

**DISEÑO DE ACUEDUCTO RURAL PARA LAS COMUNIDADES DE LA VEREDAS
GUAMAL ALTO Y GUAMAL BAJO EN EL MUNICIPIO DE QUETAME CUNDINAMARCA.**

DUBAN ORLANDO QUEVEDO PARDO

SANTIAGO RODRÍGUEZ OSORIO

INGENIERÍA CIVIL, FACULTAD DE INGENIERÍAS

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

BOGOTÁ D.C

2025

**DISEÑO TÉCNICO DE UN SISTEMA DE ACUEDUCTO RURAL PARA LAS VEREDAS
GUAMAL ALTO Y GUAMAL BAJO EN EL MUNICIPIO DE QUETAME,
CUNDINAMARCA.**

DUBAN ORLANDO QUEVEDO PARDO

SANTIAGO RODRÍGUEZ OSORIO

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

LUIS EFRÉN AYALA ROJAS-DIRECTOR

INGENIERÍA CIVIL, FACULTAD DE INGENIERÍAS

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

BOGOTÁ D.C

2025



Nota de Aceptación.

Jurado 1.

Jurado 2.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.	15
ABSTRACT.	16
INTRODUCCIÓN	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	19
2. JUSTIFICACIÓN	21
3. OBJETIVOS	22
3.1. General	22
3.2. Específicos	23
4. ANTECEDENTES.	23
5. MARCO TEÓRICO	25
5.1. Potabilización de Agua	25
5.2. Captación.	26
5.3. Red de distribución.	28
5.4. Acueducto Veredal.	29
5.5. Enfoques al proceso de diseño de acueductos.	30
5.6. Almacenamiento de agua potable.	32
5.7. Normativa aplicable	34
6. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	35
6.1. Fases de la Investigación.....	36
Fase 1: Diagnóstico y Análisis del Entorno	36
Fase 2: Levantamiento y Análisis de Datos	37
Fase 3: Diseño y Evaluación Económica	38
7. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR	38
7.1. Diagnóstico de la Situación del Municipio	39
7.2. Determinación de la población afectada	42
7.3. Características Socioculturales de La Población y Participación Comunitaria	42
7.4. Cuantificación de las demandas y necesidades	44



7.5. Diagnóstico y Evaluación del Sistema Existente.....	45
8. CONDICIONES GENERALES	47
8.1. Caracterización Territorial.....	47
8.2. Análisis de Riesgo y Cambio Climático.....	50
8.2.1. Clima y Precipitación.....	53
8.3. Ecosistemas.....	56
9. Disponibilidad de Agua y Balance Hídrico	58
9.1. Oferta y Demanda Hídrica.....	59
9.2. Acueductos en zonas rurales.	59
9.3. Calidad de Agua.....	61
10. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS	63
10.1. Geología.....	63
10.1.1. Litología.....	66
10.1.2. Principales Amenazas en Quetame Cundinamarca.	67
10.1.3. Zonas Declaradas De Riesgo En El Municipio.....	71
10.2. Geomorfología.....	72
10.3. Suelos.....	75
11. ESTUDIOS FOTOGRAMÉTRICOS, TOPOGRÁFICOS Y TRABAJOS DE CAMPO	77
11.1. Fotografías Satelitales.....	77
11.2. Fotografías Aéreas.....	77
12. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE DE OTROS SERVICIOS	79
12.1. Servicios Domiciliarios.....	79
12.1.1. Abastecimiento de Agua.....	80
12.1.2. Alcantarillado.....	81
13. DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS DOMICILIARIOS.	82
13.1. Disponibilidad de energía eléctrica.	82
13.2. Disponibilidad de Gas Domiciliario.....	84
14. VÍAS DE ACCESO	85
14.1. Vías principales.....	85
14.2. Vías en el Municipio.....	86

14.2.1.	Vías Rurales:.....	87
15.	ESTUDIOS SOCIOECONÓMICOS	88
16.	FUENTE DE ABASTECIMIENTO	88
16.1.	Tamaño y Disponibilidad de Agua	90
16.2.	Calidad del Agua	91
16.3.	Accesibilidad	92
16.4.	Recarga Natural y Sostenibilidad	92
16.5.	Importancia Geológica.....	92
16.6.	Ubicación De Bocatoma y Desarenador.....	93
17.	PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN RURAL DE LAS VEREDAS DE GUAMAL ALTO Y GUAMAL BAJO DEL MUNICIPIO DE QUETAME CUNDINAMARCA.	95
18.	CAUDAL DE DISEÑO	100
18.1.	Caudal Medio Diario y Caudal Máximo	100
18.2.	Dotación No Residencial.....	103
18.2.1.	Consumo para uso escolar.....	103
18.2.2.	Consumo Uso Industrial.....	104
18.2.3.	Resultado de Dotación No Residencial.....	105
18.3.	Consumo Residencial.....	106
18.4.	Consumo no residencial.....	111
19.	CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES	113
20.	DISEÑO DE BOCATOMA	117
20.1.	Datos de la quebrada seleccionada.....	117
20.2.	Selección de la bocatoma	118
20.3.	Caudal de diseño	119
20.4.	Diseño del vertedero de captación.....	119
20.5.	Dimensionamiento de la rejilla de captación	120
20.5.1.	Base de la rejilla	120
20.5.2.	Selección del diámetro, espaciamento entre barrotes.....	121
20.5.3.	Longitud de la rejilla y N° de barrotes.....	121
20.6.	Diseño de la canaleta de recolección	121
20.7.	Diseño de la cámara de recolección	122



20.9.	Muro de salida	123
21.	DISEÑO DEL DESARENADOR	124
21.1.	Caudal de Diseño	124
21.2.	Velocidad de Sedimentación	124
21.2.1.	Viscosidad Cinemática	124
21.2.2.	Velocidad de Sedimentación.....	124
21.3.	Tiempo de Sedimentación	125
21.4.	Dimensiones del Desarenador.....	126
21.5.	Comprobaciones de eficiencia del desarenador	127
21.5.1.	Comprobación de La Carga Hidráulica	127
21.5.2.	Comprobación de la velocidad de la partícula crítica	128
21.5.3.	Comprobación del régimen de flujo	128
21.5.4.	Comprobación de suspensión.....	129
21.6.	Diseño de la pantalla deflectora	129
21.6.1.	N° de perforaciones	129
21.6.2.	Distribución de las perforaciones	130
21.7.	Diseño de La Zona de Lodos	131
21.8.	Esquema del Desarenador.....	132
22.	TRAZADO DE LA RED	132
22.1.	Alternativa Trazado.....	133
23.	DISEÑO DE LA ADUCCIÓN 1	139
23.1.	Tramo bocatoma – desarenador.....	139
23.1.1.	Caudal de diseño de la aducción	139
24.	DISEÑO DE ADUCCIÓN 2	144
24.1.	Desarenador – PTAP	144
24.1.1.	Caudal de diseño de la aducción	144
25.	DISEÑO DE SUCCIÓN – IMPULSIÓN	147
25.1.	Tramo: Desarenador-Bomba-Tanque.	148
25.1.1.	Velocidad y Diámetros Comerciales.....	148
25.1.2.	Perdidas por Fricción.	149

25.1.3.	Perdidas por Accesorios.....	151
25.1.4.	Altura de Bombeo Teórica.....	152
25.1.5.	Bomba Seleccionada.....	152
25.1.6.	NPSH disponible.....	154
26.	DISEÑO DEL TANQUE 1	156
26.1.	Cálculo de operación del tanque	156
26.2.	Alternativa 1. Tanque rectangular	157
26.3.	Alternativa 2. Tanque circular	158
26.4.	Línea Energía	158
26.6.	Línea piezométrica	159
27.	RED DE DISTRIBUCIÓN.	161
27.1.	Identificación de Red Principal	161
27.2.	Puntos Clave de la Red Principal.....	162
27.3.	Identificación de Redes Secundarias.	163
28.	MODELADO DE LA RED	169
29.	PRESUPUESTO	175
30.	CONCLUSIONES.	176
31.	RECOMENDACIONES.	177
31.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	178

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1.	Sistema de captación de agua simple.	27
Ilustración 2.	Tanque de almacenamiento de agua potable.	34
Ilustración 3.	Localización de Quetame Cundinamarca, respecto al departamento y País.	47
Ilustración 4.	Localización de municipio de Quetame Cundinamarca.	48
Ilustración 5.	Localización de las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, respecto al Municipio de Quetame.	49
Ilustración 6.	Vulnerabilidad Por Cambio Climático	52
Ilustración 7.	Estratigrafía de Quetame Cundinamarca y zonas aledañas.	65
Ilustración 8.	Índice de amenaza de Inundación en Quetame, respecto al Departamento.	67

Ilustración 9.Índice de amenaza de Sismo en Quetame, respecto al Departamento.	68
Ilustración 10.Índice de amenaza de Movimiento en masa en Quetame, respecto al Departamento.	69
Ilustración 11.Índice de amenaza de Incendio Forestal en Quetame, respecto al Departamento.	69
Ilustración 12.Fotografía Satelital del municipio de Quetame junto a las veredas Guamal Alto y Bajo.	77
Ilustración 13. Cartografías Básicas del municipio (Anexos)	78
Ilustración 14.Cartografía 247IIID	79
Ilustración 15.Índice de cobertura de energía eléctrica (ICEE) en el departamento de Cundinamarca.	83
Ilustración 16.Georreferencia de la Ruta Nacional 40	86
Ilustración 17. Georreferenciación de la Quebrada El Tunjo.	89
Ilustración 18.Distance entre Bocatoma y Desarenador	93
Ilustración 19.Punto de ubicación de Bocatoma.	93
Ilustración 20.Punto de ubicación de Desarenador.	94
Ilustración 21.Población Proyectada para diseño de Acueductos veredales.	97
Ilustración 22.Consulta Precipitaciones Mensuales para el Municipio Quetame Cundinamarca	114
Ilustración 23.Estación Susumuco.	114
Ilustración 24.Ancho de la Quebrada El Tunjo en punto de captación.	118
Ilustración 25. Pantalla Deflectora.	131
Ilustración 26. Esquema Desarenador.	132
Ilustración 27.Fuente de Abastecimiento Quebrada El Tunjo y Altura Media de Guamal.	133
Ilustración 28.Ubicación y Longitud de Bocatoma y Desarenador	134
Ilustración 29.Comprobación Uso del Suelo	135
Ilustración 30.Comprobación de Predios	135
Ilustración 31.Comprobación Uso Agrologico	136
Ilustración 32.Propuesta de Trazado Bocatoma-PTAP.	137
Ilustración 33.Coordenadas Bocatoma en Trazado propuesto.	138
Ilustración 34.Coordenadas Desarenador en Trazado propuesto.	138
Ilustración 35.Coordenadas PTAP en Trazado propuesto.	139
Ilustración 36.Bomba Seleccionada.	153

Ilustración 37. Trazado de la Red Principal.	161
Ilustración 38. Perfil del trazado de la red principal.	162
Ilustración 39. Ramificación completa y vista general del trazado completo.	164
Ilustración 40. Ramas A,B,C,D.	165
Ilustración 41. Ramas E,F,G,H,I	166
Ilustración 42. Ramas J,K,L,M,N,O,P,Q,R	166
Ilustración 43. Ramas S,T,U,V,W,X,Y,Z	167
Ilustración 44. Ramas AA,AB,AC,AD,AE,AF	167
Ilustración 45. Ramas AG,AH,AJ,AK	168
Ilustración 46. Ramas AL,AM,AN,AO,AP y AQ	168
Ilustración 47. Rama AR	169
Ilustración 48. Presiones en la hora mínima de consumo (0:00 a 4:00 am)	171
Ilustración 49. Presiones en la hora máxima de consumo (12:00 a 16:00 pm)	172
Ilustración 50. Velocidades en la hora mínima de consumo (0:00 a 4:00 am)	173
Ilustración 51. Velocidades en la hora máxima de consumo (12:00 a 16:00 pm)	174

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. Índice de Sensibilidad al Cambio Climático por Provincias.	51
Gráfico 2. Escenarios de precipitación: con tendencia a disminuir.	54
Gráfico 3. Fuentes de abastecimiento de agua.	61
Gráfico 4. Crecimiento de población proyectada.	100
Gráfico 5. Curva de Modulación	102
Gráfico 6. Curva de duración de caudales.	117
Gráfico 7. Línea de Energía.	159
Gráfico 8. Línea Piezométrica	160

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Datos climáticos de la zona.	53
Tabla 2. Clasificación agrológica.	57
Tabla 3. Abastecimiento de agua de las viviendas	60

Tabla 4. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Quetame Cundinamarca. 62

Tabla 5. Formaciones Geológicas en Quetame Cundinamarca. 65

Tabla 6. Litoestratigrafía de la zona. 66

Tabla 7. Litología de Quetame según estudios sísmico de Cundinamarca. 67

Tabla 8. Unidades de Paisaje en Quetame Cundinamarca. 74

Tabla 9. Distribución de los suelos por vereda en Quetame. 75

Tabla 10. Disponibilidad de sistemas de eliminación de excretas por vereda. 82

Tabla 11. Disponibilidad del sistema de Alumbrado por vereda. 84

Tabla 12. Resumen de Cobertura de Servicios Domiciliario. 85

Tabla 13. Viviendas y Densidad de la Población por Veredas. 96

Tabla 14. No de habitantes en las veredas en el 2018. 97

Tabla 15. Proyección Poblacional para Guamal Alto y Guamal Bajo. 99

Tabla 16. Consumo Horario Municipio Quetame Cund. 101

Tabla 17. Resultados QMD y Qmd (l/s) 102

Tabla 18. Consumo para uso escolar. 103

Tabla 19. Consumo Educación Elemental. 104

Tabla 20. Consumo para producción de algunos Tipos de Industria. 104

Tabla 21. Consumo No Residencial. 105

Tabla 22. Resultado de Dotación No Residencial. 105

Tabla 23. Altitud Guamal alto y bajo, Quetame Cundinamarca. 106

Tabla 24. Caudales Residenciales Medio Diarios Y Máximo Diarios Proyectados. 111

Tabla 25. Equivalencia de un suscriptor en habitantes. 111

Tabla 26. Caudales No residenciales Medio Diarios Y Máximo Diarios Proyectados. 112

Tabla 27. Caudales de Diseño Proyectados. 113

Tabla 28. Precipitaciones Mensuales Por Año. 115

Tabla 29. Caudales por intervalos de 200. 115

Tabla 30. Frecuencia de Caudales. 116

Tabla 31. Frecuencia acumulada de Caudales. 116

Tabla 32. Caudal máximo y mínimo por estación. 116

Tabla 33.	Datos de la Quebrada El Tunjo en punto de captación.	118
Tabla 34.	Caudal de diseño para las estructuras hidráulicas.	119
Tabla 35.	Caudal de diseño para la captación de fuente superficial (bocatoma lateral).	119
Tabla 36.	Dimensiones y velocidad del vertedero de captación.	120
Tabla 37.	Dimensiones de la rejilla de captación.	120
Tabla 38.	Configuración constructiva de la rejilla de captación.	121
Tabla 39.	Área y N° de barrotes de la rejilla de captación.	121
Tabla 40.	Dimensiones constructivas para la canaleta de recolección.	122
Tabla 41.	Dimensiones constructivas para la canaleta de recolección.	123
Tabla 42.	Dimensiones de la tubería de excesos.	123
Tabla 43.	Diseño del muro para la captación.	123
Tabla 44.	Caudal de diseño para el diseño del desarenador.	124
Tabla 45.	Diámetro y velocidad de sedimentación de la partícula crítica.	125
Tabla 46.	Tiempo de sedimentación de la partícula crítica de acuerdo a las dimensiones del desarenador.	126
Tabla 47.	Superficie del desarenador.	126
Tabla 48.	Dimensiones teóricas del desarenador.	127
Tabla 49.	Dimensiones constructivas del desarenador	127
Tabla 50.	Comprobación de la carga hidráulica del desarenador.	127
Tabla 51.	Comprobación de la velocidad de la partícula crítica.	128
Tabla 52.	Comprobación del régimen de flujo en el desarenador.	128
Tabla 53.	Comprobación de suspensión de las partículas.	129
Tabla 54.	Diseño de la pantalla deflectora.	130
Tabla 55.	N° de perforaciones (filas).	130
Tabla 56.	N° de perforaciones (columnas).	131
Tabla 57.	Pendiente de la zona de lodos.	132
Tabla 58.	Datos iniciales del sistema de captación.	140
Tabla 59.	Diámetro requerido para el sistema de aducción.	140
Tabla 60.	Relaciones hidráulicas respecto al caudal obtenido.	141
Tabla 61.	Comportamiento de la lámina de agua en la tubería.	141

Tabla 62. Energía del sistema de aducción.	142
Tabla 63. Coeficientes de pérdida de accesorios.	143
Tabla 64. Accesorios y energía disipada.	143
Tabla 65. Datos iniciales de la aducción Desarenador- PTAP.	144
Tabla 66. Diámetro requerido para el sistema de aducción 2.	144
Tabla 67. Relaciones hidráulicas respecto al caudal obtenido 2.	145
Tabla 68. Comportamiento de la lámina de agua en la tubería 2.	145
Tabla 69. Energía del sistema de aducción 2.	146
Tabla 70. Accesorios y energía disipada 2.	147
Tabla 71. Velocidad y diámetro de las tuberías de impulsión y succión.	149
Tabla 72. Viscosidad cinemática y flujo en las tuberías de impulsión y succión.	149
Tabla 73. Pérdidas por fricción en las tuberías de impulsión y succión.	151
Tabla 74. Pérdidas por accesorios en las tuberías de impulsión y succión.	152
Tabla 75. Altura teórica para el bombeo.	152
Tabla 76. Caudal de diseño en diferentes unidades de medida.	153
Tabla 77. Volumen útil del tanque.	157
Tabla 78. Volumen útil del tanque con incremento por incendios.	157
Tabla 79. Dimensiones Tanque Rectangular.	157
Tabla 80. Dimensiones Tanque Circular.	158
Tabla 81. Pérdidas Unitarias, tramo Bocatoma PTAP	158
Tabla 82. Cálculo de Línea de Energía.	158
Tabla 83. Pérdidas Unitarias, Tramo PTAP-Tanque	159
Tabla 84. Cálculo línea Piezométrica	160
Tabla 85. Rangos de presión y velocidad para el funcionamiento óptimo del sistema.	169
Tabla 86. Patrón de consumo cada 4 horas	170
Tabla 87. Tabla Resumen de Presupuesto	175

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1. Proyección poblacional Guamal Alto	97
Ecuación 2. Proyección poblacional Guamal Bajo	98

Ecuación 3. Número de suscriptores para cada año	98
Ecuación 4. Consumo de los establecimientos educativos	103
Ecuación 5. Ejemplo consumo de los establecimientos educativos	104
Ecuación 6. Dotación No Residencial	105
Ecuación 7. Incremento poblacional	106
Ecuación 8. Incremento dotacional	107
Ecuación 9. Dotación neta	108
Ecuación 10. Ejemplo dotación neta	108
Ecuación 11. Dotación bruta	108
Ecuación 12. Ejemplo dotación bruta	109
Ecuación 13. Caudal medio diario	109
Ecuación 14. Caudal máximo diario	110
Ecuación 15. Ejemplo qmd-QMD	110
Ecuación 16. consumo no residencial	111
Ecuación 17. caudal de diseño	112
Ecuación 18. Ejemplo caudal de diseño	112
Ecuación 19. frecuencia de los datos	115
Ecuación 20. altura del vertedero	119
Ecuación 21. alcance máximo del chorro	120
Ecuación 22. N° de barrotes	121
Ecuación 23. profundidad critica	122
Ecuación 24. profundidad normal	122
Ecuación 25. velocidad de sedimentación	125
Ecuación 26. tiempo de sedimentación	125
Ecuación 27. dimensiones del desarenador	126
Ecuación 28. Comprobación de La Carga Hidráulica	127
Ecuación 29. Comprobación del régimen de flujo	128
Ecuación 30. condición	128
Ecuación 31. V_h menor a V_r	129

Ecuación 32. diámetro teórico	140
Ecuación 33. Q_0	140
Ecuación 34. diámetro teórico	144
Ecuación 35. Q_0	145
Ecuación 36. número de Reynolds	149
Ecuación 37. Total de pérdidas por fricción	150
Ecuación 38. pérdidas por accesorios	151
Ecuación 39. %Suministro por horas	156

RESUMEN.

El presente proyecto se centra en la necesidad por la que atraviesa las comunidades residentes en las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, del municipio de Quetame Cundinamarca, al carecer de un sistema de acueducto veredal, que garantice el suministro de agua potable a sus hogares, sin tener que optar por opciones no muy adecuadas, para tener acceso a ella, como lo es tomar agua sin tratamiento, directamente de los afluentes cercanos, lo que perjudica su salud y calidad de vida. Por ende, este proyecto tiene como objetivo principal, diseñar un sistema de acueducto rural para estas dos veredas, mediante la realización de estudios técnicos, económicos y ambientales de cada una de las fases del proyecto, garantizando un suministro eficiente y sostenible de agua potable. Para llevar a cabo el proyecto se tuvo en cuenta, la resolución 0844 de 2018, que establece algunos requisitos técnicos para este tipo de proyectos en zonas rurales, como lo es la proyección de la población, entre otros, además de ellos también se tuvo en cuenta la resolución 0330-2017 que corresponde al reglamento técnico para el sector de agua potable, puesto que, si bien se menciona que se realizará en una zona rural, este seguirá siendo un sistema convencional. De esta manera se propone un sistema compuesto por una captación mediante una bocatoma

lateral, seguido por un desarenador y continua hacia una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), además, por condiciones del terreno fue necesario añadir una bomba para impulsión del agua y finalmente se llega a un tanque de almacenamiento, del cual desciende el recurso hídrico, hacia las 44 ramificaciones planteadas, se espera que este sistema sea de gran beneficio para la comunidad y se contribuya de alguna manera a el objetivo de desarrollo sostenible No.6 que busca garantizar el acceso a agua potable y Saneamiento para todos.

Palabras Clave: Acueducto veredal, Suministro de agua potable, Red de distribución.

ABSTRACT.

This project focuses on the need of the communities living in the villages of Guamal Alto and Guamal Bajo, in the municipality of Quetame Cundinamarca, because they lack a rural aqueduct system that guarantees the supply of drinking water to their homes, without having to opt for not very adequate options to have access to it, such as drinking untreated water directly from nearby tributaries, which harms their health and quality of life. Therefore, the main objective of this project is to design a rural aqueduct system for these two villages, through technical, economic and environmental studies of each of the project phases, guaranteeing an efficient and sustainable supply of drinking water. To carry out the project, resolution 0844 of 2018 was taken into account, which establishes some technical requirements for this type of projects in rural areas, such as the projection of the population, among others, in addition to them, resolution 0330-2017 was also taken into account, which corresponds to the technical regulations for the drinking water sector, since, although it is mentioned that it will be carried out in a rural area, this will still be a conventional system. In this way, a system is proposed that consists of a lateral intake through a lateral intake, followed by a sand trap and continues to a Drinking Water Treatment Plant (DWTP), in addition, due to terrain conditions,

it was necessary to add a pump to drive the water and finally reach a storage tank, from which the water resource descends to the 44 branches proposed. It is expected that this system will be of great benefit to the community and contribute in some way to the sustainable development objective No. 6, which seeks to ensure access to drinking water and sanitation for all.

Key words: Rural aqueduct, Drinking water supply, Distribution network.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable es un derecho fundamental que garantiza la salud y el bienestar de las comunidades. En las zonas rurales del municipio de Quetame, donde los servicios básicos son limitados, el diseño de un acueducto rural se convierte en un factor clave para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Este estudio tiene como objetivo la planificación, ejecución y evaluación de un sistema de acueducto rural para las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo. Para ello, se considerarán aspectos ambientales, técnicos, sociales y económicos, así como el acceso a los servicios de agua en la región.

Según el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio (2020-2023), es necesario garantizar infraestructuras esenciales que respondan a las necesidades de la comunidad, tales como la atención médica y el abastecimiento de agua potable (Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca, 2020). Sin embargo, la cobertura del servicio en estas zonas rurales es insuficiente, y no existe un control eficiente en la gestión del recurso hídrico. La principal deficiencia del sistema actual radica en la falta de una administración efectiva, lo que genera pérdidas significativas del recurso y un desequilibrio social en el municipio en cuanto a la

distribución del agua entre sus habitantes (Plan de Desarrollo Municipal de Quetame, 2020-2023). Para mitigar esta situación, la comunidad recurre a soluciones como la captación de escorrentía superficial, la recolección de agua de lluvia y la perforación de pozos profundos, muchas veces sin cumplir con los estándares mínimos de calidad para el consumo humano.

De acuerdo con las proyecciones del DANE (2018), la población rural de Quetame pasará de 1.214 habitantes en 2018 a 1.529 habitantes en 2024. Este crecimiento demográfico indica que el sistema de acueducto debe ser capaz de suministrar un caudal diario de 3.6 l/s, en contraste con su capacidad actual de 6 l/s (DANE, 2018). La insuficiencia en la cobertura del recurso limita el desarrollo social y económico de la comunidad, generando condiciones de vulnerabilidad. Por ello, la implementación de un acueducto rural no solo mejorará la calidad de vida de los habitantes, sino que también contribuirá al desarrollo sostenible de la región.

