$V_2 = \frac{(p_s - p) * d^2 * g}{18 * \nu}$$
$$V_2 = \frac{(2,65 \text{ g/cm}^3 - 1 \text{ g/cm}^3) * 0,002 \text{ cm}^2 * 9,81 \text{ m/s}^2}{18 * 0,01 \text{ cm}^3/\text{s}} = 0,027 \text{ cm/s}$$

- Velocidad de sedimentación teórico

Existen valores de velocidad de sedimentación teóricos, de acuerdo con el diámetro de la partícula a remover que es de 0,002 cm según la tabla 21 se obtendrá una velocidad de sedimentación de 0,06 cm/s.

- Velocidad de sedimentación para el diseño

Para obtener un valor de la velocidad de sedimentación, se emplea la siguiente ec

$$V_{sd} = \frac{V_s + V_{st}}{2}$$

$$V_{sd} = \frac{0,027 \text{ cm/s} + 0,06 \text{ cm/s}}{2} = 0,0435 \text{ cm/s} = 0,0004 \text{ m/s}$$

- Tiempo que demora la partícula en tocar el fondo

Asumiendo la altura de la estructura de 1,65 m será posible calcular el tiempo que demora la partícula en tocar el fondo como se muestra a continuación:

$$t = \frac{H}{V_{sd}}$$

$$t = \frac{1,65 \text{ m}}{0,0004 \text{ m/s}} = 62,91 \text{ minutos}$$

Como el tiempo calculado es mayor a 20 min, la altura propuesta cumple con los parámetros de diseño establecidos por la Resolución 0330 de 2017.

- Relación a/t

Esta relación depende del estado de las pantallas deflectoras se espera que la remoción sea más del 80%. La relación de a/t será de 2,370.

Tiempo de sedimentación acorde con el estado de las pantallas deflectoras El despeje de la ecuación para el cálculo del tiempo de sedimentación se presenta a continuación:

$$\alpha = x * t$$

$$\alpha = 2,370 * 3774,45 \text{ seg} = 8945,44 \text{ seg}$$

- Volumen o capacidad del desarenador

Con la siguiente ecuación se calcula el volumen:

$$V = Qdis * \alpha$$

$$V = 0,000363 \text{ m}^3/\text{s} * 8945,44 \text{ seg} = 3,247 \text{ m}^3$$

- Área del desarenador

El área del desarenador se podrá hallar empleando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{V}{H}$$

$$A = \frac{3,247 \text{ m}^3}{1,65 \text{ m}} = 1,967 \text{ m}^2$$

- Área requerida

El área de sedimentación mínima que se requiere para el diseño del desarenador depende del caudal de diseño de la estructura, así como la velocidad y se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Ar = \frac{Q}{Vsd}$$

$$Ar = \frac{0,000363 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0004 \text{ m}/\text{s}} = 0,907 \text{ m}^2$$

Si el área calculada es mayor al área requerida, se asume el cumplimiento del diseño.

- Ancho de la zona de sedimentación

Se calcula el ancho de la zona de sedimentación con la siguiente ecuación:

$$b = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

$$b = \sqrt{\frac{1,967 \text{ m}^2}{4}} = 0,701 \text{ m}$$

- Longitud zona de sedimentación:

Aplicando la relación mencionada en el paso 11 y considerando el ancho calculado con anterioridad, es posible hallar la longitud del sedimentador por medio de la ecuación

$$L = 4 * b$$

$$L = 4 * 0,701 \text{ m} = 2,804 \text{ m}$$

- Velocidad horizontal

La velocidad se calculará por medio de la siguiente ecuación:

$$Vh = \frac{Qd}{b * H}$$

$$Vh = \frac{0,000363 \text{ m}^3/\text{s}}{0,701 \text{ m} * 1,65 \text{ m}} = 0,000313 \text{ m}/\text{s}$$

- Relación Vh/Vs

Esta relación debe ser menos a 20 y se obtendrá al dividir las velocidades obtenidas, es decir:

$$\frac{V_h}{V_s} = \frac{0,000313 \text{ m/s}}{0,0004 \text{ m/s}} = 0,79$$

El valor que se obtiene es de 0,88 por lo tanto se evidencia el cumplimiento en el diseño.