Además de atender la demanda de agua potable, este proyecto permitirá aliviar la presión sobre las fuentes hídricas y garantizar la sostenibilidad del recurso. La planificación del sistema incluirá elementos esenciales como la captación, el tratamiento y potabilización del agua, su conducción y distribución, así como el almacenamiento y mantenimiento de la infraestructura. Asimismo, se abordarán los desafíos específicos del desarrollo de un acueducto rural, tales como la topografía accidentada del área, la disponibilidad de recursos y la participación activa de la comunidad en su gestión.

Los beneficios socioeconómicos derivados de la implementación del acueducto incluyen la mejora en la salud pública, el fomento del desarrollo agrícola y la generación de empleo local. Adicionalmente, se analizarán los impactos ambientales, promoviendo la protección de las fuentes de agua y la gestión sostenible del recurso hídrico. En este sentido, el diseño del sistema debe minimizar los efectos negativos sobre el medio ambiente y

garantizar el acceso equitativo y eficiente al agua potable para los habitantes de Guamal Alto y Guamal Bajo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El acceso equitativo al agua potable es un derecho fundamental y una necesidad esencial para garantizar la salud y el bienestar de las comunidades rurales. Sin embargo, en muchas zonas rurales de Colombia, la oferta de servicios básicos es limitada, lo que requiere una pronta intervención con políticas y acciones efectivas. En este contexto, fortalecer la infraestructura hídrica, promover la producción local y facilitar la integración de estas comunidades en procesos de desarrollo sostenible resulta fundamental para garantizar un futuro más justo y equitativo.

En el municipio de Quetame, particularmente en las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, el sistema de acueducto existente es insuficiente para garantizar un suministro constante y seguro de agua potable para sus habitantes. Como resultado de esta deficiencia, se han presentado problemas de salud debido al consumo de agua directamente de fuentes naturales sin un tratamiento adecuado (López Rojas, s.f.). La falta de infraestructura hídrica adecuada en estas veredas ha obligado a sus pobladores a utilizar métodos artesanales de recolección y distribución de agua, los cuales no aseguran la calidad ni las condiciones físicas y químicas adecuadas del recurso hídrico (Bolaños & Rodríguez, 2019). Asimismo, la ubicación dispersa de las fuentes de agua y la dependencia de permisos de propietarios privados dificultan el acceso equitativo y sostenible al recurso.

Desde una perspectiva infraestructural, la distribución de agua en el casco urbano de Quetame ha sido priorizada dentro de los planes de acción municipal. Sin embargo, es

igualmente necesario garantizar que las veredas cuenten con sistemas adecuados de purificación y distribución del recurso hídrico (Baquero & Barreto, 2007). Actualmente, el servicio de acueducto en el municipio abastece principalmente la cabecera municipal y el centro poblado de Puente Quetame desde la planta de tratamiento municipal. No obstante, su cobertura del 95% es insuficiente para atender la creciente demanda, ya que la limitada capacidad del sistema impide una distribución eficiente del agua. El acueducto está diseñado con un único punto de captación en la Quebrada Blanca, a tres kilómetros de la cabecera municipal, lo que restringe aún más su capacidad de abastecimiento.

En otras zonas del municipio, como Estaquecá Bajo y Guacapate, existen acueductos veredales cuya finalidad es ampliar la cobertura del suministro. Sin embargo, estos carecen de la infraestructura necesaria para garantizar la calidad del agua y su funcionamiento es precario debido a la ausencia de un sistema de mantenimiento adecuado. La inestabilidad del suelo y el constante aumento del índice de humedad en Estasquecá Bajo han afectado la infraestructura del acueducto, comprometiendo su eficiencia. En respuesta a estas deficiencias, los habitantes han recurrido a métodos de recolección rudimentarios, como el almacenamiento de agua en tarros de cristal o aljibes, lo que incrementa el riesgo de contaminación del recurso (Hernández, 2015).

La falta de normativas estrictas en la construcción de infraestructuras hidráulicas rurales, así como la ausencia de regulaciones y tarifas que permitan un adecuado mantenimiento del sistema, han agravado la problemática del acceso al agua en las veredas de Guamal Alto y Guamal Bajo. En particular, no existen sistemas de purificación eficientes, sino únicamente estructuras básicas destinadas a la recolección, transporte, almacenamiento y

distribución del agua (Orjuela y Sabogal, 2005). Esta situación no solo afecta la calidad de vida de los habitantes, sino que también limita el desarrollo económico y social de la región.

Dado este panorama, resulta imperativo diseñar un sistema de acueducto rural que permita abastecer de manera continua y segura a las comunidades de Guamal Alto y Guamal Bajo en el municipio de Quetame. La presente investigación busca responder a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la contribución desde la Facultad de Ingeniería de la Universidad La Gran Colombia al suministro de agua potable en la comunidad de la vereda Guamal en el municipio de Quetame?

2. JUSTIFICACIÓN

El acceso al agua potable es un derecho fundamental y un elemento esencial para garantizar la calidad de vida de las comunidades. En la Vereda Guamal del municipio de Quetame, la falta de un sistema adecuado de acueducto ha obligado a los habitantes a consumir agua sin tratamiento, lo que representa un riesgo para la salud pública y limita el desarrollo sostenible de la región (Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca, s/f).

Actualmente, la principal fuente de abastecimiento de agua en Quetame proviene de una bocatoma ubicada en la cantera cercana, que transporta el recurso hídrico desde la vertiente de Corraleja hasta el casco urbano y su planta de tratamiento. Sin embargo, el sistema de distribución en la vereda ha sido implementado de manera deficiente, lo que ha restringido el acceso al agua potable a un número limitado de viviendas, dejando a la mayoría de la población en condiciones de vulnerabilidad (Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca, s/f).

El diseño de un acueducto rural para esta comunidad no solo busca garantizar el suministro de agua potable a cada hogar, sino que también responde a la dinámica de

crecimiento poblacional y las condiciones geográficas del territorio, lo que permite orientar una solución técnica eficiente, adaptada a las necesidades reales de las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo. (Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca, s/f).

Este proyecto de diseño de acueducto no solo beneficiará a los habitantes de las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, al reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, sino que también servirá como una iniciativa piloto para la optimización de infraestructura hídrica en la zona. Además, representa una oportunidad para la aplicación de conocimientos adquiridos en el ámbito académico, permitiendo a los estudiantes de ingeniería desarrollar soluciones técnicas eficientes y sostenibles para las comunidades rurales.

Los estudios previos permitirán definir modelos óptimos para el diseño del acueducto, garantizando el crecimiento y desarrollo futuro de las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de sus habitantes. La implementación de esta infraestructura asegurará que cada vivienda cuente con la cantidad mínima de agua potable necesaria, promoviendo el bienestar de la comunidad y la protección de sus recursos naturales (Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca, S/F).

3. OBJETIVOS

3.1. General

Diseñar un sistema de acueducto rural para las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo en el municipio de Quetame, Cundinamarca, a partir de criterios técnicos que permitan planificar de manera integral las fases de captación, potabilización, almacenamiento, distribución y mantenimiento, con el fin de garantizar un suministro eficiente y sostenible de agua potable para la comunidad.

3.2.Específicos

- Analizar la demanda de agua de la comunidad rural de las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, considerando la población actual y proyectada, así como los distintos usos del recurso hídrico, incluyendo consumo humano, actividades agrícolas y ganaderas.
- Identificar las condiciones actuales de acceso al agua en la comunidad, evaluando las fuentes naturales de captación utilizadas por los habitantes, la calidad del recurso hídrico y las limitaciones que enfrentan al no contar con un sistema formal de acueducto.
- Diseñar las estructuras y componentes del sistema de acueducto, asegurando el cumplimiento de los criterios técnicos, normativos y de ingeniería necesarios para garantizar la eficiencia, sostenibilidad y calidad del servicio.
- Elaborar un presupuesto estimado para la implementación del sistema de acueducto rural, con base en los costos directos de construcción e insumos requeridos, como apoyo al proceso de planificación y dimensionamiento técnico del proyecto.

4. ANTECEDENTES.

El acceso al agua potable en zonas rurales de Colombia ha sido históricamente limitado por diversos factores como la dispersión poblacional, la topografía montañosa, la falta de infraestructura adecuada y los bajos niveles de inversión pública en servicios básicos. Estos factores han dificultado la cobertura de acueductos municipales en veredas y corregimientos, lo que ha obligado a muchas comunidades a depender de fuentes naturales de agua no tratada, generando riesgos para la salud y limitaciones al desarrollo social y productivo.

Diversos estudios han abordado esta problemática desde el enfoque técnico y comunitario. Bañona y Jácome (2014), por ejemplo, realizaron una evaluación del sistema de acueducto en la vereda El Mortiño, ubicada en el departamento de Santander. Allí se identificaron fallas estructurales y deficiencias operativas en el sistema de captación y conducción, lo que derivó en propuestas de rediseño con base en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), adaptando los criterios normativos a las condiciones específicas del entorno rural.

De igual forma, Mela y Salazar (2014) desarrollaron un estudio en la zona rural de Combia Baja, en el municipio de Pereira, donde el sistema de abastecimiento de agua estaba afectado por actividades agrícolas y domésticas. Su propuesta incluyó la reestructuración del acueducto mediante tres circuitos interconectados que mejoraban la continuidad y calidad del servicio para una población dispersa. Este enfoque resaltó la importancia de integrar prácticas de manejo ambiental con criterios de eficiencia hidráulica.

En el ámbito internacional, experiencias en zonas rurales de países en desarrollo también evidencian los retos de garantizar agua potable. En Tanzania, por ejemplo, se ha documentado que menos del 40% de la población rural accede a agua tratada, debido a problemas como la turbidez y presencia de contaminantes (Joven, 2014). Estas experiencias resaltan la necesidad de sistemas sencillos, sostenibles y de bajo mantenimiento, adecuados a las condiciones de las comunidades rurales.

Se concluye que, la Fundación Ciudad de la Energía en Colombia ha promovido sistemas de cloración manual en acueductos veredales que, aunque de bajo costo, requieren apropiación comunitaria para su mantenimiento. Esta iniciativa ha sido implementada con

éxito en zonas rurales de Boyacá, evidenciando la importancia de la autogestión en la sostenibilidad de los sistemas.

Estos antecedentes reafirman que el diseño de un sistema de acueducto para las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo debe considerar no solo los criterios técnicos de eficiencia hidráulica, sino también los aspectos sociales, operativos y geográficos propios del contexto rural. La experiencia acumulada en otras veredas del país brinda insumos valiosos para orientar soluciones que respondan a las necesidades reales de estas comunidades.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Potabilización de Agua.

La potabilización del agua es un proceso que se lleva a cabo en instalaciones conocidas técnicamente como Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP), combinadas denominadas plantas potabilizadoras. El procedimiento específico para hacer el agua apta para el consumo humano varía dependiendo de las condiciones naturales del entorno.

Cuando la fuente de agua es superficial, como un río o un lago, el tratamiento suele consistir en la separación de ciertos elementos presentes en el agua natural, seguida por la precipitación de impurezas, filtración y desinfección mediante cloro u ozono. Si el recurso hídrico contiene sales o metales pesados, los procesos requeridos para su eliminación resultan más complejos y costosos. En regiones con escasez de agua y en zonas costeras, es posible obtener agua potable mediante desalinización, un proceso que generalmente se realiza por ósmosis inversa o destilación. (*ACCIONA, BUSINESS AS UNUSUAL*, s. f.)

5.2. Captación.

La captación de aguas superficiales provenientes de ríos, lagos y embalses es una infraestructura a nivel del terreno que permite el aprovechamiento del recurso hídrico desde su fuente, ya sea mediante el uso de la gravedad, cuando la fuente se encuentra en una cota superior al punto de consumo, o a través de bombeo cuando se requiere elevar el agua. El diseño y dimensiones de la captación dependen del caudal necesario para abastecer a la comunidad. (Stauffer & Spuhler, s. f.)

Las aguas superficiales pueden contener cierto grado de contaminación, por lo que requieren un tratamiento adecuado para modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas antes de ser aptas para el consumo humano. (Stauffer & Spuhler, s. f.)

Ventajas de la captación de aguas superficiales:

- Contribuye al control de inundaciones y posibles desbordamientos.
- Permite un acceso rápido y eficiente al agua, ya sea por bombeo o por gravedad.
- Si el agua extraída es limpia y fresca, el proceso de tratamiento es más sencillo.
- Su mantenimiento puede ser realizado por los propios miembros de la comunidad.

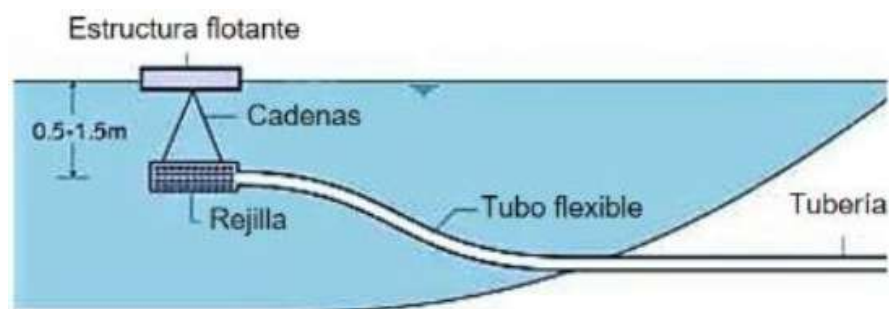
La captación de estos cuerpos de agua puede realizarse de diferentes maneras, dependiendo de las características de la fuente, el caudal requerido y las condiciones geológicas, hidrológicas y topográficas de la zona. Entre los principales tipos de captación se encuentran:

- **Azud:** Se utiliza en ríos y riachuelos poco profundos, pero con gran velocidad de corriente. El agua es captada mediante rejillas y conducida a un desarenador.

- **Pozos y galerías de infiltración:** Métodos indirectos en los que el agua se filtra a través del estrato permeable cercano a la fuente, ya sea hacia pozos ubicados a un costado del cauce o mediante un sistema de drenaje natural.
- **Tomas laterales:** Captación a través de canales construidos en el margen de ríos caudalosos, que conducen el agua hasta un tanque recolector.
- **Captación móvil:** Se construye sobre una plataforma flotante en ríos con variaciones de nivel, utilizando equipos de bombeo para extraer el agua.
- **Captación flotante:** Utiliza bombas y una estructura flotante anclada al fondo del cuerpo de agua para captar el recurso en lagos, ríos y embalses.
- **Captación sumergida:** Consiste en tubos perforados o con rejillas colocadas en el fondo del cauce para retener sólidos y evitar la entrada de sedimentos al sistema de conducción.

Antes de diseñar cualquier sistema de captación en ríos y riachuelos, es necesario realizar un estudio hidrológico que garantice el aprovechamiento óptimo del recurso y un suministro continuo a la población. En lagos y embalses, se debe determinar la cantidad y calidad del agua disponible, así como la profundidad ideal para la captación, evitando zonas cercanas a la orilla donde puede haber mayor contaminación. (Stauffer & Spuhler, s. f.)

Ilustración 1. Sistema de captación de agua simple.



Fuente: Stauffer & Spuhler, (s.f).

5.3. Red de distribución.

La red de distribución, según Morelos & Hernández (2017), consta en tuberías, accesorios y estructuras que permiten descargar el agua desde las instalaciones de almacenamiento hasta los hogares. El sistema consta de tubos primarios que miden 3 pies y tubos secundarios que miden de 2 a 1 medio pie. Se encuentran tres tipos de redes: abiertas, cerradas y mixtas.

Según el diseño del proyecto de la red de distribución, se deberán integrar las actividades posteriormente mencionadas:

- a) Establecer las características de la red de distribución.
- b) Definir los ámbitos multilateral, de servicios y de asistencia.
- c) Evaluar las capacidades de los nodos de distribución y compensación.
- d) Dar una mezcla de acuerdo con el sistema de distribución.
- e) Supervisar los movimientos primarios y secundarios principales de la red.
- f) La longitud de cada tubo rojo. En caso de necesidad de expansión, averigüe qué tubos existentes requieren reemplazarse y cambiar de dimensiones.
- g) Compartición y ubicación de accesorios y componentes del sistema de distribución de agua.
- h) Las medidas del sistema de distribución de agua deberán ser establecidas.
- i) Datos de construcción, materiales y equipos de la red de distribución.

5.4. Acueducto Veredal.

Los acueductos veredales son sistemas comunitarios destinados al suministro de agua potable en zonas rurales o veredas de los municipios de Colombia. Estos sistemas permiten la captación, tratamiento y distribución del recurso hídrico a pequeñas comunidades donde los acueductos municipales no tienen cobertura debido a la complejidad del terreno y las limitaciones de infraestructura. (Partido Alianza Verde, s. f.)

En la mayoría de los casos, estos acueductos son gestionados por las Juntas de Acción Comunal o asociaciones comunitarias, lo que significa que son las propias comunidades las encargadas de su operación y mantenimiento. Para ello, organizan actividades de recolección de fondos y promueven la capacitación de sus miembros y residentes en la gestión del agua. Este modelo de autogestión facilita que las Administraciones Municipales brinden apoyo para mejorar el acceso al servicio en la población rural. (Partido Alianza Verde, s. f.)

A pesar de su importancia para garantizar el acceso al agua en estas zonas, los acueductos veredales enfrentan múltiples desafíos, entre ellos:

- Propiedad privada de los terrenos donde se encuentra la fuente de agua.
- Falta de medición del consumo, lo que genera informalidad en el servicio.
- Deficiencia en la capacitación técnica del personal encargado de la operación.
- Retrasos por parte de las entidades gubernamentales en los procesos de legalización y concesión de aguas.
- Alta turbidez del agua durante la temporada de lluvias.
- Conflictos de intereses en el uso del agua potable.
- Uso inadecuado del recurso, como en abrevaderos y riego agrícola.

Los acueductos veredales desempeñan un papel clave en el abastecimiento de agua potable para las comunidades rurales, garantizando el acceso al recurso hídrico en zonas donde la cobertura estatal es limitada. (Partido Alianza Verde, s. f.)

5.5. Enfoques al proceso de diseño de acueductos.

Desde el inicio de la sociedad, la distribución de agua ha sido una preocupación. Evidentemente, los sistemas de abastecimiento de agua en las antiguas ciudades fueron inadecuados. De acuerdo, se construyeron acueductos para llevar agua de entidades profundas. Estos sistemas de distribución de agua, según Velasco Sarria (s/f), no proporcionaban el transporte de agua a los hogares, sino llevarlas hasta un lugar central, estando a cabo por los residentes.

Tuberías de exponente presión dejó de existir a mediados del siglo XVII. Se observaban maderas, piedras y tuberías de plomo ayudantes a la línea de gradiente hidrológico. La instalación de sistemas públicos de agua para todos los hogares será fácilmente obtenible por las comunidades más pequeñas debido a las tuberías de cobre, la reducción de costo y la mejora de las máquinas de vapor (Chiquiza, 2022).

Se requiere el transporte de agua a nivel local y su distribución entre los residentes, sea superficialmente o subterráneo. Acueductos, abiertos de canales y tuberías son medios que permiten el transporte de agua de la fuente a la instalación de tratamiento. El agua se distribuye mediante tubos cerrados a presión después de la depuración (Velasco Sarria, s/f). En general, el término "acueducto" significa vías fluviales artificiales. Específicamente, están más amplias y de capacidad en comparación con las cámaras preinfladas, y funcionan a presión atmosférica, en cierto lugar en que la presión hidráulica disponible sea médica. Acueductos, que pueden ser

construidos con materiales obtenidos localmente, presentan una duración superior a la metálica respaldada, y degradan la capacidad hidráulica de manera más gradual.

Alcanzó otros beneficios, tales como la imposibilidad de importar su capacidad inmediata y la imposibilidad de interferir con sistemas de flujo de aire locales. En cuanto a las amplias variaciones caudales, tempestades y calidades del agua en fuentes superficiales, las estructuras de captura deberán proporcionar el caudal necesario, independientemente de estas variaciones intrínsecas (Instituto De Hidrología Meteorología Y Estudios Ambientales, S/F). Para determinar con precisión los lugares de captura, se deben tener en cuenta las fluctuaciones del nivel del agua, los requisitos de navegación, las corrientes locales, los patrones de transporte y sedimentación, los cambios espaciales y temporales en la calidad del agua y los derechos de flotación.

Unas diversas variedades de métodos de construcción se requieren para los sistemas de acueductos. Componentes del sistema de distribución de agua:

La microcuenca es un dispositivo para utilizar agua en una zona específica. Los sistemas de distribución ciertamente otorgan la adquisición de agua. La microcuenca se define como un área geográfica debido a su proporción de canales, fuentes y salidas para el flujo de agua. Cuencas se conforman en vez de otro río que produce más agua, o cuando un arroyo o río desemboca en una ciénaga, mar, lago, u otro río (Velasco, S/F)

Obras o estructuras de captación son necesarias para la obtención de agua de manera regular de una fuente. El término "bocatoma" se refiere a la recuperación de agua de una fuente superficial, mientras que "pozo" o "aljibe" denotan la recuperación de agua de una fuente subterránea. Dichas situaciones primarias, según Sánchez Caballero y Triana Gallo (2016), en relación al captar de agua de río.

Las obras de conductos incluyen conductos o tuberías que transportan agua dulce hasta la planta de tratamiento (si existe), al tanque de almacenamiento y red de distribución, y plantas de limpieza y potabilización de agua. (Sánchez & Triana, 2016).

5.6. Almacenamiento de agua potable.

El tanque de almacenamiento es una infraestructura diseñada para cumplir dos funciones principales: asegurar la disponibilidad de agua suficiente para abastecer a la población y regular la presión dentro del sistema de distribución, permitiendo así un servicio eficiente. Su diseño y construcción varían en función de factores como las condiciones del terreno, los materiales disponibles, la mano de obra local y las necesidades específicas de la comunidad. Dependiendo del sistema, los tanques pueden ubicarse antes o después de la planta de tratamiento; Sin embargo, en cualquier caso, se recomienda la aplicación de un proceso de desinfección directa. (Pérez L, s. f.)

Estas, estructuras conocidas como tanques, torres, cisternas o reservorios, tienen un doble propósito: por un lado, almacenar agua tratada antes de su distribución para consumo doméstico, y por otro, equilibrar las fluctuaciones en la demanda. Durante los períodos de menor consumo, como en las noches, el tanque acumula agua, garantizando su disponibilidad en momentos de mayor exigencia, cuando muchas personas la requieren simultáneamente. (Pérez L, s. f.)

Además de su función principal, el agua almacenada en estos tanques puede utilizarse para:

- Complementar el abastecimiento en zonas con pozos de bajo rendimiento.
- Garantizar el suministro en situaciones de emergencia, como incendios.

- Servir de reserva temporal ante interrupciones en la fuente de agua o fallas en los equipos de bombeo.
- Mantener una presión estable en la red de distribución.
- Actuar como mecanismo de alivio en sistemas alimentados por bombeo.
- Permitir la operación del bombeo a un caudal promedio en lugar de un caudal máximo.

Los tanques de almacenamiento son esenciales en los sistemas de distribución de agua, ya sea por bombeo o por gravedad. Su tamaño depende de factores como la población beneficiada, la confiabilidad de la fuente y la disponibilidad de recursos para su mantenimiento. Siempre que sea posible, se recomienda su instalación en una elevación superior a la comunidad para permitir el flujo del agua por gravedad. En casos donde esto no es factible, los tanques pueden ser elevados mediante estructuras, aunque esto incrementa los costos y limita su capacidad.

Los materiales de construcción de estos tanques incluyen concreto simple o reforzado, acero, fibra de vidrio y polietileno. Actualmente, la fibra de vidrio y el polietileno son opciones cada vez más utilizadas debido a su resistencia a la corrosión y su impermeabilidad. La elección del material dependerá del tamaño, la forma y el costo del tanque. (Pérez L, s. f.)

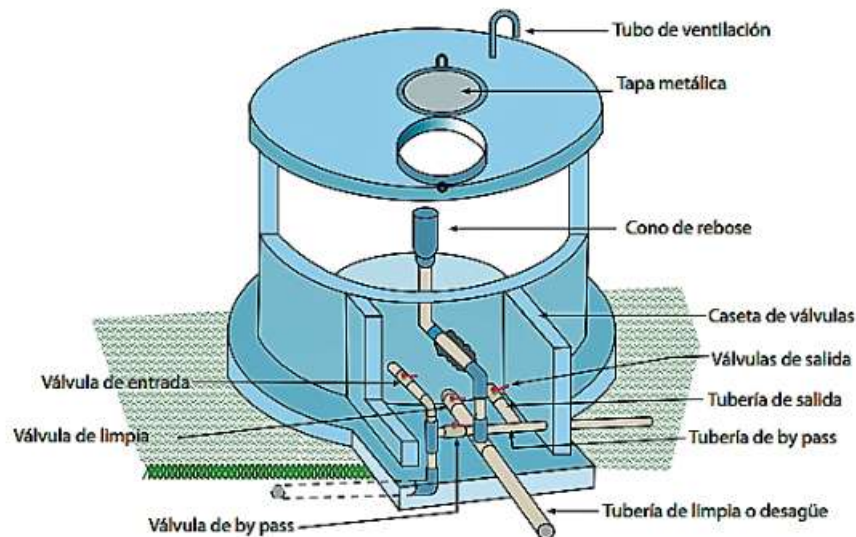
Estructuralmente, un tanque de almacenamiento se compone de dos elementos principales: el depósito de almacenamiento y la caseta de válvulas. Sus componentes básicos incluyen:

- Depósito de almacenamiento : Su tamaño está determinado por la demanda de agua y la frecuencia de suministro. Un sobredimensionamiento puede afectar la calidad del

agua, ya que el cloro residual que evita el crecimiento bacteriano se disipa con el tiempo, afectando el sabor y olor del agua.

- Compuerta de acceso : Permite la inspección, limpieza y mantenimiento del tanque. Debe contar con un cierre seguro para evitar la entrada de contaminantes.
- Tubería de ventilación de aire : Diseñada con una curvatura
- Caseta de válvulas : Protege
- Bomba de agua y tanque de: Elementos necesarios en sistemas de almacenamiento subterráneo que requieren bombeo

Ilustración 2. Tanque de almacenamiento de agua potable.



Fuente: (Pérez L, s. f.)

5.7. Normativa aplicable

El diseño del sistema de acueducto propuesto se enmarca en el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, adoptado mediante la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, y su actualización más reciente

contenida en la Resolución 0799 de 9 de diciembre de 2021, la cual modificó y adicionó múltiples artículos del RAS para ajustarlos a los lineamientos de gestión del riesgo, articulación con los POT/EOT y requisitos técnicos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto y alcantarillado. Entre los cambios que afectan directamente el presente proyecto rural se destacan:

Art. 10 – Estudios básicos obligatorios: exige detallar topografía, geotecnia e hidrología antes de la formulación.

Art. 56 – Criterios de diseño para aducción y conducción.

Art. 62 y 63 – Rangos de presión y diámetros internos mínimos en redes de distribución.

Art. 79 – Parámetros de diseño estructural e hidráulico para tanques de almacenamiento.

Art. 100–121 – Actualización de tecnologías y requisitos para plantas de potabilización (PTAP/ETAP).

Art. 92A (nuevo) – Lineamientos mínimos de operación y mantenimiento en zonas rurales.

Estos artículos y los demás señalados en la Resolución 0799 de 2021 fueron verificados y aplicados en los cálculos hidráulicos y en la selección de materiales descritos en los capítulos 20 al 28. De igual forma, se mantiene la referencia a la Resolución 0844 de 2018, que establece condiciones diferenciales para proyectos de agua en zonas rurales dispersas

6. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

La investigación se enmarca en un enfoque predictivo, con el propósito de optimizar la captación de agua en la vereda Guamal Alto, Quetame. Es fundamental conocer en detalle las

características específicas de la zona, como la población y sus necesidades, para diseñar un sistema de acueducto veredal que se ajuste a la realidad del territorio (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Asimismo, se desarrollará una investigación descriptiva, orientada al análisis de los elementos que conforman el entorno de estudio. Esto incluye la evaluación del estado actual de la absorción de recursos hídricos en las viviendas veredales, identificando fortalezas y debilidades del sistema vigente, y formulando propuestas para el desarrollo de un sistema sostenible y eficiente de captación y distribución de agua.

6.1.Fases de la Investigación.

La metodología del estudio se ha estructurado en tres fases fundamentales, las cuales se describen a continuación:

Fase 1: Diagnóstico y Análisis del Entorno

- **Descripción Hidrológica:** Realización de un estudio detallado de la hidrología de la zona, que incluya el análisis de las fuentes hídricas locales y la determinación de los caudales disponibles.
- **Caracterización Geográfica y Geológica:** Recopilación y análisis de datos sobre la geografía y la tipología de suelos, basados en los archivos y mapas proporcionados por el Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS).
- **Evaluación del Recurso Hidrológico:** Estudio de las características del recurso hídrico, determinando su potencial y sostenibilidad para abastecer las veredas.

- **Análisis Socioeconómico y Territorial:** Revisión de las características socioeconómicas, culturales y políticas de la zona, así como del esquema de ordenamiento territorial (ETO) vigente, para comprender el contexto y la demanda actual de servicios básicos.

Fase 2: Levantamiento y Análisis de Datos

- **Demanda de Agua:** Realización de encuestas a la población para determinar la demanda actual y proyectada. Se complementará con el análisis de datos de censos poblacionales.
- **Estudio Topográfico:** Levantamiento topográfico detallado de las áreas y estructuras que formarán parte del proyecto, fundamental para el diseño y planificación de la infraestructura, mediante la interpretación de imágenes satelitales y herramientas de análisis geoespacial, en conjunto con modelos digitales de elevación como Google Earth Pro. Por limitaciones logísticas y de acceso, el estudio topográfico fue realizado de forma digital, sin mediciones directas en campo. Esta metodología permitió identificar las características geométricas generales del cauce, necesarias para el diseño preliminar de la bocatoma.
- **Proyecciones y Modelización Matemática:** Obtención de tasas de crecimiento poblacional y realización de proyecciones de demanda, utilizando técnicas de modelización matemática para estimar las necesidades futuras de agua.
- **Evaluación del Consumo y Determinación de Caudales:** Análisis del consumo actual de agua y determinación de caudales medios, coeficientes de mayoración y caudales de diseño, de acuerdo a los parámetros y exigencias establecidos en las resoluciones RAS 0330 y 0844 de 2018, por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas

diferenciales definidos en el capítulo 1, del Título 7, parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015.

Fase 3: Diseño y Evaluación Económica

- **Diseño del Sistema:** Elaboración del diseño técnico de cada una de las estructuras que integrarán el acueducto, asegurando que se adapten a las condiciones específicas de las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo.
- **Análisis de Costos:** Evaluación de los costos involucrados en la implementación del sistema, incluyendo inversión inicial, operación, mantenimiento y posibles contingencias.
- **Informe Técnico y Planos:** Elaboración de un informe técnico detallado que incluya los planos del proyecto, especificaciones técnicas y normativas aplicables.
- **Conclusiones y Recomendaciones:** Síntesis de los hallazgos del estudio y formulación de recomendaciones para garantizar la sostenibilidad, eficiencia y operatividad del acueducto veredal en el largo plazo.

7. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

Para iniciar un proyecto, hay que, realizar una actividad preliminar donde se contemple un diagnóstico de la situación del municipio en general y las veredas donde se llevara cabo el presente proyecto, determinación de la población afectada, características socioculturales y participación comunitaria, cuantificación de las demandas y necesidades y evaluación del sistema existente. Para un diagnóstico general, se necesita realizar los estudios básicos, información presentada posteriormente de manera detallada.

7.1. Diagnóstico de la Situación del Municipio

En primer lugar, el municipio está ubicado a 62 km al sudeste de Santa Fe de Bogotá D.C. en el sector sur oriental del departamento de Cundinamarca, en la Provincia de Oriente, limita al norte con el municipio de Fómeque, al occidente con Fosca y Cáqueza, al oriente con el departamento del Meta y al sur con el municipio de Guayabetal. Cuenta con un área total de 13.847 ha., se encuentra entre los pisos térmicos medio y páramo cuya temperatura oscila entre 2 y 24°C y la precipitación se presenta entre 1.800 y 4.000 mm. La cabecera municipal de este municipio se localiza a los 04°19'59'' de latitud norte y a los 73°51'56'' de longitud al oeste de Greenwich y a una altitud de 1.560 m.s.n.m. (Ingenieros Civiles y Ambientales Asociados - CASIA LTDA., 1999)

En cuanto a su topografía, el municipio posee desde una topografía quebrada a muy quebrada. Dentro de los principales accidentes geográficos ubicados en la cordillera Oriental, se destacan los páramos El Atravesado y Las Burras; las lomas Granadillo, La Carjada, Jabonera, La Pava, Las Mercedes y Santuario; el Cerro Algodonal y las Cuchillas Guamal y Portachuelo. Lo bañan los ríos Contador, Negro y Sáname. En cuanto a número de habitantes, el censo realizado en 1.993 establece que la mayor población está concentrada en el campo así: el 83% (4.470 habitantes) corresponde a población rural y el 17% (897 habitantes) a urbana (cabecera municipal), aunque según datos del censo realizado por el DANE en el 2018, el municipio se encuentra con una población proyectada de 7.298. (Ingenieros Civiles y Ambientales Asociados - CASIA LTDA., 1999).

El municipio presenta como divisiones administrativas tradicionales el sector urbano determinado por el perímetro urbano y el sector rural el cual está conformado por veinticuatro (24) veredas, entre ellas Guamal Alto y Guamal Bajo, según información proporcionada por la Alcaldía

municipal, La vereda de Guamal Alto se encuentra en el sector 2, pertenece a la Inspección Municipal de Puente Quetame. Sus habitantes están dedicados a los cultivos de Sagù, papa, frijol, tomate de árbol, granadilla, pastos y ganadería de ceba y doble propósito. Tiene un área de 611.16 Has, que corresponde al 4.41% del área del municipio. Con una población aproximada de 220 habitantes distribuidos en 42 viviendas.

La vereda de Guamal Bajo de igual manera, se encuentra en el sector 2, pertenece a la Inspección Municipal de Puente Quetame. Sus habitantes están dedicados a los cultivos de Sagù, papa, frijol, tomate de árbol, granadilla, pastos y ganadería de ceba y doble propósito. Tiene un área de 597.5 Has, que corresponde al 4.31% del área del municipio. Con una población aproximada de 244 habitantes distribuidos en 50 viviendas. En esta vereda en el sitio llamado el Encomendero vivió el General de la guerra de los mil días Alcides Leal. (Ingenieros Civiles y Ambientales Asociados - CASIA LTDA., 1999)

Según Plan de Ordenamiento Territorial del municipio, la infraestructura vial y la conectividad presentan deficiencias notables, lo que dificulta el traslado de personas y el transporte de productos, limitando así el desarrollo económico y social de la región. Las condiciones de las vías de acceso, en muchos casos irregulares, impiden una integración efectiva con el resto del territorio, afectando también la provisión de servicios básicos.

En cuanto a los servicios públicos, se observa una cobertura limitada en aspectos fundamentales como el suministro de agua potable, energía eléctrica y el manejo adecuado de aguas residuales. La oferta de servicios sociales, que incluye centros de salud, educación y equipamientos comunitarios, es reducida, lo que impacta directamente en la calidad de vida de los habitantes y genera una brecha en el desarrollo integral de estas veredas.

A pesar de los retos identificados, tanto Guamal Alto como Guamal Bajo cuentan con importantes potencialidades, entre las que destacan su capacidad para el desarrollo de actividades agropecuarias sostenibles y la posibilidad de impulsar proyectos de turismo rural y agroecológico. Por ello, resulta fundamental fortalecer la infraestructura y ampliar la cobertura de servicios básicos, al tiempo que se implementan estrategias de manejo del uso del suelo que mitiguen los conflictos entre actividades productivas y conservación ambiental.

En el contexto del diseño de un acueducto rural para las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, es fundamental considerar el régimen hidrológico de la zona, dado que estos aspectos determinan la disponibilidad y calidad del recurso hídrico. La región se caracteriza por presentar una alta pluviosidad, con precipitaciones que oscilan entre 1.800 y 4.000 mm anuales, lo que favorece la recarga de acuíferos y la existencia de fuentes superficiales. Sin embargo, la topografía montañosa y la variabilidad del relieve generan diferencias en la captación de agua, haciendo necesario un estudio detallado de la distribución espacial de las precipitaciones y la dinámica de escorrentía para definir los puntos óptimos de captación y almacenamiento.

La evaluación hidrológica debe incluir el análisis de las fuentes de agua disponibles, tanto superficiales como subterráneas. En estas veredas, la presencia de ríos y quebradas, así como posibles acuíferos, representa una oportunidad para el suministro de agua. No obstante, la actividad agropecuaria prevalente en la zona puede influir en la calidad del agua debido a la escorrentía de fertilizantes y pesticidas, lo que subraya la importancia de realizar estudios de calidad del agua y establecer sistemas de tratamiento adecuados. Además, la identificación de caudales máximos y mínimos es esencial para dimensionar correctamente la infraestructura del acueducto, garantizando

un suministro constante durante los periodos de sequía y evitando el sobre dimensionamiento en épocas de lluvias intensas.

El diseño del acueducto debe considerar la eficiencia en la conducción del agua y la integración con el entorno. Esto implica la planificación de obras de captación, almacenamiento y distribución que minimicen las pérdidas y se adapten a las condiciones del terreno, preservando la calidad del recurso y reduciendo el impacto ambiental.

7.2. Determinación de la población afectada

La población objetivo y que será beneficiada será aquella que se ubique en las veredas de Guamal Alto y Guamal Bajo del municipio de Quetame Cundinamarca, en busca de brindar un sistema de acueducto para esta zona rural, en donde se presente un sistema de captación, conducción y almacenamiento del recurso hídrica, teniendo presente la cantidad y calidad de la misma.

7.3. Características Socioculturales de La Población y Participación Comunitaria

El Municipio de Quetame se caracteriza por una identidad profundamente rural, con raíces indígenas y campesinas que se reflejan en sus tradiciones y costumbres. Según el Plan de Ordenamiento Territorial de municipio, en las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, esta identidad se traduce en una economía mayoritariamente basada en actividades agropecuarias. Los habitantes se dedican al cultivo de frijol, maíz, sagú y otras especies autóctonas, además de la cría de ganado, lo que no solo sostiene el autoconsumo, sino que también permite la comercialización de excedentes en mercados locales y regionales. Esta estructura productiva, gestionada mayoritariamente por pequeños productores y microempresas familiares, se enfrenta a desafíos importantes, como la limitada inversión en infraestructura, el acceso restringido a financiamiento

y la falta de diversificación de actividades.. (Ingenieros Civiles y Ambientales Asociados - CASIA LTDA., 1999)

En términos de infraestructura, las deficiencias en la conectividad vial y la escasez de servicios básicos –tales como agua potable, energía eléctrica y sistemas adecuados de saneamiento– impactan negativamente en la competitividad de los productos agropecuarios y en la calidad de vida de la población. Estas limitaciones dificultan la integración de las veredas con el resto del municipio y reducen las oportunidades para acceder a mercados más amplios, afectando directamente el desarrollo económico y social de la región.

Por otro lado, el tejido sociocultural de la comunidad se basa en una fuerte cohesión y arraigo, donde las redes familiares y vecinales han permitido históricamente la colaboración en actividades productivas y la resolución de problemáticas cotidianas. A pesar de una tradición de participación comunitaria –manifestada en asambleas y reuniones locales–, se observa una disfuncionalidad en la organización formal que limita la articulación de proyectos y la gestión efectiva de recursos. Este aspecto resulta crucial en el contexto de proyectos de desarrollo, como el diseño de un acueducto rural, donde la integración y el empoderamiento de la comunidad son vitales para asegurar la sostenibilidad y operatividad de la infraestructura.

En síntesis, la interrelación entre la identidad cultural, la economía agropecuaria y la participación comunitaria define el carácter de Guamal Alto y Guamal Bajo. Aunque la dependencia en la producción primaria y las deficiencias en infraestructura representan retos importantes, el arraigo cultural y el potencial para implementar prácticas agroecológicas y sostenibles ofrecen oportunidades para diversificar la economía local, mejorar el acceso a servicios

y fomentar un desarrollo integral y resiliente en la región. (Ingenieros Civiles y Ambientales Asociados - CASIA LTDA., 1999)

7.4. Cuantificación de las demandas y necesidades

A partir del análisis del POT se identifican diversas demandas y necesidades en distintos ámbitos, tanto a nivel del municipio en general como en áreas rurales específicas. A nivel municipal, se destaca la existencia de un importante conflicto en el uso del territorio, con más del 36% del área en condiciones de aprovechamiento en conflicto, lo que refleja la presión entre actividades agropecuarias, ganaderas y de conservación ambiental. Este escenario demanda, por un lado, el fortalecimiento de la infraestructura vial para mejorar la conectividad entre la cabecera y las áreas rurales, y por otro, la ampliación y modernización de los servicios básicos como agua potable, energía eléctrica, sistemas de saneamiento y equipamientos sociales (centros de salud, educación y espacios comunitarios). Además, se requiere una planificación integral que permita armonizar el desarrollo productivo con la preservación de los recursos naturales, gestionando de forma efectiva las tensiones existentes en el territorio y asegurando la prestación de servicios a toda la población. (Alcaldía Municipal de Quetame, 2020)

En lo que respecta a las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, ambas presentan características similares en cuanto a su extensión –aproximadamente 611 y 597 hectáreas, respectivamente– y su predominio agropecuario. Sin embargo, se identifican necesidades más específicas en estas zonas rurales: la infraestructura vial es insuficiente, lo que dificulta el acceso y la movilidad, afectando tanto el transporte de insumos como la salida de productos agrícolas y ganaderos hacia mercados externos. Además, la cobertura de servicios básicos es limitada, por lo que se hace imperativa la ampliación del acceso a agua potable, electricidad y sistemas de saneamiento, junto con la implementación de tecnologías de monitoreo y tratamiento de aguas

para prevenir la contaminación derivada de prácticas agropecuarias. Se evidencian carencias en equipamientos sociales y espacios comunitarios, lo que refuerza la necesidad de proyectos que impulsen el desarrollo integral y la cohesión social en estas áreas, a fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes y facilitar su participación en los procesos de desarrollo local. (Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca & CARRILLO CRUZ, 2018)

7.5. Diagnóstico y Evaluación del Sistema Existente

En el marco del diagnóstico y evaluación del sistema existente, se observa que la infraestructura actual de acueducto en el municipio presenta notorias deficiencias que afectan la calidad y continuidad del servicio, especialmente en áreas rurales. Se evidenció que, en muchas zonas, el sistema de acueducto es fragmentario y cuenta con instalaciones antiguas y mal mantenidas, lo que genera pérdidas significativas por fugas y limita la capacidad de abastecimiento durante períodos de baja disponibilidad hídrica.

En el caso específico de las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, la evaluación técnica ha revelado que la red actual no logra satisfacer de manera adecuada las demandas de la población local. Respecto a ello se estableció el convenio Interadministrativo para Anuar esfuerzos para la Ejecución del Proyecto “Estudios y Diseños Construcción Acueducto Interveredal Guamal Alto, Guamal Bajo, Guacapate, Mesetas, Hoya Vargas, Hoya baja y Hoya Alta y Sistema de Alcantarillado Sector Guacapate del Municipio de Quetame”, entre las empresas públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P. y el Municipio de Quetame. La zona rural del municipio de Quetame sitúa exclusivamente de un acueducto en la vereda Estaquecá Bajo, cuya acción es por el sistema de gravedad. Las demás veredas entre ellas (Guamal Alto, Guamal Bajo, Guacapate, Mesetas, Hoya Vargas, Hoya Baja y Hoya Alta) escasean de este servicio, y por consiguiente la comunidad

se ve forzada a proveerse por medio de aljibes, pozos o tomas de las quebradas con red de mangueras, en una población de aproximadamente 1500 personas, no se cuenta con concesión de agua que garantice la regularización del servicio. Debido a las peculiaridades del clima y el relieve, la red hidrográfica es muy variada. En todo el municipio abundan las quebradas que generalmente se unen entre sí para desembocar en cursos mayores de caudal permanente y abundante como el río Negro Orinoco de acuerdo con lo anterior en el municipio se puede decir que existe una gran cuenca hidrográfica la cual corresponde a la cuenca medio del Río Negro a la cual confluyen más del 50% de los drenajes del municipio. Los estudios indican que, debido a la topografía irregular y la distribución dispersa de los asentamientos, el sistema existente presenta problemas en la captación y distribución del recurso. La falta de mantenimiento preventivo y la carencia de tecnologías de monitoreo continuo agravan estas deficiencias, comprometiendo tanto la calidad del agua como la eficiencia en su entrega. (Cruz, C. L., Martínez, M. S. & Rusinque, D,2023).

Este diagnóstico subraya la necesidad de implementar un nuevo diseño de acueducto rural que, además de ampliar la cobertura y mejorar la eficiencia del sistema, contemple la rehabilitación de componentes críticos del acueducto existente. La propuesta debe incorporar un análisis hidrológico riguroso para dimensionar correctamente las obras de captación, almacenamiento y distribución, integrando tecnologías que permitan el monitoreo en tiempo real y la detección temprana de fallas. Asimismo, se destaca la importancia de una gestión participativa con la comunidad, lo que facilitará la implementación y el mantenimiento sostenible de la infraestructura, adaptándola a las condiciones locales y garantizando un servicio continuo y de calidad para las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo.

Se tiene en cuenta que este proyecto se llevará a cabo desde su primera etapa contemplando en primer lugar la concepción y construcción de la bocatoma y desarenador, este será llevado a cabo por etapas dando lugar a cada una de las estructuras hidráulicas de manera gradual. La construcción por etapas en este caso garantizara la autonomía constructiva y operativa de los sistemas y se tienen en cuenta que no requerirá inversiones previas.

8. CONDICIONES GENERALES

8.1. Caracterización Territorial

Quetame es un municipio del departamento de Cundinamarca, ubicado en la provincia de Oriente. Se encuentra a aproximadamente 65 kilómetros al sureste de Bogotá, lo que representa alrededor de 2 horas de viaje en automóvil. Este municipio es conocido por su clima templado y sus paisajes montañosos y rurales. Situado en la Cordillera Oriental, Quetame tiene una altitud de aproximadamente 1,450 metros sobre el nivel del mar. El municipio está rodeado de montañas y cuenta con varios cuerpos de agua, como ríos y quebradas, que enriquecen su paisaje natural. (Gobernación de Cundinamarca , s. f.)

Ilustración 3. Localización de Quetame Cundinamarca, respecto al departamento y País.



Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá.

La economía de Quetame se basa principalmente en la agricultura, destacándose el cultivo de café, caña de azúcar y frutales. La ganadería y la producción de lácteos también son actividades económicas importantes. Además, el municipio cuenta con pequeñas industrias y comercios locales que contribuyen a la economía. (Gobernación de Cundinamarca ., s. f.)

Ilustración 4. Localización de municipio de Quetame Cundinamarca.

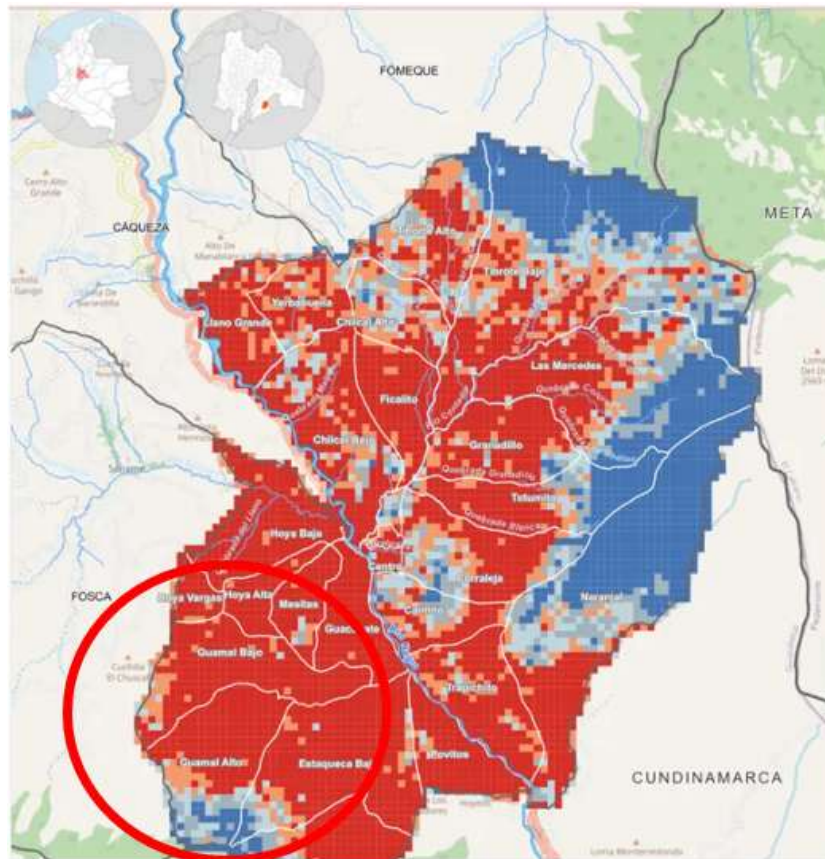


Fuente: Google Maps (2025)

La cultura de Quetame está marcada por sus tradiciones y festividades religiosas. Las fiestas en honor a San Roque y la Virgen del Carmen son eventos destacados que reúnen a la comunidad. La música, la danza y las artesanías locales son aspectos importantes de la vida cultural del municipio.