12.4.2.2 Zona de entrada

Tabla 22 Valores de parámetros para el cálculo de zona de entrada

Parámetro	Vr	Fuente
Caudal de diseño	0,000363 m ³ /s	tabla diseño de caudal
Velocidad de paso a través de los orificios	0,20 m/s	Acueductos teoría y diseño
Diámetro de orificios	2" - 0,051 m	Autores
Ancho de la pantalla deflectora	1m	Autores
Alto de la pantalla deflectora	0,7 m	Autores
Borde libre de la pantalla deflectora	0,50 m	Autores
Longitud de la pantalla deflectora	0,701 m	Calculo

Fuente: Elaboración propia

- Altura total de la canaleta

Es el valor de la suma entre la altura y el borde libre propuestos, se calcula por medio de la siguiente ecuación

$$HT = HC + BL$$

$$HT = 0,7m + 0,5m = 1,2 m$$

- Área efectiva de orificios

Puesto que la pantalla tiene una geometría rectangular, su área se calcula mediante la ecuación:

$$Ae = \frac{Qd}{v}$$

$$Ae = \frac{0,000363 m^3/s}{0,20 m/s} = 0,00185 m^2$$

- Área de orificios

A partir del diámetro de los orificios, será posible calcular el área de estos por medio de la siguiente ecuación:

$$Ao = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$Ao = \frac{\pi * (0,051)^2}{4} = 0,00204 m^2$$

- Número de orificios

El número de orificios con los que contara la pantalla deflectora se calcula con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{Ae}{Ao}$$

$$N = \frac{0,00230 m^2}{0,00204 m^2} = 1,15 orificios$$

- Espacio de los orificios

Se calculará con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{(Lo - 0,40)}{\left(\frac{N}{3}\right)}$$

$$e = \frac{(0,701 - 0,40)}{\left(\frac{1,15}{3}\right)} = 0,8 \text{ m}$$

12.4.2.3 Zona de lodos

Tabla 23 Valor de parámetros para zona de lodos

Parámetro	Vr	Fuente
Altura de lodos	0,30 m	autores
Pendientes de entrada	10%	Resolución 0330 de 2017
Pendiente de salida	10%	Resolución 0330 de 2017

Fuente: elaboración propia

- Distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada del desarenador

Para el cálculo de esta distancia se utiliza la siguiente ecuación:

$$x = \frac{L}{3}$$

$$x = \frac{9,20m}{3} = 3,06 \text{ m}$$

- Volumen de la tolva

Se calculará con la siguiente ecuación

$$Vt = V * 20\%$$

$$Vt = 3,247 \text{ m}^3 * 20\% = 0,65 \text{ m}^3$$

- Distancia de salida

La distancia de salida de la tolva de lodos es necesario partir de la longitud de la zona de sedimentación y la distancia de entrada al desarenador y el canal recolector de lodos, así como la pendiente de 10% asumida, para hallar se usa la ecuación que se muestra

$$Ds = (L - X) * Ps$$

$$Ds = (9,20\text{m} - 3,06 \text{ m}) * 10\% = 0,614\text{m}$$

- Carga superficial

Puede ser calculada a partir de la relación entre caudal y área, como se muestra a continuación:

$$CS = \frac{Qd * 86400}{A}$$

$$CS = \frac{0,000363 \text{ m}^3/\text{s} * 86400}{1,967 \text{ m}^2} = 15,944 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} / \text{día}$$

12.4.2.4 Zona de salida

En esta parte maneja el proceso de recolección de agua clarificada de un aliviadero y es un factor clave en el diseño de esta área. El procedimiento se describe a continuación:

- Longitud de la canaleta de salida

Se emplea una longitud igual al ancho del desarenador y el largo de la pantalla deflectora de la zona de entrada. Es decir, el valor de la longitud de la canaleta de salida es de 0,790m

- Velocidad máxima del agua en la canaleta de salida

Se asume la misma velocidad de paso establecido en la zona de entrada del desarenador. Es decir que este valor es de 0,2 m/s.