Es un destino atractivo para el turismo rural y ecológico. Entre los lugares de interés se encuentran el Cerro de Monserrate, que ofrece vistas panorámicas del municipio y sus alrededores, y las diversas rutas de senderismo que permiten a los visitantes explorar la belleza natural de la región. El municipio también cuenta con fincas y haciendas que ofrecen alojamiento y actividades recreativas. (Gobernación de Cundinamarca ., s. f.)

Ilustración 5. Localización de las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, respecto al Municipio de Quetame.



Fuente: reliefweb (2024)

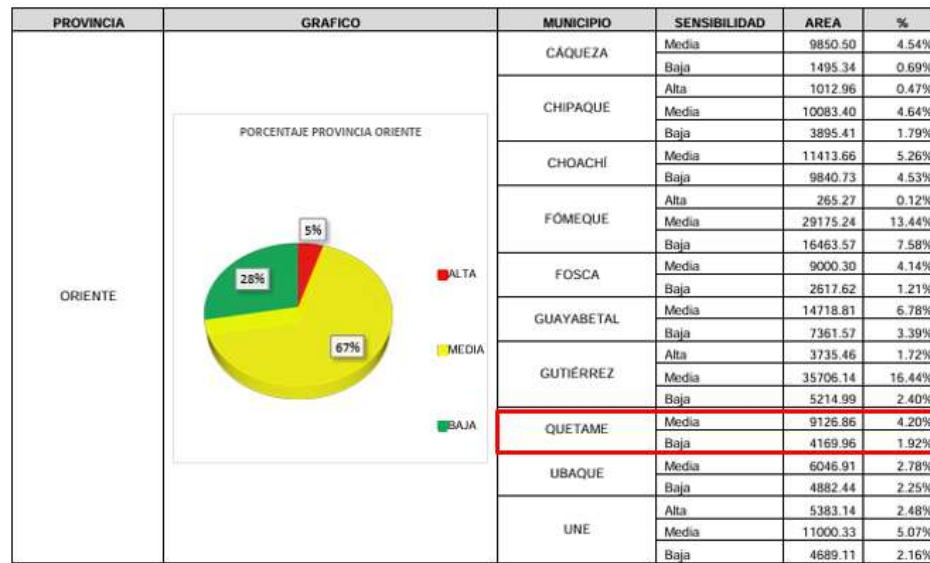
De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial, el municipio Está conformado por 25 veredas, según este documento, estas son las veredas del municipio: Caimito, Chilcal Alto, Chilcal Bajo, Corraleja, Estaqueca Alto, Estaqueca Bajo, Ficalito, Granadiillo, Guacapate, Guamal Alto, Guamal Bajo, Hoya Alta, Hoya Baja, Hoya Vargas, Las Mercedes, Llano Grande, Mesitas, Naranjal, Povitos, Tibrote Alto, Tibrote Bajo, Totumito, Trapichito, Yerbabuena, Centro y Puente Quetame. Las veredas de Guamal Alto y Guamal Bajo, se encuentra la parte inferior izquierda del municipio.

8.2. Análisis de Riesgo y Cambio Climático

A través de este análisis se reconoce cual es la frecuencia e intensidad de precipitación y “sequías” para el departamento de Cundinamarca, lo ideal es relacionar estos eventos extremos con zonas en condición de Riesgo.

Índice de sensibilidad ambiental 2010: Esta variable representa una calificación cualitativa de la sensibilidad del territorio colombiano (muy alta, alta, moderada, baja y susceptible) en función de las peores condiciones o escenarios climáticos futuros. Las variables empleadas para obtener el índice sensibilidad ambiental o biofísica (ISA) fueron las pendiente y profundidad efectiva a partir del mapa de suelos, el índice de aridez, los ecosistemas según su grado de transformación y degradación, las coberturas en función de la protección de otros recursos naturales y la erosión en zonas secas. Estas variables utilizadas se tomaron con igual peso a partir del promedio simple. El departamento de Cundinamarca se encuentra clasificado así: índice de sensibilidad muy baja 0.62%, baja 22.15%, media 64.62% y alta 12.61% según gráfico N1. (Gobernación de Cundinamarca, s. f.)

Gráfico 1. Índice de Sensibilidad al Cambio Climático por Provincias.



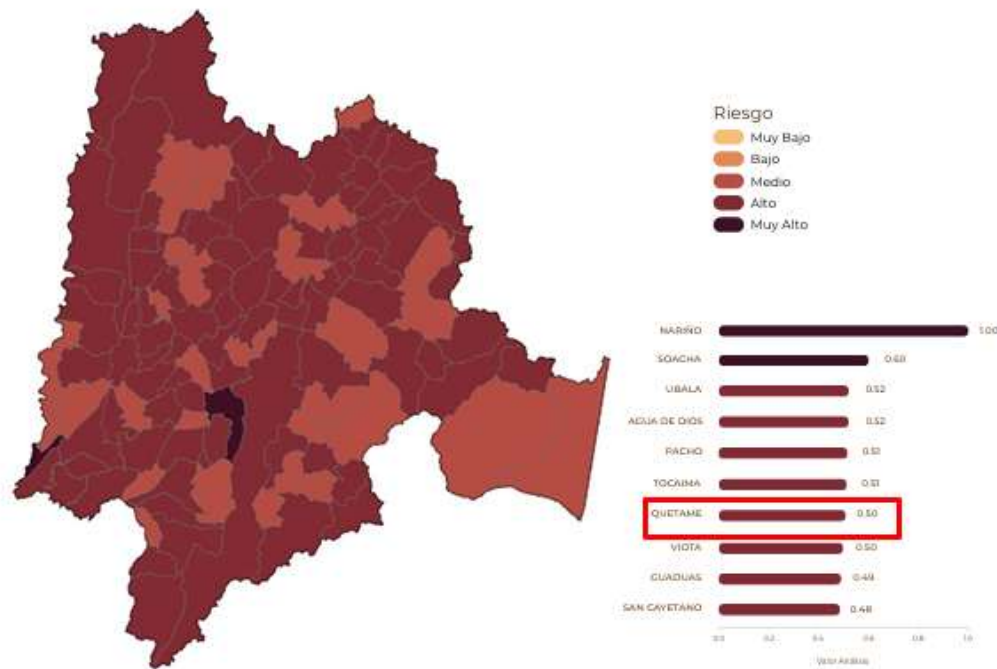
Fuente: Gobernación de Cundinamarca.

Esta distribución sugiere que Quetame, dentro de la provincia del Oriente, no es de los municipios más críticos en términos de vulnerabilidad biofísica; sin embargo, parte de su territorio sí presenta condiciones que demandan estrategias de adaptación y uso sostenible, especialmente en las zonas de sensibilidad media.

Según el análisis departamental de vulnerabilidad y riesgo frente al cambio climático para el sector agropecuario del departamento de Cundinamarca, Quetame exhibe un valor de riesgo y vulnerabilidad de nivel intermedio dentro de Cundinamarca como se observa en la ilustración No.5. por debajo de municipios como Nariño, Agua de Dios y Soacha, que presentan niveles más críticos. Esta clasificación sugiere que, aunque el municipio no enfrenta las condiciones de mayor amenaza, sí demanda medidas de prevención y gestión del riesgo que incluyan la adaptación a cambios climáticos y la planificación territorial sostenible. Al no ubicarse en la franja de mayor criticidad, Quetame cuenta con la oportunidad de reforzar su infraestructura y promover acciones

que fortalezcan la resiliencia de la población y del entorno a largo plazo. (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), 2020)

Ilustración 6. Vulnerabilidad Por Cambio Climático



Fuente: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), 2020.

Según el POT se realiza una identificación de los riesgos naturales a los que está expuesto el municipio, destacándose la susceptibilidad a movimientos de remoción en masa, debido a la topografía predominantemente quebrada y la presencia de zonas con pendientes pronunciadas. Se mencionan también riesgos relacionados con incendios forestales y otros eventos geotécnicos que afectan la estabilidad del suelo. Para ello, se utiliza una metodología basada en la superposición de mapas temáticos que integran datos cartográficos, estudios de suelo y registros históricos, lo que permite delimitar áreas críticas y cuantificar la exposición de infraestructuras, actividades productivas y población.

En cuanto al cambio climático, el documento examina cómo las variaciones en los patrones de precipitación y temperatura pueden incidir en la dinámica del territorio. Se destaca que la región, caracterizada por una alta pluviosidad (entre 1.800 y 4.000 mm anuales), podría experimentar cambios en la intensidad y distribución de las lluvias, lo cual incrementaría el riesgo de inundaciones y afectaría la recarga de los acuíferos. Estas alteraciones, a su vez, pueden repercutir en la estabilidad del suelo y en la disponibilidad de agua, aspectos críticos tanto para el consumo humano como para la producción agropecuaria.

Además, se proponen medidas de mitigación y adaptación orientadas a reducir la vulnerabilidad del territorio. Entre estas medidas se encuentran el diseño e implementación de sistemas de alerta temprana, la adopción de prácticas de conservación del suelo y la reestructuración del uso del territorio para minimizar la exposición de áreas críticas. También se enfatiza la necesidad de incorporar tecnologías de monitoreo continuo, que permitan anticipar cambios en las condiciones climáticas y responder de forma oportuna a posibles emergencias. (POT,2020)

8.2.1. Clima y Precipitación

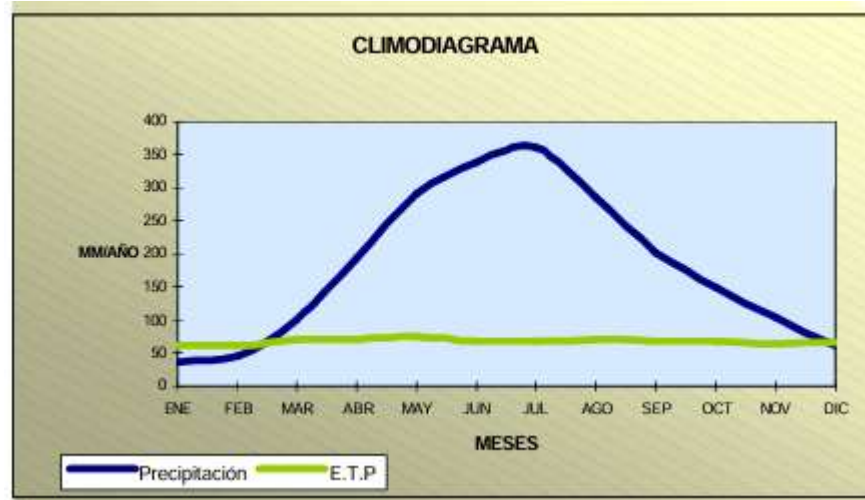
Tabla 1.Datos climáticos de la zona.

PARAMETRO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Temperatura	22.2	21.9	22.2	21.6	21.6	21.4	21.3	21.4	21.9	21.8	21.2	21.6	
Precipitación	37	45	101	193	290	340	360	285	203	149	103	61	2167.0
E.T.P	62	61	70	71	74	67	67	71	69	68	64	66	816.9
Excedente	-25	-16	31	122	224	273	293	214	134	81	39	5	4363.0

Fuente: Eslava y Olaya 1.986.

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial.

Gráfico 2. Escenarios de precipitación: con tendencia a disminuir.



Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial.

De acuerdo con la tabla y el climodiagrama, establecida por Eslava y Olaya, Quetame presenta un régimen pluviométrico con precipitaciones anuales que superan los 2.100 mm, distribuidas de manera desigual a lo largo del año. Los meses más secos son enero, febrero y diciembre, con valores inferiores a 70 mm, mientras que el período más lluvioso abarca de abril a agosto, con picos máximos en junio (340 mm) y julio (360 mm). La evapotranspiración (ETP) se mantiene relativamente constante en torno a 60-70 mm mensuales, generando un excedente hídrico marcado en los meses centrales del año. En consecuencia, la disponibilidad de agua es alta durante la mayor parte del ciclo anual, lo que resulta favorable para actividades agropecuarias, pero también incrementa la probabilidad de riesgos asociados a la alta humedad, como deslizamientos en zonas de pendiente.

El clima de una región está determinado por condiciones atmosféricas únicas a lo largo del tiempo. El clima tiene un impacto significativo en muchos aspectos de la vida humana, por lo que es esencial estudiar regiones con climas diversos (Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca, 1990).

Además, el clima está estrechamente vinculado a la geografía, lo que afecta la distribución de la población. El clima generalmente afecta el tipo de suelo y vegetación y el uso del suelo. Esto afecta también a la actividad física y material, tanto incrementándola como disminuyéndola, así como a las acciones humanas.

Las actividades humanas también afectan al clima en determinados casos. El análisis climático de Quetame utiliza datos meteorológicos del anuario estadístico del gobierno de Cundinamarca y estaciones meteorológicas locales y circundantes.

Los cambios climáticos causados por los fenómenos naturales afectan de forma significativa la fauna y la flora, el comportamiento de los ecosistemas y el equilibrio ecológico del municipio. Esto debe afectar la base de recursos ecológicos y económicos de la región.

Así, la información precisa sobre los efectos de actividades que incluyen la explotación, uso, manejo o alteración de los recursos (Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca, S/F).

Impacto del fenómeno de El Niño

Dependiendo de la distancia a las principales zonas urbanas, las precipitaciones pluviales proporcionan nutrientes vitales a los bosques. Durante los períodos de El Niño, las precipitaciones disminuyen, lo que reduce el aporte nutricional y altera los ciclos de macronutrientes (Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca, S/F).

Dado que el potasio ingresa al suelo forestal principalmente a través de la lluvia y la descomposición mineral, es posible que el ciclo del potasio haya sido dañado durante esos períodos. Las lluvias enriquecen el suelo con nitrógeno y azufre, disuelven iones de amonio y nitrato, limitando el crecimiento de los árboles, mientras incorporan el segundo al suelo.

Impacto del fenómeno de la Niña.

Durante La Niña, las precipitaciones aumentan, acelerando los procesos de erosión. Entre los factores que contribuyen a esta situación se encuentran las actividades agrícolas y forestales en sectores inadecuados o sin las técnicas adecuadas. El análisis reveló áreas afectadas por la nebulización del aire libre.

Con precipitaciones prolongadas o intensas, puede destruir agregados del suelo, aumentar la socavación en áreas inclinadas, extraer nutrientes como calcio, magnesio y potasio y erosionar el suelo físico. Inicialmente, el daño ocurre en el suelo, pero es importante recordar que el recurso depende de comunidades de especies vegetales y animales, agua y esenciales en los ecosistemas forestales de la región.

Sin embargo, la situación empeora ya que estos fenómenos han ganado intensidad y duración en los últimos años y es probable que persistan. La altitud afecta más a la temperatura ambiente. (Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca, S/F).

8.3. Ecosistemas

La clasificación agrologica es un aspecto también relevante de los suelos ya que las características de los mismos a nivel de asociación o de serie, son la base para determinar el agrupamiento de las tierras por su grado de capacidad (clase). Tales características traducidas a términos más generales, configuran tres condiciones que determinan la capacidad física de la tierra para uso agrario las cuales son: La productividad, La cualidad de laboreo, La cualidad de conservación.

En este tipo de agrupamiento se establecen 8 categorías a nivel de clase, conforme a las normas contenidas en el manual 210 del servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos.

Las tierras de las primeras 4 clases son apropiadas para ser cultivadas y producir cosechas remunerativas, aplicando buenas prácticas de manejo; la producción y eficacia de la clase I es mayor que en la IV, pues en la medida que aumentan los rendimientos lo hacen sus limitaciones. Las clases V, VI y VII son aptas para el desarrollo de plantas nativas de la zona y eventualmente para pastos y bosques. La clase VIII requiere prácticas demasiado costosas para su recuperación y por tanto no ofrece utilidad inmediata, excepto la de proteger la fauna silvestre y otros recursos renovables de la naturaleza. Como se aprecia en la tabla N° 2. se delimitaron las siguientes clases agrológicas: conocido por su biodiversidad y su fragilidad, enfrentando amenazas como la deforestación, la fragmentación y la pérdida de biodiversidad.(Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Tabla 2.Clasificación agrológica.

CLASE AGROLOGICA	AREA	(%)
IV	252.17	1.80
VI	5061.51	36.55
VII	7794.03	56.30
VIII	739.51	5.30
TOTAL	13847.22	100.00

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial.

La Clase IV con 252.17 ha (1.80% del área total en estudio), se localiza en sectores de las veredas Caimito, Povitos, Trapichito, Chilcal Bajo, Llano Grande, Tibrote Bajo y Las Mercedes.

La clase VI tiene una extensión de 5061.51 ha, correspondiente al 36.55% del área total. Se ubica en Las veredas Llanogrande, Yerbabuena, Tibrote Alto y Bajo, Chilcal Alto y Bajo, Ficalito, Las Mercedes, Granadillo, Totumito, Corraleja, Caimito, Povitos, Trapichito, Naranjal, Guacapate, Mesitas, Guamal Bajo, Hoya Alta y Hoya Baja.

La clase VII alcanza un área de 7794 ha que representan el 56.3 % de la extensión total del territorio, siendo la mas extensa; se encuentra en la totalidad de las veredas Hoya Vargas y

Estaqueca Alto y Bajo, y en parte de Guamal Alto y Bajo, Hoya alta y Baja, Guacapate, Naranjal, Corraleja, Totumito, Granadillo, Las Mercedes, tibrote Bajo y Yerbabuena y en pequeños sectores de Mesitas, Caimito, Tibrote Alto, Chilcal Alto y Bajo, y Llano grande.

La clase VIII con 739.51 ha correspondientes al 5.30%, se encuentra en las veredas Las Mercedes, Tibrote Bajo, Guamal Alto y Hoya Baja.(Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

9. Disponibilidad de Agua y Balance Hídrico

La red hidrográfica del municipio tiene como cuenca principal la del río Negro que es afluente del Río Guayuriba. La principal microcuenca que llega al río Negro es la del Río Contador, que cubre un área total de 5789 Has, al cual llegan las Quebradas Negra, Caballo Viejo, Granadillo, Blanca, La Colmena, De Pinos, San José y Colorada entre sus principales efluentes. La cuenca de la quebrada Estaqueca a la cual confluyen la Q. La Laja. La microcuenca de la Q. La Quiña, que comprende las veredas de Guamal Alto y Guamal Bajo, a la cual confluye la Q. Honda. En el mapa de recursos hídricos y cuencas hidrográficas se presenta la división y clasificación y de las cuencas hidrográficas presentes en el municipio. Debido a las características del clima y el relieve, la red hidrográfica es muy diversificada. En todo el municipio abundan las quebradas que generalmente se unen entre sí para desembocar en el Río Contador o cursos mayores de caudal permanente y abundante como el río Negro, que finalmente desaguan al embalse a un cauce mayor el cual es afluente del Río Orinoco De acuerdo con lo anterior en el municipio se puede decir que existe una gran cuenca hidrográfica la cual corresponde a la cuenca media del Río Negro a la cual confluyen más del 50% de los drenajes del municipio. De otro lado, al interior del área del Quetame se encuentra la Subcuenca del Río Contador que está contenida desde su nacimiento hasta su desembocadura siendo esta uno de los principales afluentes de la cuenca del Río Negro.(Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

9.1. Oferta y Demanda Hídrica

Se define la Oferta y Demanda Hídrica como la cuantificación de las necesidades de humedad del suelo, lograda mediante el cómputo de la precipitación versus la evapotranspiración y considerando la capacidad de almacenamiento del suelo. En el caso del municipio, se registró una precipitación anual total de 2167 mm y una evapotranspiración de 816.9 mm, lo que genera un “excedente” que, aunque indica periodos de alta disponibilidad de agua, varía mensualmente. Sin embargo, se advierte que el incremento poblacional y el mayor requerimiento para acueductos, riegos y otros usos podrían, a lo largo de las próximas décadas, reducir la oferta de agua y aumentar la presión sobre este recurso, tornándolo potencialmente escaso y costoso.

En cuanto a las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, el documento las ubica dentro del piso bioclimático sub andino y el Bosque Muy Húmedo Premontano, donde se registran precipitaciones anuales entre 2000 y 4000 mm y temperaturas promedio entre 18 y 24°C. Esto sugiere que, actualmente, la oferta hídrica en estas veredas es elevada; sin embargo, se subraya que la presión por actividades agropecuarias, la deforestación y el uso inadecuado del suelo podrían modificar este equilibrio, afectando tanto la cantidad como la calidad del recurso hídrico en el futuro. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

9.2. Acueductos en zonas rurales.

En las veredas de Estaquecá Bajo y Guacapate existen acueductos rurales cuya única función es abastecer de agua a un mayor número de viviendas; sin embargo, carecen de la infraestructura adecuada para garantizar su calidad.

El acueducto de la vereda Estaquecá Bajo opera mediante un sistema de gravedad y se encuentra en condiciones regulares debido a las constantes crecientes de la quebrada y la inestabilidad del terreno sobre el cual está construido.

Las demás veredas no cuentan con este servicio, lo que obliga a la comunidad a obtener agua a través de aljibes, pozos o directamente desde las quebradas utilizando redes de mangueras.

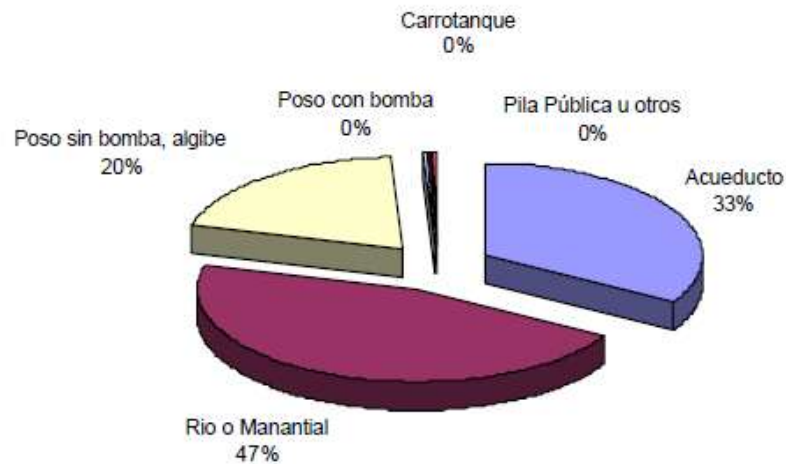
Cabe destacar que las infraestructuras de abastecimiento de agua en las zonas rurales no cumplen con los requisitos técnicos mínimos, ni cuentan con una asociación de usuarios ni normativas que regulen su uso o establezcan tarifas para su mantenimiento. Además, no existe un sistema de tratamiento que garantice la potabilización del agua, ya que solo se dispone de estructuras básicas para la captación, conducción, almacenamiento y distribución del recurso.

Tabla 3. Abastecimiento de agua de las viviendas

VEREDA	ABASTECIMIENTO AGUA						TOTAL
	Acueducto	Rio o Manantial	Poso sin bomba, lagibe	Poso con bomba	Carrotanque	Pila Pública u otros	
Las Mercedes	0	14	1	0	0	0	15
Puente Quetame	130	1	0	0	1	0	132
Guamal Alto	0	31	8	0	0	0	39
Hoya Vargas	0	6	9	0	0	0	15
Estaqueca Bajo	1	46	6	0	0	1	54
Totumito	0	8	5	0	0	0	13
Tibrote Alto	0	33	1	0	0	0	34
Hoya Baja	4	44	23	0	0	0	71
Granadillo	0	21	4	0	0	0	25
Quetame	196	3	3	1	2	0	205
Estaqueca Alto	0	24	6	0	0	0	30
Chilcal Alto	13	3	11	0	0	0	27
Naranjal	0	15	12	0	0	1	28
Guamal Bajo	1	36	16	0	0	1	54
Caimito	0	17	6	0	0	0	23
Povitos	1	14	19	0	0	0	34
Ficalito	0	25	5	0	0	0	30
Guacapate	3	56	29	0	0	2	90
Tibrote Bajo	1	51	6	0	0	0	58
Trapichito	0	34	16	0	0	0	50
Mesitas	0	19	13	0	0	0	32
Corraleja	4	20	6	0	0	0	30
Yerbabuena	8	5	7	0	0	0	20
Chilcal Bajo	25	11	14	0	0	0	50
Llano Grande	15	5	11	0	0	0	31
Hoya Alta	0	10	6	0	0	0	16
TOTAL	402	552	243	1	3	5	1206

Fuente: Sisben 2018.

Gráfico 3.Fuentes de abastecimiento de agua.



Fuente: Sisben 2018

Las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo enfrentan serias deficiencias en el acceso a agua potable. Guamal Alto carece totalmente de acueducto, lo que obliga a la mayoría de sus habitantes a abastecerse de ríos o manantiales sin tratamiento, mientras que Guamal Bajo cuenta con un acueducto veredal insuficiente, dejando a gran parte de la población en condiciones similares. La alta dependencia de fuentes naturales sin procesos de potabilización representa un riesgo sanitario y evidencia la necesidad urgente de implementar un sistema de acueducto eficiente que garantice agua segura y de calidad para ambas comunidades.

9.3. Calidad de Agua

El POT señala que la calidad del recurso se ve afectada por factores como las descargas de aguas residuales, la contaminación de los cauces por actividades agropecuarias y el manejo inadecuado del uso del suelo, lo que repercute tanto en la salud pública como en la disponibilidad de agua apta para usos múltiples. En particular, estos aspectos se comentan de forma integrada en la sección de “Recursos Hídricos” y “Usos del Agua” donde se enfatiza la necesidad de implementar medidas de protección y tratamiento para mitigar estos impactos. (POT,2020)

Para el municipio de Quetame en general, este diagnóstico sugiere que, si bien la oferta hídrica es elevada debido a las altas precipitaciones, la calidad del agua puede estar comprometida en ciertos sectores, lo que implica desafíos para garantizar un abastecimiento seguro y sostenible. En las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, que se encuentran dentro de un área con abundante recurso hídrico, se destaca que las presiones derivadas de la actividad agropecuaria y la deforestación pueden deteriorar la calidad del agua, haciendo imperativo considerar sistemas de tratamiento y protección en cualquier propuesta de infraestructura, como un acueducto rural.

Estos hallazgos subrayan la importancia de integrar estrategias de conservación y tratamiento del agua en los proyectos de desarrollo territorial para asegurar que el recurso, además de ser abundante, sea de calidad adecuada para satisfacer las necesidades de la población y las actividades productivas

Según el Informe del Índice de Riesgo de Calidad del Aire (IRCA) en las zonas urbanas y rurales del año 2023, para el municipio de Quetame, se encuentran los valores reflejados en la Tabla No.4.

Tabla 4. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Quetame Cundinamarca.

Cundinamarca											
Municipios		IRCA									
		2020		2021		2022		2023*			
		Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano		
Quetame		s.n.m.	18.2	s.n.m.	16.4	s.n.m.	14.1	s.n.m.	5		
Nivel de riesgo		Sin riesgo		Bajo		Medio		Alto		Inviabile sanitariamente	
2023* = Dato con corte al 15-nov-2023 s.n.m. = sin notificación de muestras en SIVICAP Fuente: SIVICAP-INS											

Fuente: Informe Nacional del Índice de Riesgo de la Calidad del agua potable (2020-2023)

De los anteriores datos, se analiza que La mejora en el IRCA del área urbana, que pasa de un nivel medio (18.2) en 2020 a uno sin riesgo (5) en 2023, sugiere acciones positivas en cuanto a

tratamiento o control de la calidad del agua, o mejores condiciones de la fuente y la red de distribución.

La falta de datos para el sector rural dificulta la formulación de conclusiones sobre la calidad del agua en veredas como Guamal Alto y Guamal Bajo. Sería recomendable realizar monitoreos regulares para contar con un panorama integral.

El índice de 5 en 2023, que se clasifica como “sin riesgo”, contrasta con la mención de “inviabile sanitariamente” en algunos reportes; esto podría deberse a inconsistencias en la captura de la información o al uso de bases de datos parciales. En todo caso, el valor IRCA=5 es indicativo de muy buena calidad del agua según la escala oficial.

10. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS

10.1. Geología

El Esquema de Ordenamiento Territorial señala que la geología del municipio de Quetame está caracterizada por una compleja estratigrafía dominada por materiales sedimentarios, aunque también se identifican zonas con rocas metamórficas y algunos depósitos volcánicos, abarcando desde el Precámbrico hasta el Cretácico inferior. En este contexto se describe la presencia de fallas y fracturas; en particular, se identifica un alineamiento en las rocas del grupo Caqueza, interpretado como una fractura fosilizada, lo que indica que, a pesar de la complejidad geológica, la actividad tectónica actual es baja y el riesgo sísmico se mantiene moderado o incluso reducido. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

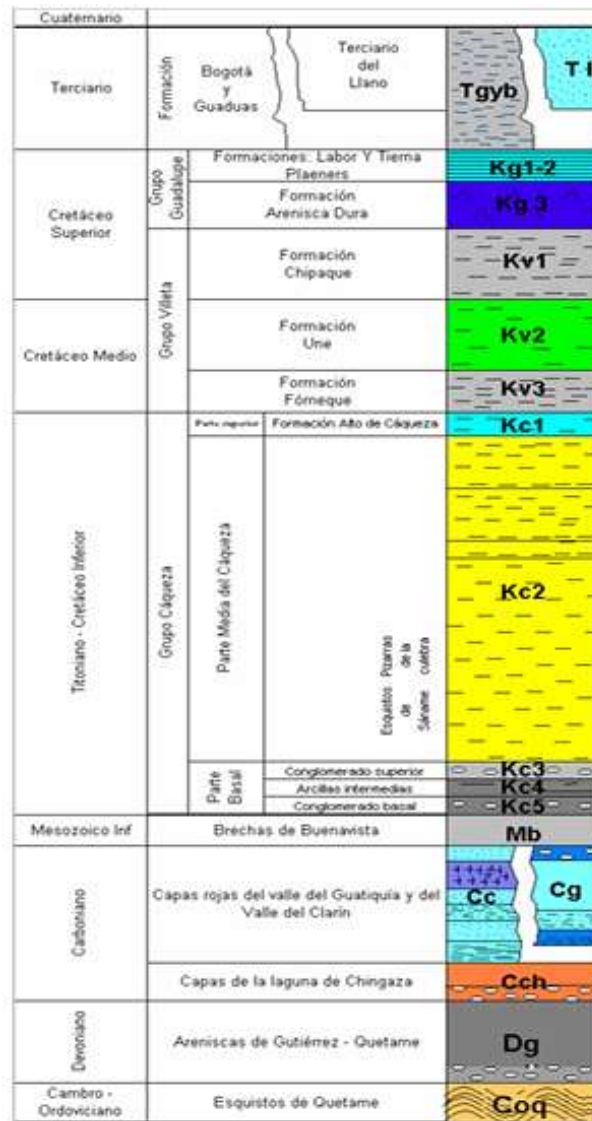
En relación con las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, el documento destaca que estas áreas rurales se ubican en zonas donde predomina la geología sedimentaria, lo que se traduce en suelos con potenciales problemas de erosión y una mayor susceptibilidad a movimientos de remoción en masa, dada la topografía quebrada y las pendientes pronunciadas características de la

región. Estas condiciones geológicas afectan directamente la estabilidad del suelo y la capacidad de retención hídrica, lo que resulta crucial para el diseño de infraestructura como acueductos rurales y para la planificación del uso del suelo. A nivel regional, la actividad tectónica en Quetame es relativamente baja, y se ha identificado en la zona un alineamiento en las rocas del grupo Caqueza, interpretado como una fractura fosilizada. En lo que respecta específicamente a las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, si bien no se reportan fallas activas significativas que generen un riesgo sísmico elevado, estas áreas se caracterizan por una geología sedimentaria donde se aprecian discontinuidades estructurales derivadas de procesos antiguos. Dichas estructuras pueden influir en la estabilidad del terreno, incrementando la susceptibilidad a procesos erosivos y a movimientos de remoción en masa, especialmente en un relieve quebrado y con pendientes pronunciadas, características propias de estas veredas. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Adicionalmente, se incluye en el informe la presentación de mapas temáticos que ilustran la distribución de las formaciones geológicas, la zonificación de pendientes y la erosión, lo cual permite visualizar con detalle las áreas de mayor vulnerabilidad. Estos mapas, presentados en secciones de cartografía, evidencian que en las zonas correspondientes a Guamal Alto y Guamal Bajo se encuentran las condiciones geológicas que podrían favorecer procesos erosivos y movimientos de remoción en masa, factor a tener en cuenta en el ordenamiento territorial y en el diseño de proyectos de infraestructura. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Las unidades estratigráficas que afloran en el municipio de QUETAME, se han agrupado en términos generales en: Rocas metamórficas de Paleozoico Inferior, Rocas estratificadas del Paleozoico superior, Rocas estratificadas del Mesozoico, Depósitos no consolidados del Cuaternario.

Ilustración 7. Estratigrafía de Quetame Cundinamarca y zonas aledañas.



Fuente: INGEOMINAS

Las formaciones rocosas presentes en la zona de estudio de las más antiguas a las más recientes, pueden ser observadas en la tabla N° 5, donde se describen y especializan.

Tabla 5. Formaciones Geológicas en Quetame Cundinamarca.

DESCRIPCIÓN	CODIGO	Area (ha)	%
Grupo Quetame	(Peq)	306.38	2.22
Formación Areniscas de Gutiérrez	(Dg)	5498.55	39.72
Formación Quebrada Honda	(Jqh)	2079.72	15.05
Formación Caqueza Inferior	(Kie)	5322.58	38.45
Depósitos Cuaternarios	(Q)	498.44	3.56
Flujos de Lodos Antiguos	(Qf)	29.94	0.22
Terrazas Altas	(Qt)	108.62	0.78
TOTAL		13847.22	100.00

Fuente: INGEOMINAS

10.1.1. Litología

La litología del municipio de Quetame se caracteriza por la presencia predominante de rocas sedimentarias, complementadas con unidades que han experimentado alteración metamórfica en algunos sectores. Estas formaciones se originaron en diferentes periodos geológicos, lo que ha dado lugar a una diversidad de tipos rocosos como areniscas, lutitas y conglomerados que han influido decisivamente en la configuración del relieve y en las propiedades edáficas del territorio. calizas, ente otros. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Tabla 6. Litoestratigrafía de la zona.

Periodo	Descripción	Area (ha)	%
CUATERNARIO	Conglomerado de Bloques y Guijarros	744.37	5.3
	Depósitos Coluviales	58.02	0.42
	Depósitos Aluviales (Vegas: Cantos heterométricos)	848.24	6.1
	Conglomerado de calizas y margas	1561.46	11.28
	Terrazas (Esquistos y arcillas)	51.85	1.09
	Lutitas y areniscas	1561.46	11.28
CRETACICO	Areniscas cuarcíticas	5348.61	38.3
	Pizarra gris e intercalaciones de arenisca	2159.24	15.6
PALEOZOICO			
TOTAL		13847.22	100.0

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018

La variabilidad litológica contribuye a definir la capacidad de retención de agua y la susceptibilidad a procesos erosivos, aspectos críticos para la planificación territorial. En particular, en las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo se observa que la litología es esencialmente sedimentaria. Las formaciones presentes en estas áreas, compuestas mayormente por areniscas y lutitas, se caracterizan por una estructura heterogénea, con discontinuidades y fracturas que influyen en la estabilidad del suelo. Estas características, unidas a la topografía quebrada y las

pendientes pronunciadas de la zona, hacen que dichos suelos sean más propensos a la erosión y a movimientos de remoción en masa, lo que representa un factor relevante para el diseño de infraestructura, como el acueducto rural. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Tabla 7. Litología de Quetame según estudios sísmico de Cundinamarca.

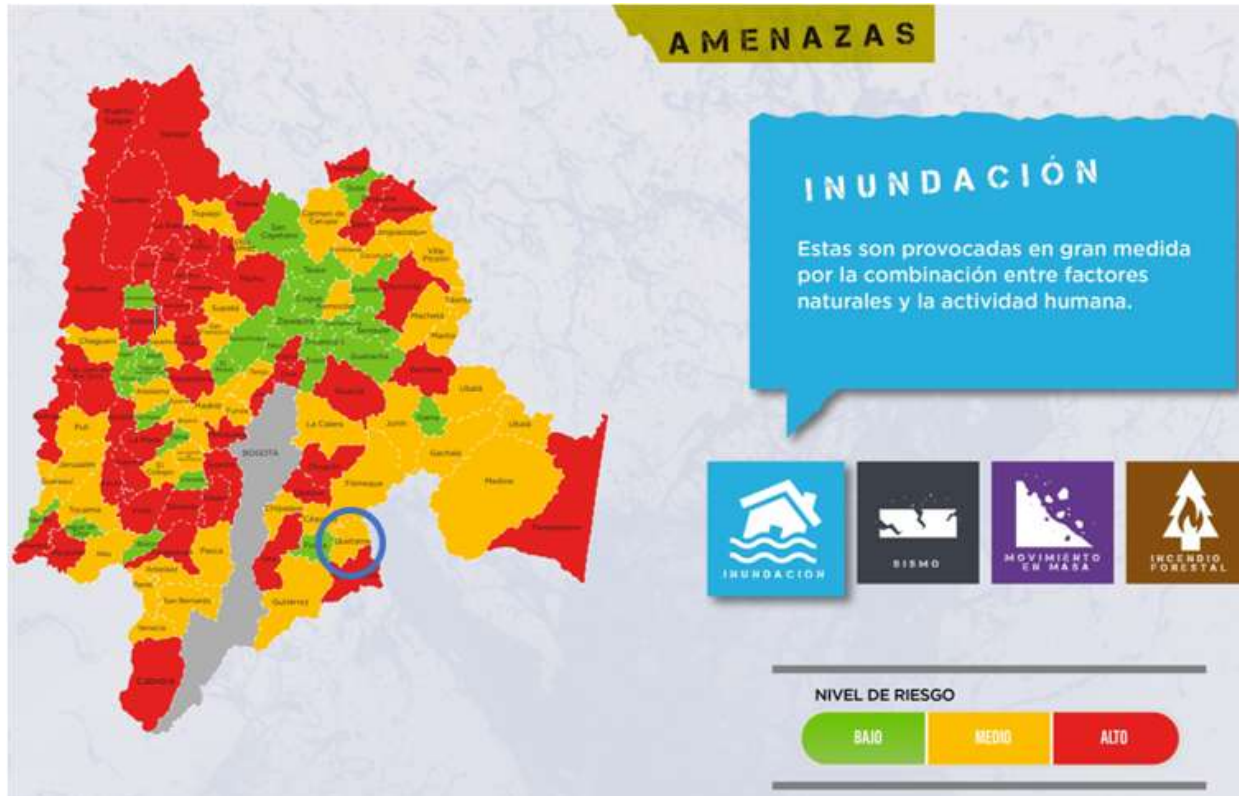
Clase litológica	Unidad litológica predominante	Cod	Descripción	Unidad estratigráfica agrupada
Depósitos inconsolidados	Aluviales y lacustres	Dal	Depósitos de composición heterogénea y tamaño heterosimétrico, de forma subredondeada, en matriz arena limosa, con núcleos de arenas, limos y arcillas	Terrazas de conos de deyección y derrubios con aluviones recientes
Rocas sedimentarias	Lutitas, silíceo-clásticas, (arcilla) lodolitas y limolitas	L2	Secuencias alternantes de lodolitas estratificadas en capas delgadas a muy gruesas, con intercalaciones de areniscas cuarzosas, ocasionalmente arcillosas y feldespáticas, calizas, limolitas y arcillolitas silíceo calcáreas	Formaciones: Lutitas de Macanal y Chipaque
Rocas sedimentarias	Intercalaciones calcáreas, clásticas, calizas, conglomerados, lutitas y margas	14	Alternancia de calizas, conglomerados polimicticos, margas, arcillolitas y limolitas. En estratigrafía delgada a gruesa con intercalaciones de areniscas.	Formaciones: Fomeque
Sedimentarias - metamórficas	Metasedimentarias	m	Alternancia de cuarcitas, esquistos de composición clorítica, filitas y metlimolitas, con intercalaciones de metaareniscas y metaconglomerados	Grupo Quetame

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018

Se muestra un predominio de rocas sedimentarias con evidencias de alteración, cuya distribución y características estructurales impactan directamente en la dinámica del suelo y en la estabilidad de áreas críticas, especialmente en las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo.

10.1.2. . Principales Amenazas en Quetame Cundinamarca.

Ilustración 8. Índice de amenaza de Inundación en Quetame, respecto al Departamento.



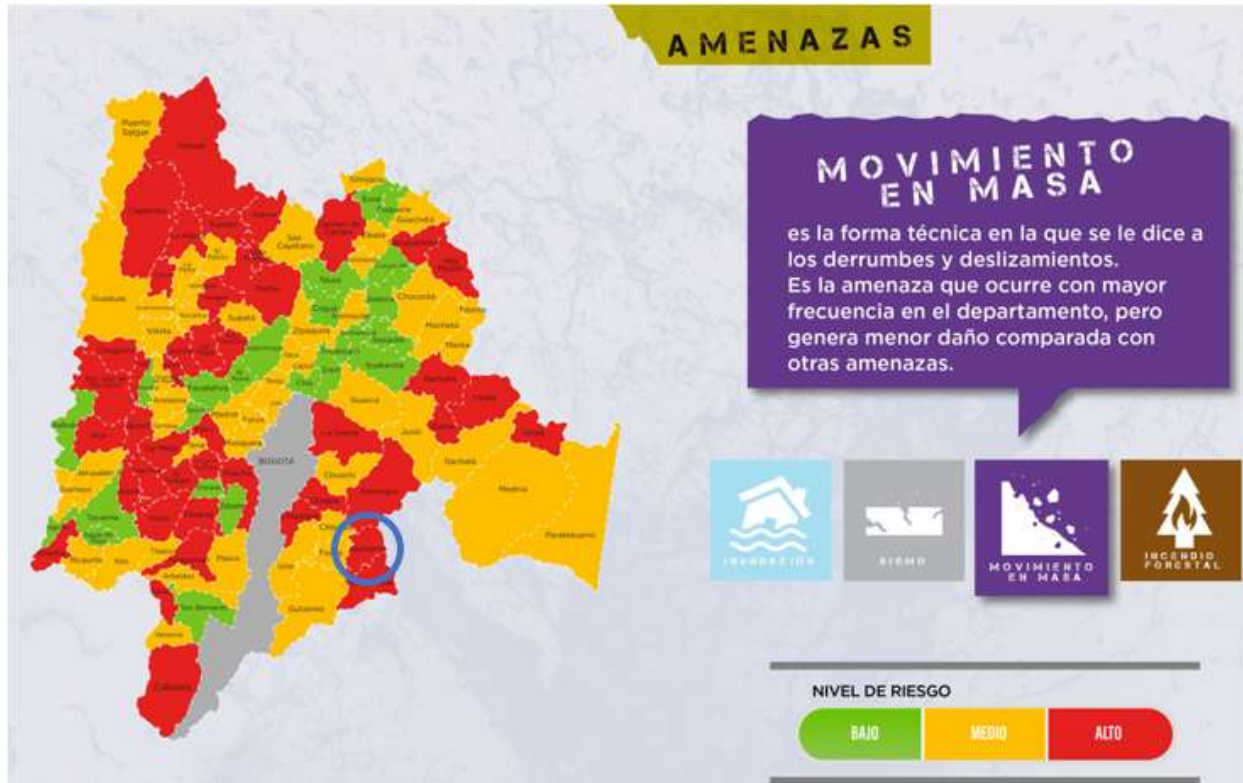
Fuente: Gestión de Riesgo de la Gobernación de Cundinamarca (s.f)

Ilustración 9. Índice de amenaza de Sismo en Quetame, respecto al Departamento.



Fuente: Gestión de Riesgo de la Gobernación de Cundinamarca (s.f)

Ilustración 10. Índice de amenaza de Movimiento en masa en Quetame, respecto al Departamento.



Fuente: Gestión de Riesgo de la Gobernación de Cundinamarca (s.f)

Ilustración 11. Índice de amenaza de Incendio Forestal en Quetame, respecto al Departamento.



Fuente: Gestión de Riesgo de la Gobernación de Cundinamarca (s.f)

Quetame se enfrenta a múltiples amenazas naturales que requieren estrategias integrales de prevención y mitigación. La configuración geográfica del municipio, con zonas planas próximas a ríos y quebradas y áreas de pendientes pronunciadas, incrementa significativamente el riesgo de inundaciones. Durante épocas de lluvias intensas, estos factores se combinan con procesos de deforestación y cambios en el uso del suelo, facilitando la ocurrencia de crecidas y desbordamientos que pueden afectar tanto la infraestructura como la seguridad de los habitantes.

La amenaza sísmica en la región es igualmente preocupante. Ubicado en una zona de alta actividad tectónica, Quetame ha experimentado eventos que evidencian su vulnerabilidad, como el sismo de 2008, que dejó daños considerables. La presencia de fallas activas y la existencia de construcciones que en algunos casos no cumplen con las normas sismo-resistentes exigen una actualización de los protocolos de construcción y la implementación de planes de emergencia sólidos para minimizar los efectos de futuros movimientos telúricos.

Además, la topografía montañosa del municipio propicia la inestabilidad de las laderas, lo que puede dar lugar a movimientos en masa, como deslizamientos y derrumbes, especialmente durante períodos de fuertes lluvias o tras un sismo. La identificación precisa de estas zonas de riesgo y la restricción de construcciones en áreas inestables son medidas fundamentales para prevenir desastres asociados a este tipo de fenómenos.

Por último, los incendios forestales representan una amenaza de alto nivel en Quetame. Las condiciones secas, sumadas a una vegetación que puede propagarse rápidamente y a prácticas agrícolas inadecuadas, favorecen la aparición de focos de incendio. La implementación de estrategias de monitoreo, junto con campañas de prevención y la gestión adecuada de la vegetación, son acciones esenciales para reducir este riesgo y proteger tanto el entorno natural como a la población.

10.1.3. Zonas Declaradas De Riesgo En El Municipio

El libro de acuerdos municipales revela la existencia del acuerdo 009, expedido el 27 de mayo de 1996, mediante el cual se autoriza al alcalde y al comité local de atención y prevención de desastres para llevar a cabo estudios de riesgo en el municipio y establecer normas sobre el uso de las zonas de riesgo. Dicho acuerdo identifica y delimita diversas áreas del municipio, entre ellas el casco urbano y varias veredas, sectores y barrios, especificando las áreas vulnerables a riesgos naturales. Además, se acordó reubicar o mejorar in situ las viviendas ubicadas en dichas zonas y se facultó al alcalde, durante un año, para que realice estudios técnicos con el apoyo del comité regional de atención y desastres, utilizando los recursos económicos provenientes del Fondo municipal para la atención y prevención de desastres, establecido por el decreto 011 del 13 de julio de 1990.

Este acuerdo no solo establece una estructura clara para la gestión del riesgo, sino que también delimita de manera precisa las áreas con mayor vulnerabilidad, lo que es fundamental para la planificación y toma de decisiones en materia de prevención y respuesta ante desastres. Entre las zonas señaladas, resulta relevante la mención a las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo. En estas se designan áreas que comprenden las riberas de la quebrada El Tunjo y la quebrada Colorada en el caso de Guamal Alto y Bajo, y adicionalmente, en la vereda Guamal Alto se identifica la presencia también de la quebrada Quiñas. Esta distinción sugiere que, a pesar de la proximidad geográfica, existen diferencias en la topografía o en la exposición a riesgos hídricos y de deslizamientos entre las áreas altas y bajas de Guamal, lo cual requiere enfoques diferenciados en la implementación de medidas preventivas. En definitiva, el acuerdo evidencia un esfuerzo coordinado para atender y mitigar los riesgos en zonas críticas, con especial atención a áreas como Guamal Alto y Guamal Bajo, donde la presencia de múltiples quebradas aumenta la vulnerabilidad ante posibles desastres naturales. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

10.2. Geomorfología

La información del Esquema de Ordenamiento Territorial, expone que, para efectos de ordenamiento territorial, los términos "geomorfología" y "fisiografía" se utilizan de manera casi intercambiable. Aunque existen diferencias conceptuales entre ambos, lo esencial es describir, explicar y ubicar espacialmente las formas del relieve, considerando su origen, apariencia y los procesos erosivos que las modifican. Lo importante reside en la aplicación práctica de estos estudios para optimizar el uso del territorio, sin entrar en detalles teóricos excesivos, dado que el objetivo principal es orientar la planificación y la gestión espacial. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Además, se explica que las regiones fisiográficas o naturales constituyen áreas extensas generalmente de cientos de kilómetros cuadrados definidas por la acción predominante de factores naturales sobre su fisonomía. Dichas regiones se caracterizan por la repetición o asociación de relieves y se diferencian según parámetros como la topografía, la forma, la posición relativa y el desnivel. Las formas del relieve, producto de procesos estructurales, erosionales, deposicionales o mixtos, se clasifican en categorías como valles, planicies, altiplanicies, montañas y piedemonte, y se describen en términos de ondulación: plano, ondulado, colinado o escarpado.

En el municipio de Quetame se identifican diversas unidades geomorfológicas, resultado del levantamiento terciario y la dinámica andina. Predomina un paisaje montañoso profundamente disecado, con vertientes cóncavo-convexas que evidencian frecuentes movimientos en masa, como solifluxiones, derrumbes y desprendimientos. En el sector inferior del municipio, el relieve se configura en forma de valle, con pendientes intensas y perfiles cóncavos, donde la acción del río contribuye al socavamiento de las laderas y aumenta la inestabilidad. Se distinguen, en líneas generales, cuatro unidades: divisorias de aguas en alturas superiores a 2.800 m, vertientes de alta pendiente con redes de drenaje densas, formaciones deposicionales (incluyendo terrazas y conos aluviales-coluviales) que agrupan los núcleos poblacionales, y el valle aluvial del río Negro, caracterizado por vegas inundables y procesos de disección intensos. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Dentro de este marco, se detallan diversas categorías de paisajes y unidades de relieve, haciendo especial énfasis en la noción de “ladera”, que designa las superficies inclinadas dominantes en un valle. Estas laderas se subdividen según su inclinación y forma, distinguiéndose entre laderas planas, inclinadas, rectilíneas, convexas y cóncavas, además de identificar depósitos

coluviales y aluviales, escarpes y terrazas, que evidencian la evolución y los procesos erosivos de la región.