- Altura de la lámina de agua sobre la cresta

Para determinar la altura de la lámina se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$h = \left(\frac{Qd}{1,84 * L} \right)^{2/3}$$

$$h = \left(\frac{0,000363 \text{ m}^3/\text{s}}{1,84 * 0,790 \text{ m}} \right)^{2/3} = 0,0039 \text{ m}$$

- Área de la canaleta de salida

Para hallar el área de la canaleta de salida, se aplica la siguiente ecuación:

$$Ac = \frac{Qd}{V_s}$$

$$Ac = \frac{0,000363 \text{ m}^3/\text{s}}{0,20 \text{ m/s}} = 0,0019 \text{ m}^2$$

- Ancho de la canaleta de salida

El ancho de la canaleta deberá ser 1.5 veces la altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero de salida, por lo tanto, se calcula con la siguiente ecuación:

$$bc = 1,5 * h$$

$$bc = 1,5 * 0,0039 \text{ m} = 0,00585 \text{ m}$$

Debido a que el resultado obtenido da un valor muy pequeño, se procede a realizar un aumento a 0,150 m, de esta manera se facilitará la limpieza y el mantenimiento de este.

- Altura del vertedero de salida

Para el cálculo de la altura del vertedero de salida se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$Hv = \frac{Ac}{bc}$$

$$Hv = \frac{0,0019 \text{ m}^2}{0,00585 \text{ m}} = 0,325 \text{ m}$$

12.4.3. Diseño tanque de almacenamiento

El diseño del tanque de almacenamiento se realiza teniendo en cuenta el procedimiento expuesto anteriormente. A continuación, se desarrolla paso a paso:

12.4.3.1. Caudal de diseño

El caudal de diseño del tanque de almacenamiento es el Caudal Máximo Diario (QMD), de acuerdo con lo establecido en la Resolución 0330 de 2017, se asume como caudal de diseño $0,000363 \text{ m}^3/\text{s}$.

12.4.3.2. Tiempo de abastecimiento

El diseño del tanque de almacenamiento se realizará considerando un día de abastecimiento.

12.4.3.3. Volumen máximo diario

Teniendo en cuenta el tiempo de abastecimiento, el volumen máximo se calcula por medio de la siguiente ecuación

$$VMD = Qd * t$$
$$VMD = 39,82 \text{ m}^3/\text{día} * 1 \text{ día} = 39,82 \text{ m}^3$$

12.4.3.4. Volumen de almacenamiento

Según la Resolución 0330 de 2017, el volumen o capacidad de almacenamiento con la que debe contar el tanque corresponde a $1/3$ del volumen máximo diario, se calcula as

$$V = VMD * \frac{1}{3}$$
$$V = 39,82 \text{ m}^3 * \frac{1}{3} = 13,28 \text{ m}^3$$

12.4.3.5. Volumen sistema contra incendios

De acuerdo con los porcentajes de caudales de incendio, se debe considerar un porcentaje adicional acorde con el riesgo que presente el municipio ante un incendio. La vereda Manta grande arriba tiene un riesgo bajo es decir del 15%, la ecuación para hallarlo es:

$$V_{sci} = V * 15\%$$

$$V_{sci} = 13,28m^3 * 15\% = 1,992 m^3$$

12.4.3.6. Volumen de almacenamiento total

Se calcula por medio de la siguiente ecuación

$$V_{total} = V + V_{sci}$$

$$V_{total} = 13,28m^3 + 1,992 m^3 = 15,272 m^3$$

12.4.3.7. Volumen de regulación

Se tendrá que calcular el factor de consumo horario en la hora de máxima demanda, se utiliza la siguiente ecuación:

$$FHM = \frac{QMH}{QMD}$$

$$FHM = \frac{0,581 L/s}{0,363 L/s} = 1,60$$

El factor de consumo para 1 hora es de 0,16. Para hallar el caudal máximo horario de la hora 1 se utiliza la siguiente ecuación:

$$QMH = 0,363 \frac{L}{s} * 0,16 = 0,058 L/s$$

Para obtener el volumen del tanque hace se realiza la conversión del QMH hallado y quedaría 0,260 m³

De esta manera se podrá calcular el volumen acumulado para cada hora.

12.4.3.8. Volumen de diseño

Según la Resolución 0330 de 2017, el volumen total del tanque de almacenamiento a elegir será el mayor entre la capacidad de almacenamiento y la regulación calculada, por lo tanto, se asume 56,23 m³ del volumen de almacenamiento total

12.4.3.9. Longitud y ancho del tanque

De acuerdo con el área disponible el diseñador deberá proponer el largo y ancho que tendrá el tanque de almacenamiento, por lo cual se asume un ancho de 4 m y un largo de 7 m

12.4.3.9. Área del tanque de almacenamiento

El área se calcula a partir de los valores asumidos para el largo y ancho del desarenador, se calcula con la siguiente ecuación

$$AT = b * L$$
$$AT = 4m * 7m = 28 m^2$$

12.4.3.10. Altura del tanque de almacenamiento

Para calcular la altura del tanque, se tendrá en cuenta el volumen de diseño y el área de este. Se emplea la siguiente ecuación:

$$H = \frac{VD}{AT}$$
$$H = \frac{56,23m^3}{28 m^2} = 2,00 m$$

12.4.3.11. Altura total del tanque de almacenamiento

Según la Resolución 0330 de 2017, se debe adicionar mínimo 0.30 m como borde libre y se calcula con la siguiente ecuación:

$$HT = H + BL$$
$$HT = 2,00m + 0,30 m = 2,30m$$

12.4.3.11. Área del desagüe

Según el RAS 2000 el coeficiente de contracción del desagüe debe estar entre un valor de 0,50 y 0,60 por lo cual este valor será asumido. El área del desagüe podrá ser calculado con la ecuación de tiempo de vaciado del tanque de almacenamiento. La ecuación es la siguiente:

$$a = \frac{2 * At * \sqrt{H}}{m * T * \sqrt{2g}}$$

$$a = \frac{2 * 28 \text{ m}^2 * \sqrt{2}}{0,55 * (4\text{hr} * 3600 \text{ seg}/1\text{hr}) * \sqrt{2 * 9,81 \text{ m}/\text{s}^2}} = 0,002257 \text{ m}^2$$

12.4.3.12. Radio de la tubería de desagüe

Con el área del desagüe se podrá despejar el radio de la tubería, aplicando la siguiente ecuación:

$$a = \pi * r^2$$

Para conocer el radio de la tubería a instalar se despejará la ecuación del área del desagüe quedando

$$r = \sqrt{\frac{a}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,002257 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,026 \text{ m}$$

12.4.3.13. Diámetro de la tubería de desagüe

El diámetro de la tubería de desagüe se obtendrá al duplicar el radio, es decir

$$\emptyset = 2 * r$$

$$\emptyset = 2 * 0,026 = 0,052\text{m} = 2"$$

12.4.3.14. Velocidad de vaciado

Su cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{H}{T}$$

$$V = \frac{2\text{m}}{(4\text{hr} * 3600 \text{ seg}/1\text{hr})} = 0,000138 \text{ m/s}$$

12.4.3.15. Diámetro de entrada y salida del tanque

Sabiendo que el diámetro de la tubería se implementa un diámetro de 2" de entrada y salida.

Una vez se realizaron los cálculos anteriores se realiza el diseño de la bocatoma teniendo en cuenta los resultados obtenidos adaptados a la quebrada El Golpe como se evidencia en la siguiente ilustración y el anexo 2. Plano de diseño de la bocatoma.