En lo que respecta a la geomorfología de las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, se observa una diferenciación inherente a su posición en el relieve. Guamal Alto, situada en una zona de mayor altitud, presenta laderas con características estructurales más estables, en las que los procesos erosivos son menos intensos y la vegetación se conserva en mayor medida, lo que reduce su vulnerabilidad a movimientos en masa. En contraste, Guamal Bajo se encuentra en una posición inferior, donde la acción erosiva se manifiesta de forma más pronunciada; la influencia directa de la dinámica fluvial propicia una mayor incidencia de procesos de remoción de material, tales como desprendimientos y socavamientos, aumentando la susceptibilidad a la inestabilidad. Estas diferencias geomorfológicas exigen la implementación de estrategias diferenciadas en la gestión del riesgo y en el ordenamiento territorial, adaptándose a las condiciones específicas de estabilidad y vulnerabilidad de cada vereda. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Tabla 8. Unidades de Paisaje en Quetame Cundinamarca.

UNIDAD	DIVISION	Area (ha)	%
LADERA	Ladera plana	219.36	1.58
	Ladera plana inclinada	37.50	0.27
	Ladera rectilínea	6.700.44	48.38
	Ladera convexa	805.32	50.82
	Ladera convexa inclinada	901.01	6.50
	Ladera cóncava	11190.02	80.09
	Ladera cóncava inclinada	1107.52	7.99
	DEPÓSITOS	Coluviales	4630.09
Aluviales (Vegas)		65.92	0.48
Escarpe de erosión		2263.01	16.34
Terraza		101.25	0.73
Talud de terraza		63.75	0.46
TOTAL		13.847.22	100.00

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018

10.3. Suelos.

Los suelos constituyen uno de los recursos naturales fundamentales para llevar a cabo la planificación y el ordenamiento territorial. Su análisis proporciona información esencial para determinar la potencialidad, aptitud, así como las restricciones y limitaciones para el uso múltiple de la tierra. En este sentido, el suelo resulta crucial para el desarrollo de actividades económicas importantes en el municipio, como la agricultura y la ganadería. Se forma a partir de la interacción de diversos factores formadores clima, relieve, material parental, organismos y tiempo y de los procesos de formación. En Quetame se predominan suelos relativamente jóvenes o poco evolucionados, pertenecientes principalmente a los órdenes de Entisoles, Inseptisoles y Andosoles. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

La descripción y análisis de los suelos se realizan en función de las unidades climáticas y geomorfológicas definidas. Para cada unidad, se identifican y evalúan sus cualidades y características principales, con el fin de establecer sus potencialidades y aptitud, así como sus limitantes, restricciones y conflictos de uso. Las unidades cartográficas se representan en el correspondiente mapa de suelos, basándose en estudios existentes, revisados y actualizados conforme a los objetivos de planificación y ordenamiento territorial. La tabla N°9 expone las principales características químicas de los suelos analizados, y a continuación se detallan las asociaciones presentes en cada vereda. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Tabla 9.Distribución de los suelos por vereda en Quetame.

Asociación	Código	Area	%	Veredas
CHOCHOS	COef1	1069.84	7.62	Estaqueca Alto y Bajo y Guamal Alto.
	COe	55.35	0.40	Estaqueca Alto y Guamal Alto
	COef	3175.02	22.92	Caimito, Trapichito, Naranjal, Corraleja, Totumito, Granadillo, Las Mercedes y Tibrote Bajo.
REPRESA	REef	1497.91	10.81	Estqueca Alto y Bajo, Povitos, Guamal Alto y Bajo, Guacapate, Caimito, Mesitas, Hoya Baja, alta y Vargas, y Chircal Bajo.
BERMEJAL	BJef1	3650.63	26.36	Hoya Alta y Baja, Guamal Bajo, Mesitas, Guacapate, Povitos, Estaqueca Bajo, Trapichito, Naranjal, Caimito, Vereda Centro, Corraleja, Titumito, Granadillo, Chircal Bajo, Ficalito, Llano Grande y Yerbabuena.
	BJf	18.65	0.13	Hoya Baja.
	BJef	137.83	0.99	Llanogrande y Yerbabuena.
RIONEGRO	RNa	74.07	0.53	Chircal Bajo y Llanogrande.
GIRON DEL	GRef	103.58	0.75	Chircal Bajo, Las Mercedes y Granadillo.
RESGUARDO	GRde	49.50	0.36	Caimito, Corraleja, Titumito, Granadillo, Ficalito, Las Mercedes, Tibrote Alto y Bajo y Chircal Alto.
	GRd	101.99	0.74	Povitos y Trapichito.
	GRcd	28.44	0.21	Corraleja y caimito.
CONSOCIACION JABONERA	JEef	1552.37	11.21	Llanogrande, Yerbabuena, Tibrote Alto y Bajo, Chircal Alto y Bajo y Ficalito.
	JEde	1069.80	7.63	Las Mercedes, Totumito, Naranjal, Tibrote Alto y Bajo y Chircal Alto.
	JEe	132.49	0.95	Tibrote Alto y Bajo.
	JEcd	22.76	0.16	Tibrote Bajo
	JEef2	261.28	1.88	Las Mercedes y Tibrote Bajo.
JABONERA	JAef	653.49	4.70	Guamal Alto y Bajo, Hoya baja, Hoya Alta y Hoya Vargas.
	JAf	161.74	1.16	Guamal Alto y Estaqueca Bajo.
MONTERREDONDO	MEab	26.69	0.19	Las Mercedes y Tibrote Bajo
CONSOCIACION CHIVOR	CVef	3.79	0.02	Hoya Vargas
TOTAL		13847.22	100	

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018

Las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo están distribuidas en varias asociaciones dentro del municipio. Guamal Alto se encuentra en las asociaciones Chochos (7.62%), Represa (10.81%) y Jabonera (4.70% + 1.16%), mientras que Guamal Bajo aparece en Represa (10.81%), Bermejial (26.36%) y Jabonera (4.70%). La asociación con mayor área donde está presente Guamal Bajo es Bermejial, con el 26.36% del total. Además, ambas veredas aparecen juntas en la asociación Jabonera (JAef), que representa el 4.70% del área total. Este análisis permite comprender la distribución territorial de estas veredas dentro de las asociaciones productivas del municipio.

11. ESTUDIOS FOTOGRAMÉTRICOS, TOPOGRÁFICOS Y TRABAJOS DE CAMPO

11.1. Fotografías Satelitales

Se obtuvo información de fotografías satelitales a través de Google earth, identificando de esta manera la posición geográfica del municipio en cuanto a longitud y latitud, además, se identifica de manera general la configuración del territorio.

Ilustración 12. Fotografía Satelital del municipio de Quetame junto a las veredas Guamal Alto y Bajo.



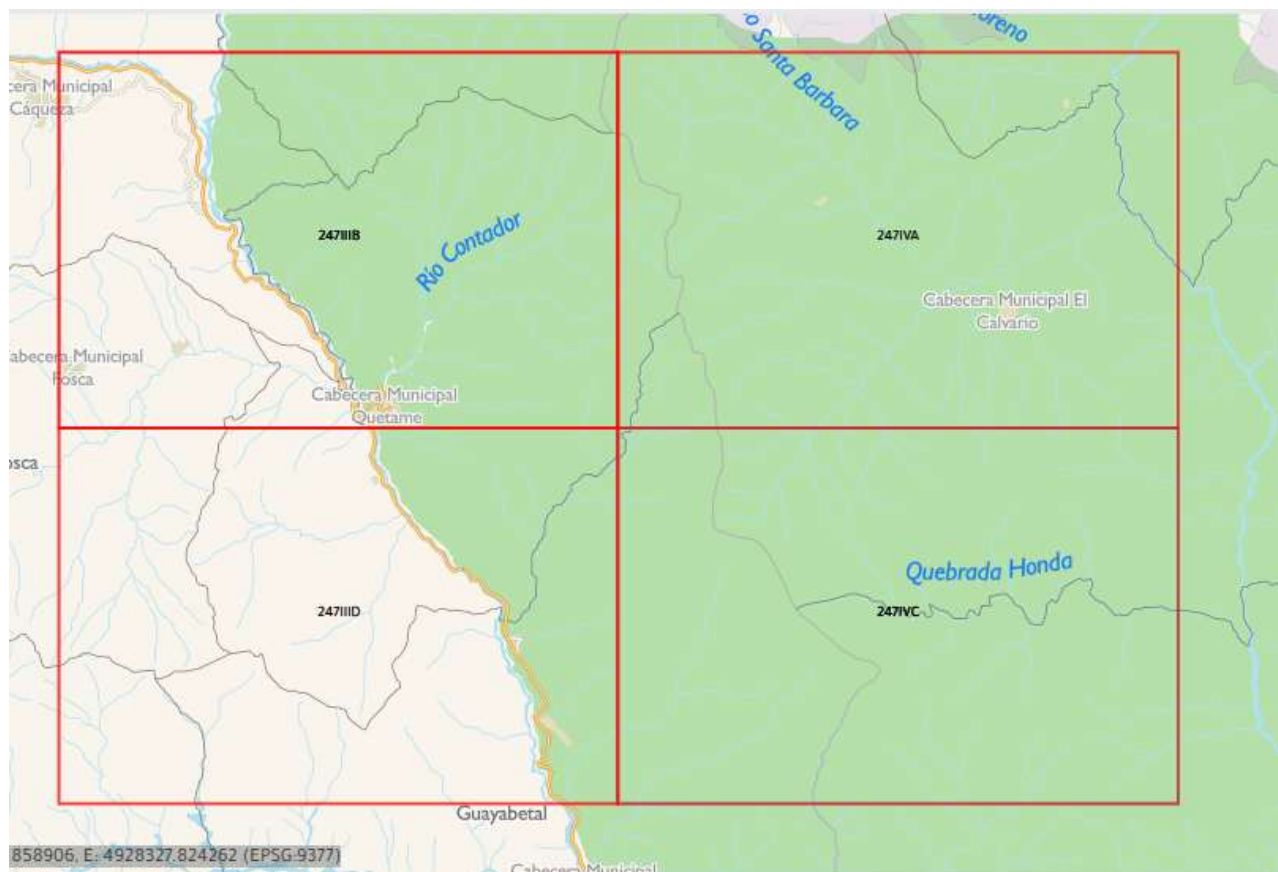
Fuente: Google Earth. 2025.

11.2. Fotografías Aéreas

Se obtuvieron las cartografías del municipio de Quetame Cundinamarca, del Geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), para identificar el terreno con una mayor resolución. (Las cartografías se encuentran en los anexos).

En entidades de carácter Nacional, Regional, Departamental, y Local, se consiguió información de documentos, cartografía, estadísticas, programas y proyectos locales, de la siguiente manera: En el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), se consultaron estudios técnicos relacionados con suelos del oriente de Cundinamarca a escala 1:100.000, y en escala 1:25.000 las plancha 247IIIB, 247IIID, 247IVA y 247IVC. Todas excepto la cartografía 247IVC, se pudieron descargar.

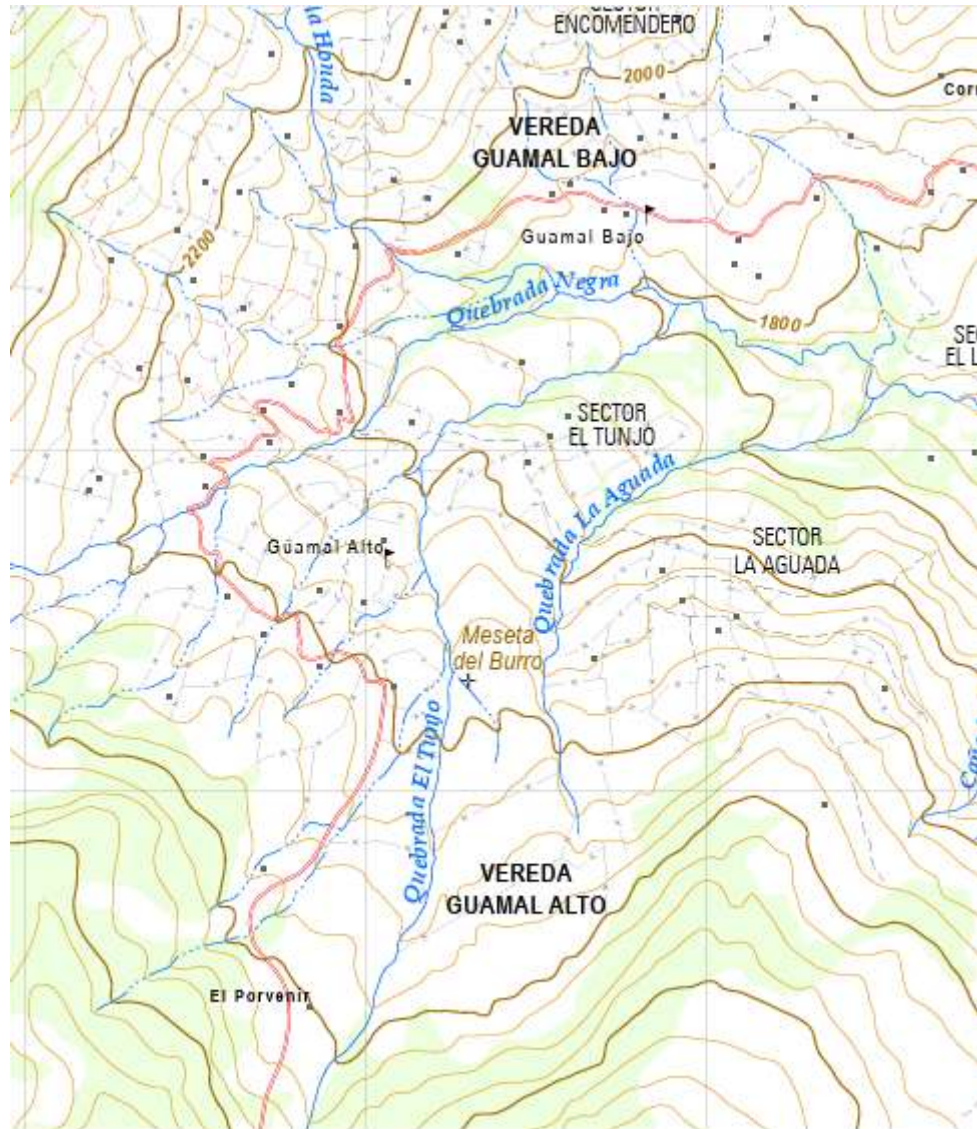
Ilustración 13. Cartografías Básicas del municipio (Anexos)



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2015

. Teniendo en cuenta, que el proyecto se llevara a cabo, en las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, la cartografía con la que trabajaremos, es la 247IIID, puesto que en esta se ubican las veredas y la fuente hídrica de nuestro interés, en este caso la quebrada el Tunjo. Como se evidencia en la ilustración No.14.

Ilustración 14. Cartografía 247IIID



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2015

12. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE DE OTROS SERVICIOS

12.1. Servicios Domiciliarios.

Según información proporcionada por el Esquema de Ordenamiento Territorial los servicios domiciliarios son aquellos que satisfacen las necesidades esenciales de la comunidad,

incluyendo el suministro de agua potable, alcantarillado, electricidad, telecomunicaciones, recolección de residuos y gas domiciliario.

En el municipio, la oficina de asesoría de obras públicas se encarga de gestionar el abastecimiento de agua potable del acueducto urbano. En cuanto al acueducto rural, solo la vereda de Estaquecá Bajo cuenta con este servicio. Asimismo, el sistema de alcantarillado está bajo la administración de esta oficina.

Por otro lado, la recolección de residuos es realizada directamente por el municipio. Los servicios de energía eléctrica y telefonía son gestionados por la Electrificadora de Cundinamarca y TELECOM, respectivamente. Mientras que , el suministro de gas domiciliario está a cargo de la empresa Llanogas S.A.

12.1.1. Abastecimiento de Agua.

El municipio de Quetame es abastecido de agua mediante acueductos de tipo Urbano y Veredal.

12.1.1.1. Acueducto Urbano.

El sector urbano dispone de un acueducto que suministra agua tanto a la cabecera municipal como a la inspección de Puente Quetame. Sin embargo, debido a la capacidad limitada de la tubería en la red de distribución, su abastecimiento resulta insuficiente para la demanda actual, aunque alcanza una cobertura del 95%.

Este sistema de acueducto capta agua en el sector de Quebrada Blanca, ubicado a 3 km del casco urbano. Está compuesto por una bocatoma, un desarenador y un tanque de almacenamiento con una capacidad aproximada de 27,000 litros. Su funcionamiento se basa en un sistema de gravedad y cuenta con una red de distribución en buen estado. Actualmente, se dispone de la infraestructura para la instalación de una planta. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018).

Mientras que, en Acueducto Rural, la información proporcionada en el numeral 6.2. en la sección 6. Que corresponde a Disponibilidad de Agua y Balance Hídrico.

12.1.2. Alcantarillado.

En la cabecera municipal y la inspección de Puente Quetame, el sector urbano dispone de un sistema de alcantarillado mixto que maneja tanto aguas lluvias como aguas residuales. Esta red, aunque en estado regular, cubre aproximadamente al 90% de los usuarios que requieren el servicio.

Las aguas recolectadas por este sistema son vertidas sin tratamiento en el Río Negro, a la altura del centro poblado de Puente Quetame, lo que lo convierte en una de las principales fuentes de contaminación. En el casco urbano, el alcantarillado desemboca en las quebradas Grande y Chiquita, esta última recibiendo también las aguas provenientes del matadero.

Al igual que el acueducto, la administración del alcantarillado está a cargo de la oficina de Obras Públicas, actualmente en proceso de reestructuración para convertirse en la oficina de Planeación. No obstante, aún no se han establecido tarifas para su cobro, lo que impide evaluar su viabilidad económica y operativa.

En la zona rural, ninguna de las veredas cuenta con este servicio. Sin embargo, aproximadamente el 45% de las viviendas dispone de sistemas de saneamiento alternativos, como pozos sépticos o campos de infiltración, aunque en muchos casos las aguas residuales son vertidas directamente en el entorno. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018).

Tabla 10. Disponibilidad de sistemas de eliminación de excretas por vereda.

VEREDA	Sin servicio sanitario	Letrina	Inodoro sin conexión A Acueducto	Inodoro conectado a pozo	Inodoro conectado a alcantarillado	Viviendas
Caimito	7	0	3	9	0	19
Chilcal Alto	16	1	0	11	0	28
Chilcal Bajo	25	1	1	21	0	48
Corraleja	9	0	3	18	1	31
Estaqueca Alto	25	0	1	1	2	29
Estaqueca Bajo	26	3	2	15	5	51
Ficalito	14	0	0	15	1	30
Granadillo	8	0	1	16	0	25
Guacapate	26	1	12	32	1	72
Guamal Alto	38	0	2	2	0	42
Guamal Bajo	44	1	1	4	0	50
Hoya Alta	14	3	0	0	0	17
Hoya Baja	26	2	4	29	3	64
Hoya Vargas	11	0	0	1	0	12
Las Mercedes	5	2	1	6	1	15
Llanogrande	18	0	5	7	0	30
Mesitas	21	3	2	3	0	29
Naranjal	10	0	11	2	0	23
Povitos	12	1	9	8	1	31
Tibrote Alto	26	1	0	6	1	34
Tibrote Bajo	35	3	5	16	1	60
Totumillo	6	0	0	6	0	12
Trapichito	6	0	19	16	0	41
Hierbabuena	16	0	0	5	0	21
Puente Quetame	2	0	18	3	102	125
Quetame	2	0	2	3	183	190
TOTAL	448	22	102	257	303	1132
PORCENTAJE	40	2	9	23	27	100

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018

13. DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS DOMICILIARIOS.

13.1. Disponibilidad de energía eléctrica.

El suministro de energía eléctrica en el municipio está a cargo de la Empresa Electrificadora y Gasificadora de Cundinamarca (CELGAC), que gestiona directamente la facturación desde Cáqueza. Por esta razón, cualquier consulta o reporte de daños debe dirigirse a dicha población. Aunque el municipio está interconectado con el Sistema Generador Eléctrico Nacional, el servicio depende de la subestación transformadora ubicada en Cáqueza.

La cobertura de redes eléctricas alcanza el 100% en la zona urbana y aproximadamente el 90% en el área rural. Sin embargo, la calidad del servicio es deficiente, lo que provoca fallos

constantes en electrodomésticos y maquinaria, además de afectar el comercio debido a frecuentes fluctuaciones y cortes de energía. Actualmente, la subestación transformadora de Cáqueza opera al límite de su capacidad, lo que agrava la problemática. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Ilustración 15. Índice de cobertura de energía eléctrica (ICEE) en el departamento de Cundinamarca.



Fuente: Banco de datos del sector Minero Energético colombiano. 2025.

Tabla 11. Disponibilidad del sistema de Alumbrado por vereda.

VEREDA	Eléctrico	Kerosene, Petróleo gasolina	u otro	Viviendas
Camito	13	0	6	19
Chical Alto	24	0	4	28
Chical Bajo	42	0	6	48
Corraleja	24	0	7	31
Estaqueca Alto	21	0	8	29
Estaqueca Bajo	45	0	6	51
Ficalito	26	0	4	30
Granadillo	23	0	2	25
Guacapate	49	0	23	72
Guamal Alto	8	1	33	42
Guamal Bajo	11	0	39	50
Hoya Alta	4	0	13	17
Hoya Baja	57	0	7	64
Hoya Vargas	5	0	7	12
Las Mercedes	11	0	4	15
Llanogrande	27	0	3	30
Mesitas	3	1	25	29
Naranjal	11	0	12	23
Povitos	26	0	5	31
Tibrote Alto	6	0	28	34
Tibrote Bajo	50	0	10	60
Totumito	12	0	0	12
Trapichito	37	0	4	41
Yerbabuena	13	0	8	21
Quetame	186	0	4	190
Puente Quetame	125	0	0	125
TOTAL	862	2	268	1132
PORCENTAJE	76	0	24	100

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018

13.2. Disponibilidad de Gas Domiciliario.

En el municipio, el servicio domiciliario de gas lo presta la empresa Llanogas S.A. por el sistema de red cubriendo el 90% del perímetro urbano, tanto de la cabecera municipal como de la Inspección de Puente Quetame. Su capacidad y funcionamiento es eficiente y su servicio es de buena calidad, sin embargo, hace falta mantenimiento a la planta ya que por esta razón se puede estar exponiendo el sistema general urbano. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Tabla 12.Resumen de Cobertura de Servicios Domiciliario.

SERVICIOS	COBERTURA	FUNCIONALIDAD ESPACIAL
Acueducto	El sector urbano cuenta con un servicio de acueducto que cubre el 95% de las viviendas del sector. Solo la vereda de Estaqueca Bajo cuenta con servicio de se abastecen de agua con sistemas de gravedad pero aun no tiene planta de tratamiento.	En el sector urbano, el sistema de acueducto cuenta con el tanque de almacenamiento que no posee las condiciones de higiene adecuadas para su funcionamiento. En la actualidad está en proyecto la puesta en marcha de la planta de tratamiento.
Alcantarillado	El sector urbano cuenta con un alcantarillado municipal que cubre un 90% las viviendas de la cabecera y de la inspección de Puente Quetame sector. En el sector rural ninguna de las veredas cuenta con este servicio.	En las veredas un 45% cuenta con un sistema de pozo séptico o con campos de infiltración. En el sector rural existen viviendas que ni siquiera poseen servicio sanitario
Energía	El servicio de energía eléctrica que se ofrece en el municipio presenta un amplio cubrimiento siendo del 100% en el sector urbano y de 90% para el sector rural.	En el sector urbano todas las viviendas cuentan con este servicio, sin embargo se presenta interrupción de este servicio ocasionando daño en los electrodomésticos. Se presenta un descompensación en el servicio ya que la demanda del municipio es mayor que la oferta que recibe dado que esta debe ser compartida con el municipio de Guayabetal.
Aseo público	El sistema de recolección de basuras se presta únicamente en la zona urbana del municipio, con una frecuencia de dos días por semana.	Se esta trabajando en un programa de Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos.
Telecomunicación	Los habitantes del sector urbano encuentran este servicio allí mismo, aunque la cobertura es de solo un 20%.	En el sector urbano, el servicio de teléfono es bueno pero se requiere de la ampliación de la red para un mayor cubrimiento. Las personas que habitan el sector rural deben desplazarse hacia la cabecera o a la inspección para poder realizar llamadas.