[illegible]

12.5. Redes de distribución

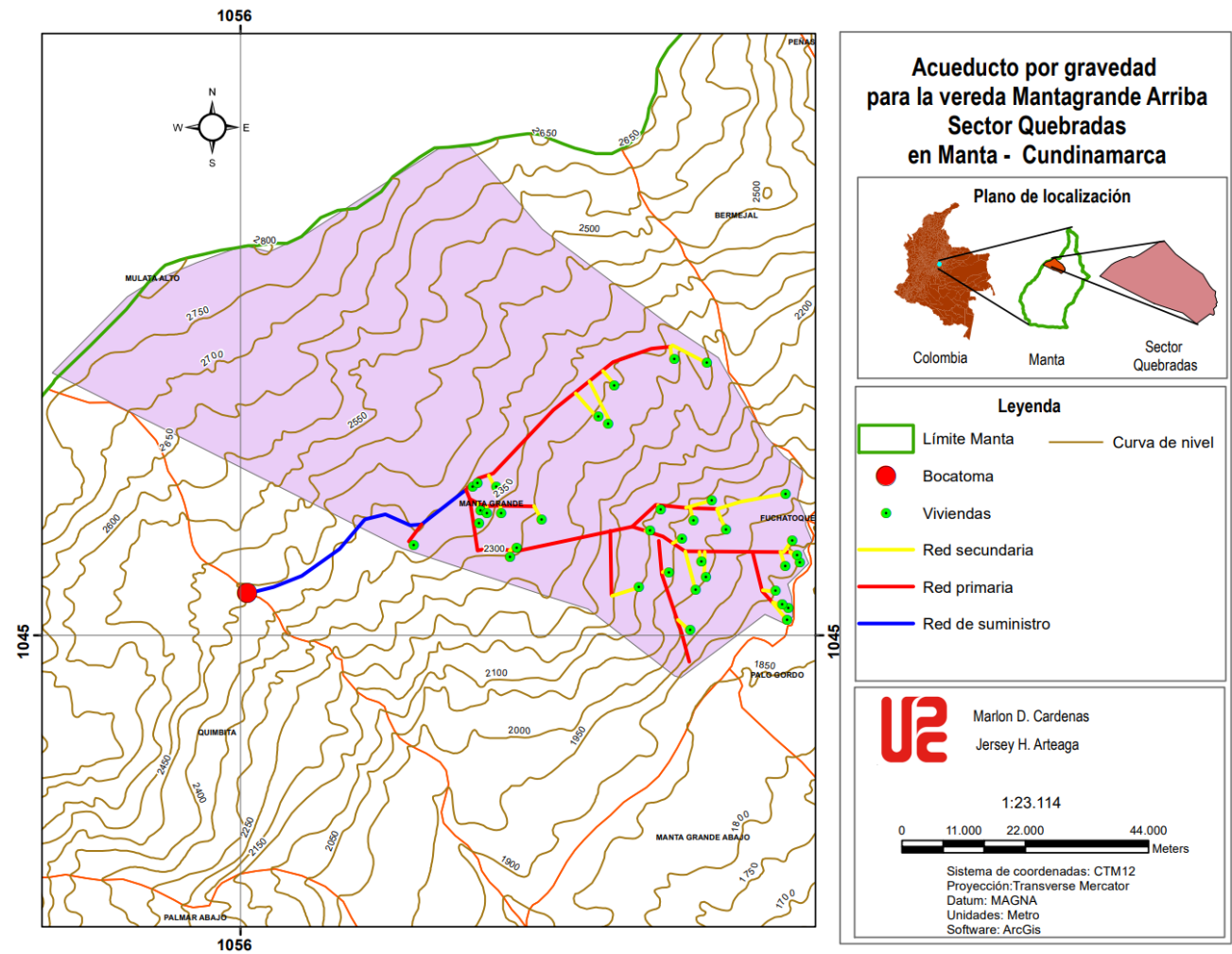
102

habitante del Sector, que para efectos del presente trabajo de investigación se proyectó un total de 133 habitantes distribuidos en 37 viviendas, dichas viviendas se ubican principalmente en las partes bajas de la zona. El modelo de la red se realizó utilizando ArcGIS, una herramienta de sistema de información geográfica.