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018

14. VÍAS DE ACCESO

14.1. Vías principales

Para llegar a Quetame, Cundinamarca desde Bogotá por la ruta Bogotá–Villavicencio (Ruta Nacional 40), debes tomar la Autopista al Llano saliendo por la Avenida Boyacá o la Avenida Caracas en dirección sur. A unos 18 km se encuentra el peaje de Boquerón, y tras recorrer aproximadamente 35 km más, se llega al peaje de Naranjal, antes de Cáqueza. Luego de pasar por

este municipio, tras unos 15 minutos de recorrido y antes del túnel de Buenavista, se encuentra el desvío hacia Quetame. Esta ruta es la principal conexión entre Bogotá y los Llanos Orientales, caracterizada por su infraestructura moderna con túneles y viaductos que reducen los tiempos de viaje. A lo largo del trayecto, predominan paisajes montañosos y climas variables, con sectores de neblina y alta humedad. Sin embargo, debido a la topografía de la zona, en temporada de lluvias pueden presentarse deslizamientos o cierres temporales. En total, hay dos peajes antes de llegar a Quetame, y el tiempo estimado de viaje es de 1.5 a 2 horas, dependiendo del tráfico y las condiciones climáticas. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

Ilustración 16. Georreferencia de la Ruta Nacional 40



Fuente: El Espectador Colombia (2023)

14.2. Vías en el Municipio.

Los carretables que comunican los centros poblados con las veredas encuentran en muy malas condiciones, por varias causas, entre otras: fueron diseñados bajo mínimas condiciones técnicas, solamente con cortes individuales que en su gran mayoría adolecen de recebo,

alcantarillas, filtros, cunetas y falta de mantenimientos adecuados y continuos, en razón de que el municipio no cuenta con la maquinaria necesaria.

Por otro lado, como consecuencia del sismo del 24 de Mayo de 2008, las vías rurales se vieron afectadas en su totalidad, presentando ondulamientos, agrietamientos, pérdidas de bancas, daños en puentes y pontones, alcantarillas, muros de contención, deslizamientos sobre las vías. Los caminos de herradura que tiene cada vereda para su comunicación interna se hallan en malas condiciones, tornándose intransitables en invierno, y haciendo difícil la evacuación de productos agrícolas. En las mesas de trabajo realizadas en el sector rural del municipio, el mantenimiento de las vías fue uno de los temas requeridos y más sentidos en la totalidad de las veredas. En la zona rural existe una red vial de aproximadamente 200 Kms. que facilita el flujo entre las diferentes veredas y el casco urbano y la Vía al Llano. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

De otra parte, la red vial del casco urbano es aproximadamente de 3 km. pavimentados en un 90.0%; sin embargo, aprox. el cincuenta por ciento (50%) de este porcentaje se encuentra en malas condiciones, a consecuencia de la baja calidad técnica con que han sido construidas y por el permanente tráfico pesado, requiriendo de un programa de repavimentación y recuperación vial y de aparcamiento para el parque automotor pesado. Es recomendable hacer énfasis en las especificaciones técnicas para la pavimentación de las vías urbanas debido a la determinante de uso vehicular pesado. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018)

14.2.1. Vías Rurales:

- Guamal Alto (sector La Aguada)
- Estaqueca Bajo (sector Calimán)
- Estaqueca Bajo (sector Guayabal) Yerbabuena
- Llanogrande

- Povitos (sector alto) Trapichito (sector Baluy)
- La Corraleja

15. ESTUDIOS SOCIOECONÓMICOS

En el municipio de Quetame, Cundinamarca. Se han realizado varios estudios socioeconómicos, uno de los estudios más relevantes es el de “Resultados del cálculo de la Unidad Agrícola Familiar por Unidades Físicas Homogéneas”, realizado por la Agencia de Tierras Nacional. Este estudio se establece la situación económica y social de los habitantes para desarrollar un plan integral de desarrollo que satisfaga las necesidades primordiales de la población y disminuya las desigualdades mediante una mejor asignación de recursos.

Por otro lado, también se destaca el Esquema de Ordenamiento Territorial de 2018 del municipio; el cual también aborda estos temas, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y buscando mejorar la calidad de vida de los habitantes. Estos estudios suelen incluir análisis de costo-eficiencia y análisis de costo mínimo de expansión de capacidad para evaluar la viabilidad y el impacto de los proyectos en la comunidad.

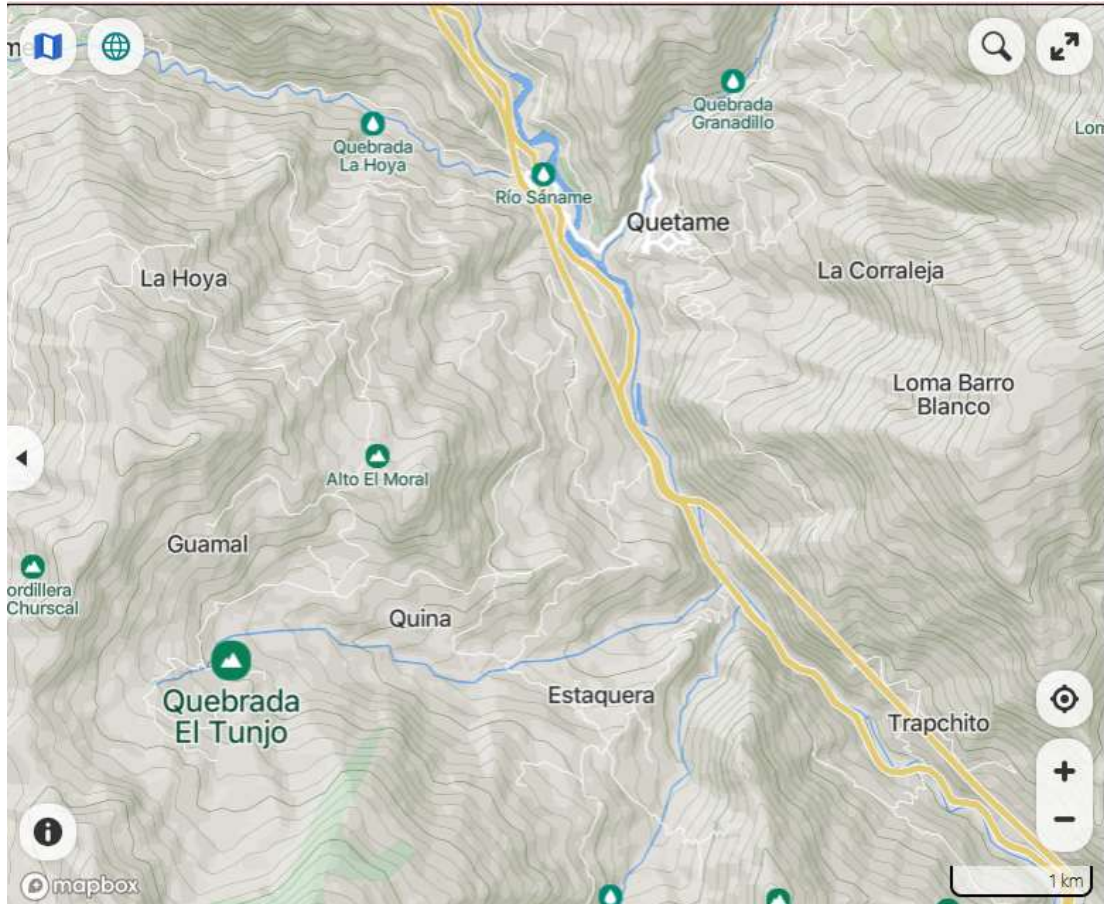
16. FUENTE DE ABASTECIMIENTO

La Quebrada El Tunjo, situada en el municipio de Quetame, Cundinamarca, se extiende aproximadamente 3.5 kilómetros desde su cabecera hasta su desembocadura, presentando variaciones notables en su morfología a lo largo de su recorrido. En los tramos altos, el cauce es rocoso y estrecho, con un ancho de entre 1 y 2 metros y profundidades moderadas, donde el flujo de agua se caracteriza por ser laminar debido a una pendiente pronunciada que favorece una rápida escorrentía durante los periodos de lluvia. A medida que la quebrada desciende, en la zona media se observa un ensanchamiento moderado, alcanzando entre 2 y 3 metros de ancho, y se empiezan a formar depósitos aluviales y remansos temporales, producto de una pendiente que se suaviza en

el tramo inferior. La cuenca de captación, que abarca entre 5 y 7 kilómetros cuadrados, permite una recarga relativamente rápida del cauce, aunque la dinámica hidrológica es estacional, oscilando entre 10 y 50 litros por segundo en caudales promedio, con incrementos significativos durante la temporada de lluvias. (mapcarta, s.f)

Observaciones preliminares sugieren que, en los tramos altos y medianos, el agua se presenta relativamente clara, mientras que en el tramo bajo se evidencian mayores concentraciones de sedimentos y posibles influencias de actividades agrícolas, lo que podría generar cierta contaminación. Por ello, se recomienda realizar análisis físico-químicos y microbiológicos para determinar con precisión la calidad del agua y establecer las medidas de tratamiento necesarias para su utilización en el acueducto. A pesar de los desafíos que presenta su ubicación en un entorno montañoso y los obstáculos derivados de la topografía accidentada, como el acceso limitado a ciertos puntos estratégicos, la Quebrada El Tunjo cuenta con un potencial de recarga elevado y características morfológicas que, con un diseño adecuado y la implementación de medidas de conservación, la convierten en una opción viable para abastecer de agua a las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, contribuyendo al desarrollo sostenible del proyecto en Quetame, Cundinamarca. (mapcarta, s.f)

Ilustración 17. Georreferenciación de la Quebrada El Tunjo.



Fuente: mapcarta, s.f

16.1. Tamaño y Disponibilidad de Agua

La quebrada El Tunjo fue seleccionada como fuente principal de abastecimiento para el sistema de acueducto propuesto, debido a su ubicación favorable y a la presencia de caudales constantes observados por la comunidad a lo largo del año. Con el fin de respaldar esta elección y validar la viabilidad técnica del diseño, se realizó una estimación hidrológica preliminar basada en el método del caudal específico por unidad de área, el cual es comúnmente utilizado en zonas rurales con información hidrológica limitada.

A través de herramientas de análisis geográfico se determinó que la microcuenca aportante al punto de captación tiene un área aproximada de 2,1 kilómetros cuadrados. Con base en

información del IDEAM y estudios regionales para cuencas similares ubicadas en la vertiente oriental de Cundinamarca, se estimó que la quebrada El Tunjo podría aportar un caudal medio de aproximadamente 31 litros por segundo.

Cabe aclarar que este valor no corresponde al caudal de diseño hidráulico del sistema, el cual fue determinado en el numeral 18 con base en la demanda poblacional proyectada, resultando en un caudal máximo diario de 1,6 litros por segundo. No obstante, la estimación hidrológica realizada permite verificar que la fuente seleccionada cuenta con una disponibilidad suficiente para cubrir de forma holgada los requerimientos del sistema, representando este menos del 10 % del caudal medio estimado.

Con base en lo anterior, se concluye que la disponibilidad hídrica de la quebrada El Tunjo es adecuada para el suministro proyectado, lo cual respalda la viabilidad técnica del sistema de acueducto planteado para las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo.

16.2. Calidad del Agua

Actualmente, no se dispone de información pública específica sobre la calidad del agua de la Quebrada El Tunjo en Quetame, Cundinamarca. Sin embargo, estudios realizados en otras quebradas de la región, como la Quebrada Moyas en Junín y la Quebrada Las Brujas en La Vega, han identificado problemas de contaminación debido a diversas fuentes, incluyendo aguas residuales domésticas, desechos industriales y escorrentías agrícolas. (UNAD,2023.)

Estas situaciones resaltan la importancia de realizar análisis específicos en la Quebrada El Tunjo para determinar su calidad y aptitud como fuente de abastecimiento para el acueducto veredal. Se recomienda llevar a cabo estudios que evalúen parámetros físico-químicos y microbiológicos, así como identificar posibles fuentes de contaminación en la cuenca. Esto

permitirá implementar estrategias adecuadas para garantizar la potabilidad y sostenibilidad del recurso hídrico destinado a las comunidades de Guamal Alto y Guamal Bajo.

16.3. Accesibilidad

La quebrada se encuentra en una región montañosa, lo que podría presentar desafíos para el acceso y la construcción de infraestructura. Sin embargo, con una planificación adecuada y la implementación de tecnologías apropiadas, es posible desarrollar rutas de acceso que faciliten la construcción y el mantenimiento del sistema de captación y distribución de agua.

16.4. Recarga Natural y Sostenibilidad

La región de Quetame es conocida por su inestabilidad geológica y alta producción de sedimentos, especialmente durante periodos de lluvias intensas. Sin embargo, con la implementación de medidas de conservación de suelos y manejo adecuado de cuencas hidrográficas, es posible mantener la capacidad de recarga y garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico. (SGC,2023).

16.5. Importancia Geológica

La región presenta condiciones geológicas que requieren una evaluación cuidadosa al planificar infraestructuras hídricas. Es fundamental realizar estudios geotécnicos detallados para identificar áreas estables y diseñar estructuras que minimicen riesgos asociados a movimientos en masa y avenidas torrenciales.

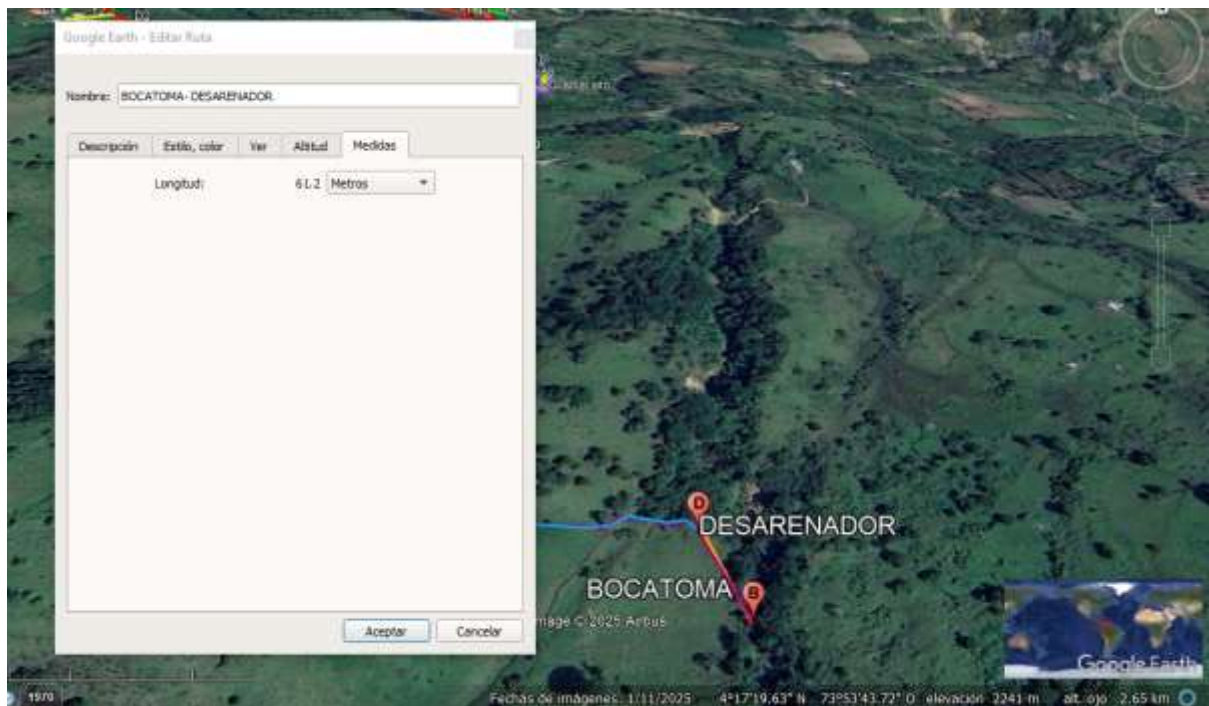
La Quebrada El Tunjo tiene el potencial de ser una fuente viable de abastecimiento para las veredas de Guamal Alto y Guamal Bajo. Sin embargo, es imprescindible llevar a cabo estudios detallados que aborden los aspectos mencionados anteriormente. Con una planificación adecuada y la implementación de medidas de mitigación y conservación, es posible desarrollar un acueducto

veredal sostenible que aproveche los recursos hídricos de la Quebrada El Tunjo en beneficio de las comunidades locales.

16.6. Ubicación De Bocatoma y Desarenador.

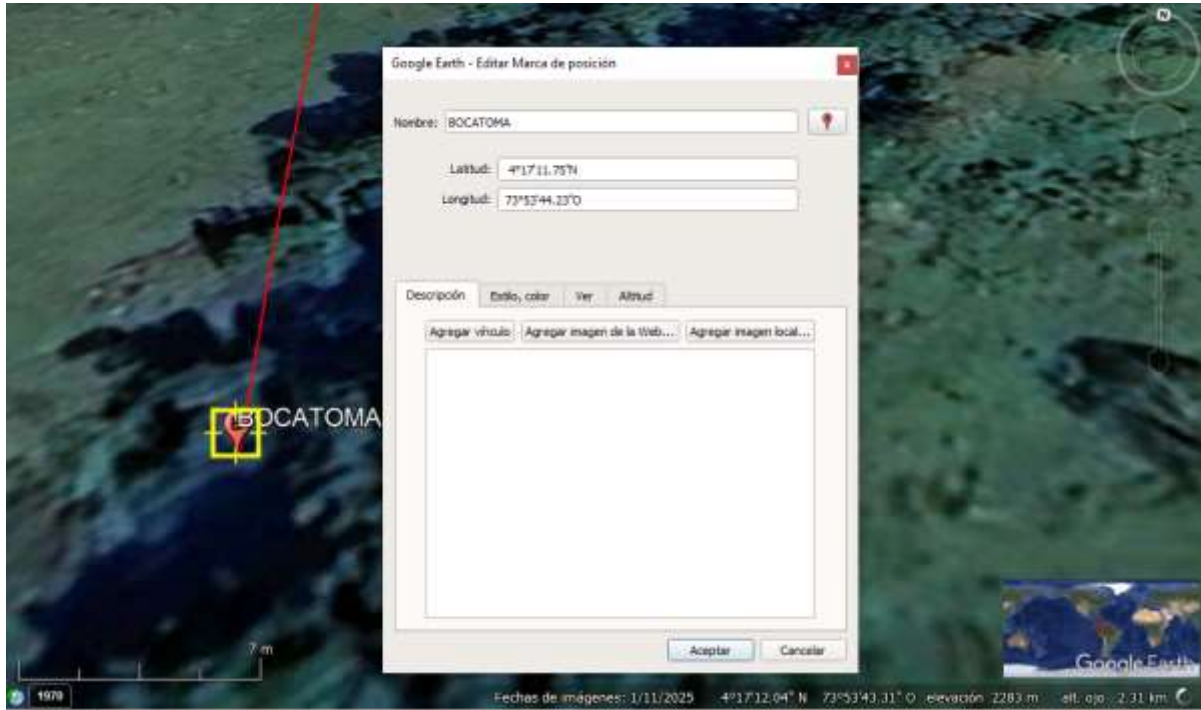
La bocatoma se ubicó en la quebrada el Tunjo, en la parte alta de las veredas el Guamal Alto y el Guamal Bajo, en la parte alta de la montaña donde se ubican estas veredas y teniendo en cuenta que la distancia entre bocatoma y desarenador puede ser de 50m a 80 m, se propuso que este se ubicara a 64,7 como se evidencia en la ilustración 18.

Ilustración 18.Distancia entre Bocatoma y Desarenador



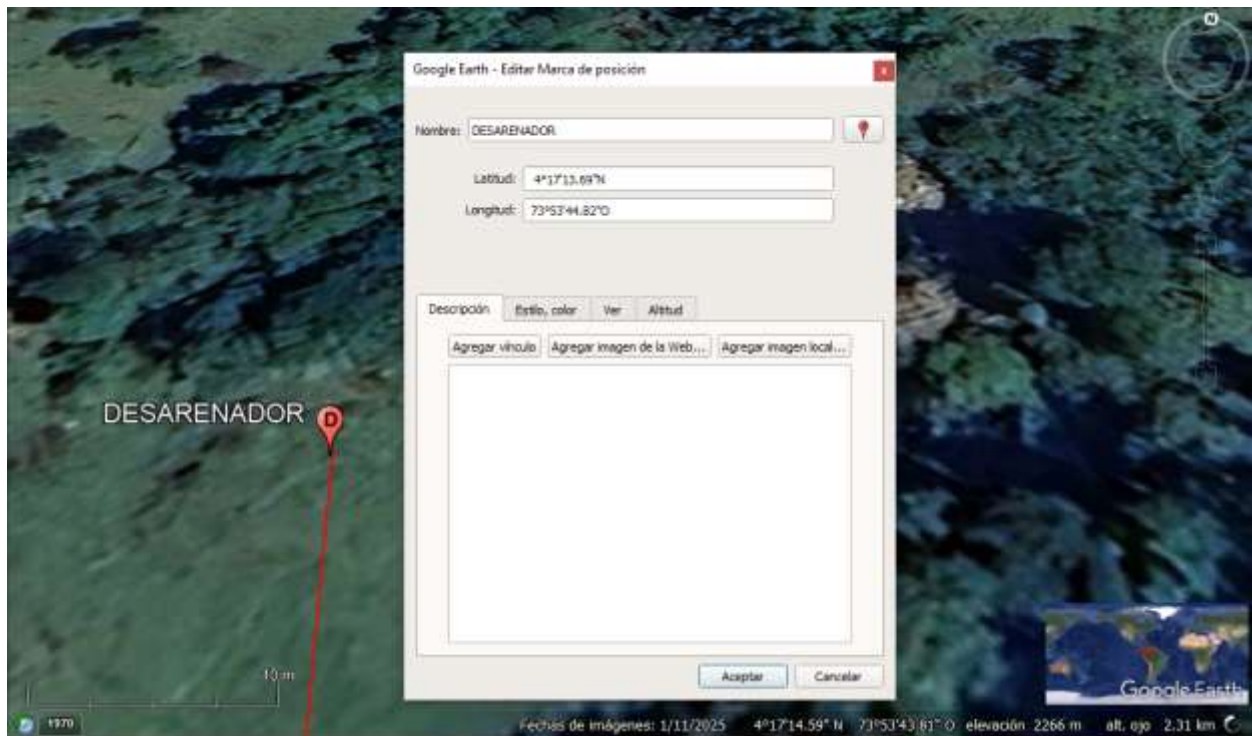
Fuente: Google earth pro, Autores (2025)

Ilustración 19.Punto de ubicación de Bocatoma.



Fuente: Google Earth Pro. 2025

Ilustración 20. Punto de ubicación de Desarenador.



Fuente: Google Earth Pro. 2025

17. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN RURAL DE LAS VEREDAS DE GUAMAL ALTO Y GUAMAL BAJO DEL MUNICIPIO DE QUETAME CUNDINAMARCA.

Proyectar la población en una zona rural es esencial para diseñar un acueducto veredal porque permite anticipar la demanda de agua a futuro y dimensionar la infraestructura de manera adecuada. Con una proyección demográfica, se pueden estimar las necesidades de consumo, tanto actuales como futuras, lo que ayuda a evitar deficiencias en el suministro o inversiones innecesarias. Además, conocer el crecimiento poblacional posibilita planificar expansiones o mejoras en el sistema, garantizando que la red de distribución, los tanques de almacenamiento y los tratamientos de agua estén correctamente dimensionados para satisfacer las necesidades de la comunidad a largo plazo. Esto resulta fundamental para asegurar la sostenibilidad, resiliencia y eficiencia del acueducto, mejorando la calidad de vida de los habitantes y optimizando el uso de los recursos hídricos disponibles.

Para ello, se partió de los datos de población más actuales de estas dos veredas, en este caso, nos basamos en los datos proporcionados, por el Esquema de Ordenamiento Territorial del año 2018, el cual indica que la vivienda rural del municipio de Quetame se enmarca sobre las características de la morada campesina, edificaciones rústicas, oscuras, con distribución espacial irregular y una distribución interna adecuada en la que cuentan con servicio de habitación, baño, y cocina. La Tabla 13 muestra el número de viviendas y la cantidad de habitantes por vereda.

Tabla 13. Viviendas y Densidad de la Población por Veredas.