Para la red de distribución se contemplan redes de suministro, redes primarias y redes secundarias respectivamente, la primera se desprende desde la bocatoma ubicada en el límite nor-occidental de la vereda Mantagrande Arriba a una altura de 2.450 m.s.n.m. ya que se tiene en cuenta la cercanía a las viviendas al ser un acueducto por gravedad teniendo en cuenta además la topografía de la zona. En ArcGis, el modelado de redes se puede realizar creando capas vectoriales que representen las distintas componentes de la red (tuberías, válvulas, puntos de captación). Luego se pueden utilizar herramientas de análisis espacial para simular el flujo de agua y optimizar el diseño del acueducto.

Dicho lo anterior, la red de suministro tiene una longitud de 1330 m hasta el primer usuario, desde este punto se desprenden las redes primarias que se ramifican en 7 partes con una longitud total de 8.429 m y desde las cuales se ubican las redes secundarias que se dirigen directamente a cada una de las viviendas. Ver ilustración 22

Ilustración 22. Redes de distribución acueducto por gravedad (anexo1)



Fuente: Elaboración propia, 2024

13. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos anteriormente y los objetivos planteados para el presente proyecto se tiene que:

- La caracterización del agua por medio de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas en la quebrada "El Golpe" revela que es apta para el consumo humano tras cumplir con los estándares de calidad establecidos por el ICA, indican que el agua es segura para el consumo humano y adecuada para el suministro a la comunidad. Esto permite la implementación de un acueducto en la vereda Mantagrande Arriba, sector Quebradas del municipio de Manta, Cundinamarca, asegurando un suministro de agua potable seguro y confiable para la comunidad.
- La caracterización topográfica y demográfica de la zona de estudio muestra que la comunidad de Mantagrande Arriba tiene una población que se puede beneficiar significativamente de un sistema de acueducto, mejorando su calidad de vida y reduciendo la carga de trabajo, especialmente en mujeres y niños que tradicionalmente se encargan de recolectar agua.
- Se propone un sistema de acueducto por gravedad comunitario que no solo garantiza el suministro de agua potable, sino que también promueve la participación y el compromiso de la comunidad en el mantenimiento y gestión del recurso hídrico, fomentando así la sostenibilidad y la cohesión social.
- Los cálculos poblacionales indican que la población del sector Quebradas corresponde a una de pequeña escala, lo cual es óptimo para adaptar un acueducto básico por gravedad y el consumo será acorde con la proyección poblacional determinada, así mismo la topografía de la zona se adapta a las características propias de este tipo de acueductos
- El plano presenta un diseño estructurado que incluye las especificaciones técnicas de los materiales y las dimensiones de los componentes clave. Este nivel de detalle asegura que

la bocatoma cumpla con los estándares de resistencia, funcionalidad y durabilidad necesarios para manejar el flujo constante de agua en una instalación de este tipo.

14. RECOMENDACIONES

- Debido a que la calidad del agua presenta condiciones regulares para su consumo, esto debido a los resultados de turbiedad, se puede corregir dicha variable utilizando la construcción de un filtro de arena o carbón activado.
- Para garantizar el abastecimiento adecuado en la zona veredal, es fundamental considerar otras zonas de captación de agua aledañas a la zona de estudio. Integrar múltiples fuentes no sólo diversifica la disponibilidad del recurso, sino que también mitiga riesgos asociados a la sobreexplotación de un solo acuífero. Este enfoque asegura una distribución más equitativa y sostenible, facilitando la planificación a largo plazo y la adaptación a variaciones climáticas y demográficas.
- Al ser este un proyecto para una primera etapa de implementación de un acueducto, y teniendo en cuenta que el resultado es viable para su implementación, se recomienda la ejecución de una segunda etapa para el estudio detallado de un acueducto para la zona de estudio del presente proyecto.

REFERENCIAS

- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Alcaldía de Manta. (28 de septiembre de 2017). Nuestro municipio. Obtenido de <http://www.manta-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2023). Boletín del índice de calidad del agua ICA 2022. Obtenido de CAR: <https://www.car.gov.co/uploads/files/649cc5de03d3d.pdf>
- FAO. (abril de 2015). Captación y almacenamiento de agua lluvia. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- Junta de Acción Comunal sector Quebradas. (2024). Libro de afiliado. Manta.
- Ministerio de Salud. (2020). Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-consumo-calidad-agua-2020.pdf>
- Naciones Unidas. (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf?_gl=111o98p7_gaMTYzNDQ5ODE2NC4xNjk5Mjg5NTIx_ga_TK9BQL5X7Z*MTY5OTI4MTUyMi4xLjAuMTY5OTI4MTUyMi4wLjAuMA..
- Sarmiento Colmenares, A. F., & Parra Burbano, G. A. (01 de septiembre de 2020). Optimización en el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en el municipio de Carmen de Apicalá. Bogotá D.C, Colombia.
- Sisbén. (2023). Estadística Mantagrande Arriba. Obtenido de <https://territoriosisben.sisben.gov.co/Reportes/Reporteador>
- Orden, L. y. (s.f.). Sistemas de acueducto. Recuperado el 15 de agosto de 2023, de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- Ayala Sanchez, J. J., Morales, E. R., José, P., Ayala, F., Carmela, D., Ríos, S., Hernández, L., & Carrero, P. (s.f.). 1. Módulo de viviendas. Recuperado el 23 de agosto de 2023, de <https://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/cundinamarca/manta.pdf>

- Demografía y población. (2022, mayo 6). Esri. <https://storymaps.arcgis.com/collections/922ac8e5ecd44a6fb5fe1c4ace25c068?item=1>
- Función Pública. (s.f.). Ley 1822 de 2017. Gobierno de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=38487>
- Corcho Romero, F. & Duque Serna, J. I. (2004). Acueductos, teoría y diseño. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11407/2545>
- Gobernación de Cundinamarca. (s.f.). *Capítulo 9: Machetá Manta*. https://mapas1.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/b2047c69-a5bd-410e-93bb-c1ca7bb719b4/Capitulo+9+Macheta%CC%81+Manta.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-b2047c69-a5bd-410e-93bb-c1ca7bb719b4-nShlD8y
- Topographic Map. (2024). *Manta*. <https://es-es.topographic-map.com/map-9hr65k/Manta/>
- Google Earth. (2023). *Vista de Manta, Cundinamarca* [Imagen]. Google Earth. https://earth.google.com/web/search/Manta,+Cundinamarca/@5.0094445,-73.53998745,1905.62255493a,841.61977188d,35y,0h,0t,0r/data=CoIBGlQSTgolMHg4ZTQwMDM0OTRmOWNlODQ5OjB4NTYyNGE1YjFhZDJKNWlwZRIHMYovJAKUQCG345cLpmJSwCoTTWFudGESiEN1bmRpbmFtYXJjYRgCIAEiJgokCYFFOkIFhNu_EXG4Tf2EKAHAGfoJR-8o5lPAIenVEmRKPVTaQgIIAToDCgEwSgOI_____ARAA
- Weather Spark. (2024). *Clima promedio en Manta, Colombia, durante todo el año*. <https://es.weatherspark.com/y/24340/Clima-promedio-en-Manta-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 de 2017*. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Colombia <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>
- Secretaria Distrital de Planeación. (2012). Boletín No. 40 Sobre el consumo y la producción de agua potable y residual en el uso residencial. 2020, de 2012 Sitio web: <http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/dice123-boletinconsprodaguasusores-2012.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2007). Decreto número 1575. Diario Oficial. <https://www.minvivienda.gov.co/decree1575>

- Ministerio de la Protección Social. (2007). Resolución 2115. Diario Oficial. <https://www.minsalud.gov.co/resolucion2115>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). Resolución número 172. Diario Oficial. <https://www.minsalud.gov.co/resolucion1722022>
- Universidad Piloto de Colombia. (Año). Guías de laboratorio: Laboratorio de calidad de aguas. Laboratorios de Ciencias Básicas e Ingenierías, Gestión Ambiental - Programa de Ingeniería Civil.
- ICONTEC. (s.f). Norma Técnica Colombiana 3903. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – Test de Jarras