Veredas	No. Habitantes	No. Viviendas	Area Km ²	Vivi/Km ²	Hab/ Km ²
Caimito	115	19	3.12	6.08	36.92
Chilcal Alto	142	28	5.59	5.00	25.77
Chilcal Bajo	234	48	3.13	15.33	45.37
Corraleja	144	31	6.89	4.50	33.98
Estaqueca Alto	184	29	6.72	4.32	27.39
Estaqueca Bajo	262	51	8.74	5.84	29.97
Ficalito	121	30	3.37	8.90	35.94
Granadiillo	118	25	4.73	4.73	24.96
Guacapate	351	72	3.09	23.30	113.42
Guamal Alto	220	42	6.11	6.87	36.00
Guamal Bajo	244	50	5.98	8.36	40.84
Hoya Alta	76	16	1.71	9.35	44.35
Hoya Baja	376	64	4.85	13.19	77.51
Hoya Vargas	100	12	1.21	9.92	82.35
Las Mercedes	80	15	11.62	1.29	6.89
Llano Grande	156	30	2.02	14.85	77.07
Mesitas	168	29	3.17	9.15	53.03
Naranjal	128	23	13.73	1.68	9.32
Povitos	168	31	3.09	10.03	54.29
Tibrote Alto	182	34	4.81	7.07	37.81
Tibrote Bajo	296	60	5.66	10.60	52.34
Totumito	73	12	19.86	0.60	3.68
Trapichito	237	41	5.14	7.98	46.10
Yerbabuena	106	21	3.04	6.91	34.88
Centro (quetame*)	936	190	1.09	174.31	856.52
Puente Quetame	765	125			
Total	5982	1132	138.47		

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018

A partir de estos datos de población, se tiene que la vereda de Guamal Alto tiene un total de 220 habitantes en aproximadamente 42 viviendas, mientras que la vereda Guamal Bajo cuenta con un total de 244 habitantes lo que equivale a unas 50 viviendas. Con estos datos y teniendo en cuenta las estipulaciones planteadas en la Resolución 0844 de 2018, que tiene como objetivo establecer los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales, se tuvo en cuenta esta resolución, puesto que se está diseñando un acueducto veredal, por ende, las condiciones de diseño son distintas respecto a las convencionales expuestas en la Resolución 0330 de 2017. En cuanto al tema de proyección de población, se tuvo en cuenta el Artículo 5 de la ras 0844 denominado Población a atender en

proyectos de esquemas diferenciales, el cual plantea que el proyecto deberá diseñarse con una tasa de crecimiento anual de 0,5%, en un horizonte de veinticinco (25) años, como se evidencia en la ilustración N14.

Ilustración 21. Población Proyectada para diseño de Acueductos veredales.

Artículo 5. Población a atender en proyectos de esquemas diferenciales. Los proyectos de agua o de saneamiento básico en zonas rurales, se formularán para la

RESOLUCION NUMERO **0844** DE DE Hoja No. 7
08 NOV. 2018

"Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del título 7, de la parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015"

atención de las viviendas y entornos ubicados en la zona de actuación, que sean identificados durante la etapa de planeación.

El número de viviendas en la zona de actuación, para el perfil de proyecto y la fase de preparación de la etapa de planeación, podrá establecerse según los datos suministrados por personas prestadoras de otros servicios públicos disponibles en el área, catastro multipropósito u otra información catastral y poblacional del municipio o distrito relacionada con la zona de actuación. Cuando no se cuente con esta información, se deberá realizar el censo de viviendas de la comunidad, incluyendo los entornos, para los cuales deberá estimarse el número de personas que los ocupan cotidianamente.

Durante la fase de estudios y diseños deberá realizarse el censo de población y el catastro de viviendas, empleando una metodología adecuada a la escala del proyecto.

Por excepción, cuando se evidencie una tendencia de crecimiento de la población en la zona de actuación, el proyecto deberá diseñarse con una tasa de crecimiento anual de 0,5%, en un horizonte de veinticinco (25) años. Las proyecciones superiores a esta, deberán justificarse según las condiciones observadas en la localidad. Para evidenciar la tendencia de crecimiento de la población, podrán emplearse proyecciones del censo del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), datos poblacionales de instrumentos de planeación territorial, Sistema de Selección de Beneficiarios Para Programas Sociales (SISBEN), o datos locales de centros educativos,

Fuente: Resolución 0844 de 2018 (pág. 7.)

- Teniendo en cuenta estos datos y lineamientos, se fue aumentando un 0,5% a la población respecto al año anterior, de la siguiente manera:

Tabla 14. No de habitantes en las veredas en el 2018.

Datos de Población en el año 2018. (No habitantes)	
Guamal Alto	Guamal Bajo
220	244

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, 2018

Ecuación 1. Proyección poblacional Guamal Alto

$$Población\ 2019 = 220 * 0,5\% + 220$$

Población 2019 Guamal Alto = 221 hab

Fuente: Elaboración propia

Ecuación 2. Proyección poblacional Guamal Bajo

*Población 2019 = 244 * 0,5% + 244*

Población 2019 Guamal Bajo = 245 hab

Fuente: Elaboración propia

Así, con cada uno de los años, hasta el 2050, puesto que la proyección se realiza a 25 años, a partir del año actual, es decir 2025.

- Por otra parte, teniendo en cuenta que se tiene un número de viviendas y número de habitantes, este nos da un aproximado de 5 habitantes por vivienda, por consiguiente, se calcula el número de suscriptores para cada año, como se muestra a continuación, siguiendo con la secuencia de la demostración.

Ecuación 3. Número de suscriptores para cada año

$$\frac{\text{No hab Guamal Alt} + \text{No hab Guamal Bajo}}{5 \text{ hab vivienda}} = \text{No Suscriptores 2019.}$$

$$\frac{221 \text{ hab} + 245 \text{ hab}}{5 \text{ hab}} = 93,26 \text{ suscriptores.}$$

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, con el resto de años hasta el 2050 y se tienen en cuenta los valores de cada 5 años, que son los valores resaltados en la Tabla 15. En donde se evidencia que, para el año mencionado, se proyecta un total de habitantes entre las dos veredas de 544 habitantes.

Tabla 15. Proyección Poblacional para Guamal Alto y Guamal Bajo.

PROYECCION POBLACIONAL GUAMAL				
AÑO	N° Habitantes			N° suscriptores
	GUAMAL ALTO	GUAMAL BAJO	TOTAL	
2018	220	244	464	92,80
2019	221	245	466	93,26
2020	222	246	469	93,73
2021	223	248	471	94,20
2022	224	249	473	94,67
2023	226	250	476	95,14
2024	227	251	478	95,62
2025	228	253	480	96,10
2026	229	254	483	96,58
2027	230	255	485	97,06
2028	231	256	488	97,55
2029	232	258	490	98,03
2030	234	259	493	98,52
2031	235	260	495	99,02
2032	236	262	498	99,51
2033	237	263	500	100,01
2034	238	264	503	100,51
2035	239	266	505	101,01
2036	241	267	508	101,52
2037	242	268	510	102,02
2038	243	270	513	102,53
2039	244	271	515	103,05
2040	246	272	518	103,56
2041	247	274	520	104,08
2042	248	275	523	104,60
2043	249	276	526	105,12
2044	250	278	528	105,65
2045	252	279	531	106,18
2046	253	281	534	106,71
2047	254	282	536	107,24
2048	256	283	539	107,78
2049	257	285	542	108,32
2050	258	286	544	108,86

Fuente: Elaboración Propia.(2025)

Gráfico 4. Crecimiento de población proyectada.



Fuente: Elaboración Propia.(2025)

18. CAUDAL DE DISEÑO

18.1. Caudal Medio Diario y Caudal Máximo

Principalmente, se procedió a proyectar el caudal medio diario (Qmd) y el caudal máximo diario (QMD), por medio de una curva de modulación; la cual nos permitirá establecer el factor de mayoración (k).

Para la elaboración de esta curva se tuvo en cuenta los consumos en LPS en diferentes horarios, cabe destacar que esta información se extrajo directamente por contacto con la Alcaldía del municipio, en su secretaria de servicios y obras públicas, en el cual se establece que el patrón de consumo para el municipio de Quetame Cundinamarca, especialmente en las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, fue de la siguiente manera:

Tabla 16.Consumo Horario Municipio Quetame Cund.

Patrón de consumo	
HORAS	COSUMO (LPS)
12-1 AM	0,95
1-2 AM	0,7
2-3 AM	0,85
3-4 AM	0,9
4-5 AM	1,35
5-6 AM	1,45
6-7 AM	1,5
7-8 AM	1,25
8-9 AM	1,05
9-10 AM	1,5
10-11 AM	1,55
11-12 AM	1,63
12-13 PM	1,63
13-14 PM	1,42
14-15 PM	1,3
15-16 PM	1,2
16-17 PM	1,35
17-18 PM	1,05
18-19 PM	1,3
19-20 PM	1,45
20-21 PM	1,2
21-22 PM	0,85
22-23 PM	0,8
23-24 PM	0,7
	28,93

Fuente: Secretaria de Obras y Servicios Públicos Quetame Cund. (2025)

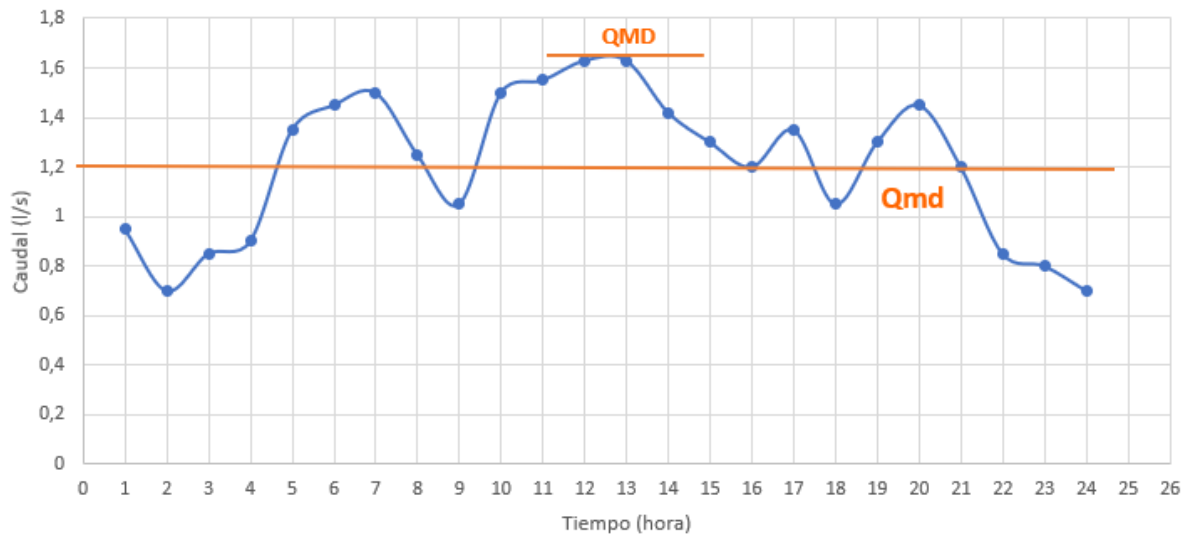
Teniendo en cuenta los datos anteriores, se obtuvo el promedio de consumo en LPS para posteriormente calcular el valor de k en cada intervalo de tiempo. De esta manera se obtiene que el promedio de consumo corresponde a:

Promedio	1,21
-----------------	-------------

Por consiguiente, se construyó la curva de modulación con los datos obtenidos anteriormente, con el fin de realizar el análisis respectivo:

Gráfico 5. Curva de Modulación

Patrón de consumo



Fuente: Elaboración Propia.(2025)

En la gráfica, se evidencia que el Caudal máximo diario, corresponde a 1,6 l/s, mientras que se tiene un caudal medio diario de 1,2 l/s.

Tabla 17. Resultados QMD y Qmd (l/s)

Qmd (l/s)	1,21
QMD (l/s)	1,6

Fuente: Elaboración Propia.(2025)

Finalmente se destaca que, para realizar la proyección de los caudales de diseño, se utilizara un factor de mayoración (k1) del valor de 1.3 , esto debido a que como se establece en la resolución 0330 de 2017 para una población menor a 12.500 habitantes corresponde este valor .

Para poblaciones menores o iguales de 12.500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor K1 será superior a 1.3 ni el factor K2 superior a 1.6. Para poblaciones mayores de 12.500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor K1 será superior a 1.2 ni el factor K2 superior a 1.5

Fuente. Resolución 0330 de 2017, Art 47

18.2. Dotación No Residencial.

18.2.1. Consumo para uso escolar.

Para poder determinar la dotación de uso no residencial, se identificó que en la zona se encontraban dos escuelas, una en la vereda Guamal Alto y otra en Guamal Bajo, mientras que no se encuentran escuelas de educación media y superior. Por ende, teniendo en cuenta el Título B sistemas de acueducto, se establece un consumo para uso escolar.

Tabla 18. Consumo para uso escolar.

Tipo de instalación	Consumo de agua
Educación elemental	20 L/alumno/jornada
Educación media y superior	25 L/alumno/jornada

Fuente. Título B, RAS (2017)

Es decir que el consumo por alumno en cada jornada es de 20 litros.

Educación elemental (L/alumno/jornada)	20
-----------------------------------------------	----

La información acerca de la población de cada una de las escuelas, fue proporcionada por las Juntas de Acción Comunal de cada una de estas, además teniendo en cuenta las horas por jornada, se estableció el consumo de los establecimientos educativos. De la siguiente manera:

- **Educación elemental**

Ecuación 4. Consumo de los establecimientos educativos

$$\text{Consumo} = 20 \frac{L}{\text{Alumno} * \text{Jornada}} * N^{\circ} \text{ Alumnos} * \frac{1 \text{ Jornada}}{N^{\circ} \text{ Horas}} * \frac{24h}{1 \text{ dia}} * \frac{1m^3}{1000L}$$

Fuente. Título B, RAS (2017)

Ejemplo con el primer nivel educativo:

Ecuación 5. Ejemplo consumo de los establecimientos educativos

$$\text{Consumo} = 20 \frac{L}{\text{Alumno} * \text{Jornada}} * 44 * \frac{1 \text{ Jornada}}{7} * \frac{24h}{1 \text{ dia}} * \frac{1m3}{1000L} = 3,02 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Fuente. Titulo B, RAS (2017)

Tabla 19.Consumo Educación Elemental.

Consumo Educación Elemental			
Colegio	Alumnos	Horas * Jornada	Dotación (m ³ /día)
IED. TÉCNICO COMERCIAL PUENTE QUETAME - SEDE ESCUELA RURAL GUAMAL ALTO	44	7	3,02
IED. TÉCNICO COMERCIAL PUENTE QUETAME - SEDE ESCUELA RURAL GUAMAL BAJO	49	7	3,36
TOTAL (m³/día)			6,38

Fuente: Elaboración Propia.(2025)

18.2.2. Consumo Uso Industrial.

Para determinar el consumo de uso industrial, se tiene en cuenta que es una zona ganadera y lechera, por ende, teniendo en cuenta el Título B sistemas de acueducto, se determina que rangos de consumo se tiene respecto a ello, tomando el mayor valor establecido en el rango, es decir 5m³/día.

Tabla 20.Consumo para producción de algunos Tipos de Industria.

Industria	Rango de consumo (m ³ /día)
Azucarera	4.5 – 6.5
Química (a)	5.0 – 25.0
Papel y celulosa (b)	40.0 – 70.0
Bebidas (c)	6.0 – 17.0
Textil	62.0 – 97.0
Siderúrgica	5.0 – 9.0
Alimentos (d)	4.5 – 5.0

Industria	Rango de consumo (m ³ /día)	
Alimentos (d) - Lácteos	4,5	5,0

Fuente: Fuente. Titulo B, RAS (2017)

Teniendo en cuenta el uso educativo e industrial, se suman sus consumos, mencionados anteriormente y se tiene un consumo total no residencial de 11,38

Tabla 21.Consumo No Residencial.

Tipo	Consumo RAS	Dotación (m ³ /día)
Consumo Uso Escolar		
Educación elemental	20 L/alumno/jornada	6,38
Consumo Uso Industrial		
Alimentos (d) - Lácteos	5 m ³ /día	5,0
TOTAL		11,38

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

Teniendo en cuenta el uso educativo e industrial, se suman sus consumos, mencionados anteriormente y se tiene una dotación no residencial de 11,38 m³/día.

18.2.3. Resultado de Dotación No Residencial.

Teniendo en cuenta el número de suscriptores, respecto a las proyecciones establecidas anteriormente y que un suscriptor corresponde a 5 habitantes, se tiene que la dotación residencial para el proyecto equivale a 122,60 l/sus/día.

Ecuación 6. Dotación No Residencial

$$\text{Dotación No Residencial} = \frac{\text{Consumo No Residencial (m}^3/\text{día)}}{\text{N}^\circ \text{ Suscriptores}} * 1000$$

$$\text{Dotación No Residencial} = \frac{11,38 \text{ m}^3/\text{día}}{92,8} * 1000$$

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

Tabla 22.Resultado de Dotación No Residencial.

Nº suscriptores	92,8	
1 suscriptor	5	habitantes
DOTACIÓN NO RESIDENCIAL (L/sus/día)	122,60	

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

18.3. Consumo Residencial.

Se tuvo en cuenta que la dotación máxima para las veredas Guamal alto y Guamal Bajo, como lo establece la resolución 0330, es la que se presenta a continuación, para ello, se partió del parámetro de localización, donde se llevará a cabo el proyecto, según curvas de nivel encontradas en la cartografía 247IIID, que se encontrará en los anexos.

Tabla 23. Altitud Guamal alto y bajo, Quetame Cundinamarca.

Altitud Guamal, Cundinamarca	
Guamal Alto	Guamal Bajo
2350 msnm	1821 msnm

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

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

Estas veredas se encuentran en partes muy altas, por ende, su altura supera los 2000 m.s.n.m. De esta manera se escoge una dotación de 120 (L/hab*día) para determinar el caudal de diseño

Dotación para determinar el caudal de diseño (L/hab*día)	120
-----------------------------------------------------------------	-----

Por medio del promedio de las poblaciones proyectadas anteriormente, se calculó el incremento poblacional, con la siguiente expresión:

Ecuación 7. Incremento poblacional

$$\text{Incremento Poblacional} = \frac{P_{ac} - P_a}{P_a}$$

Fuente. Titulo B, RAS (2017)

Donde:

Pa: Población anterior

Pac: Población actual

Resultados .

Año	Población proyectada	Incremento poblacional
2020	469	
2025	480	2,35%
2030	493	2,71%
2035	505	2,43%
2040	518	2,57%
2045	531	2,51%
2050	544	2,45%

- Posteriormente, se obtuvo el incremento dotacional, el cual fue dado por la siguiente expresión:

Ecuación 8. Incremento dotacional

$$\text{Incremento Dotación} = \text{Incremento Poblacional} * 10\%$$

Fuente. Titulo B, RAS (2017)

De esta manera obteniendo:

Año	Población proyectada	Incremento poblacional	Incremento dotación (%)
2020	469		
2025	480	2,35%	0,23%
2030	493	2,71%	0,27%
2035	505	2,43%	0,24%
2040	518	2,57%	0,26%
2045	531	2,51%	0,25%
2050	544	2,45%	0,24%

- Se calculo la dotación neta por medio de:

Ecuación 9. Dotación neta

$$dneta = dneta_{anterior} + (Incremento\ Dotación * dneta_{anterior})$$

Fuente. Titulo B, RAS (2017)

Ejemplo con el primer dato:

Ecuación 10. Ejemplo dotación neta

$$dneta = 120 + (0.23\% * 120) = 120,28 \frac{L}{Hab} * dia$$

Fuente. Elaboración propia

De esta manera obteniendo los siguientes resultados:

Año	Población proyectada	Incremento poblacional	Incremento dotación (%)	Dotación neta (L/hab*dia)
2020	469			120,00
2025	480	2,35%	0,23%	120,28
2030	493	2,71%	0,27%	120,61
2035	505	2,43%	0,24%	120,90
2040	518	2,57%	0,26%	121,21
2045	531	2,51%	0,25%	121,52
2050	544	2,45%	0,24%	121,81

- Se procedió a calcular la dotación bruta, que fue dada por la expresión:

Ecuación 11. Dotación bruta

$$dbruta = \frac{dneta}{(1 - \%p)}$$

Fuente. Titulo B, RAS (2017)

Donde:

$P = 25\%$ debido a que la resolución establece que el % de perdidas máximo es de ese valor

Ejemplo con el primer dato:

Ecuación 12. Ejemplo dotación bruta

$$d_{bruta} = \frac{120}{(1 - 25\%)} = 160 \frac{L}{Hab} * dia$$

Fuente. Elaboración propia

De esta manera se obtuvo:

Dotación bruta (L/hab*día)	Qmd (l/s)
160,00	0,87
160,38	0,89
160,81	0,92
161,20	0,94
161,62	0,97
162,02	1,00
162,42	1,02

- Finalmente, para calcular el caudal medio diario y máximo diario, se utilizaron las expresiones establecidas en el Título B del Sistema de Acueducto, las cuales indican que:

Caudal medio diario es:

Ecuación 13. Caudal medio diario

$$Qmd = \frac{p \times d_{bruta}}{86400} \quad (B. 2.12)$$

En este caso, p representa el número de habitantes proyectado y la dotación bruta debe estar dada en L/hab•día.

Fuente. Titulo B, RAS (2017)

Caudal máximo diario es:

Ecuación 14. Caudal máximo diario

$$QMD = Qmd \times k_1 \quad (B. 2.10)$$

Donde:

QMD: caudal máximo diario

Q_{md} : caudal medio diario

k_1 : coeficiente de consumo máximo diario

Fuente. Titulo B, RAS (2017)

Ejemplo con el primer dato:

Ecuación 15. Ejemplo qmd-QMD

$$Qmd = \frac{469 * 160}{86400} = 0,87 \text{ L/s}$$

$$QMD = 0,87 * 1,3 = 1,13 \text{ L/s}$$

Fuente. Elaboración propia

El K1 tomado como el máximo debido a que la poblacion proyectada es menor a 12500 y k1 dio mayor a k=1,3

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtuvo las proyecciones del caudal

Tabla 24. Caudales Residenciales Medio Diarios Y Máximo Diarios Proyectados.

							K1
							1,3
							RESIDENCIAL
Año	Población proyectada	Incremento poblacional	Incremento dotación (%)	Dotación neta (L/hab*día)	Dotación bruta (L/hab*día)	Qmd (l/s)	QMD (l/s)
2020	469			120,00	160,00	0,87	1,13
2025	480	2,35%	0,23%	120,28	160,38	0,89	1,16
2030	493	2,71%	0,27%	120,61	160,81	0,92	1,19
2035	505	2,43%	0,24%	120,90	161,20	0,94	1,22
2040	518	2,57%	0,26%	121,21	161,62	0,97	1,26
2045	531	2,51%	0,25%	121,52	162,02	1,00	1,29
2050	544	2,45%	0,24%	121,81	162,42	1,02	1,33

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

18.4. Consumo no residencial.

Para determinar el consumo no residencial, se tiene en cuenta la población para el 2018 junto al número de viviendas para esta manera determinar a cuántos habitantes equivale un suscriptor además de tener en cuenta la dotación no residencial, calculado anteriormente.

Ecuación 16. consumo no residencial

$$1 \text{ suscriptor} = \frac{\text{Población (2018)}}{\text{N}^\circ \text{ de viviendas}} = \text{hab} * \text{vivienda.}$$

$$1 \text{ suscriptor} = \frac{464 \text{ hab}}{92 \text{ viviendas}} = 5 \text{ hab} * \text{vivienda.}$$

Fuente. Titulo B, RAS (2017)

Obteniendo como resultados:

Tabla 25. Equivalencia de un suscriptor en habitantes.

Población (2018)	N° de viviendas (2018)	Hab*vivienda
464	92	5,0
5 hab = 1 sus		
Dotación (l/sus*día)	122,60	

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

Para determinar el consumo no residencial, se tuvo en cuenta la dotación no residencial, que se observa en la Tabla 22, calculada previamente. Se obtuvo la dotación neta y bruta, así como el caudal medio diario y el caudal máximo diario, utilizando el mismo procedimiento descrito anteriormente para el uso residencial, para lo cual se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 26. Caudales No residenciales Medio Diarios Y Máximo Diarios Proyectados.

							K1
							1,3
							NO RESIDENCIAL
Año	Suscriptores	Incremento suscriptores (%)	Incremento dotación (%)	Dotación neta (L/sus*día)	Dotación bruta (L/sus*día)	Qmd (l/s)	QMD (l/s)
2020	93,73			122,60	163,46	0,18	0,23
2025	95,93	2,35%	0,23%	122,89	163,85	0,18	0,24
2030	98,53	2,71%	0,27%	123,22	164,29	0,19	0,24
2035	100,92	2,43%	0,24%	123,52	164,69	0,19	0,25
2040	103,52	2,57%	0,26%	123,84	165,12	0,20	0,26
2045	106,12	2,51%	0,25%	124,15	165,53	0,20	0,26
2049	108,72	2,45%	0,24%	124,45	165,94	0,21	0,27

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

18.5. Caudal de Diseño

Para obtener el caudal de diseño, se procede a utilizar la siguiente expresión, teniendo en cuenta que se toman los caudales máximos diarios, que serán aquellos proyectados al 2049, tanro residencial, como no residencial y se evidencian resaltados en la tabla No. 24 y No. 26.

Ecuación 17. caudal de diseño

$$QD = QMD \text{ No Residencial} + QMD \text{ Residencial}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Ejemplo con el primer dato:

Ecuación 18. Ejemplo caudal de diseño

$$QD = 113 + 0,23 = 1,36 \text{ L/s}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Así obteniendo:

Tabla 27. Caudales de Diseño Proyectados.

Año	Q residencial	Q no residencial	Q de diseño (l/s)
2020	1,13	0,23	1,36
2025	1,16	0,24	1,39
2030	1,19	0,24	1,44
2035	1,22	0,25	1,47
2040	1,26	0,26	1,52
2045	1,29	0,26	1,56
2049	1,33	0,27	1,60

Fuente: Elaboración Propia.(2025)

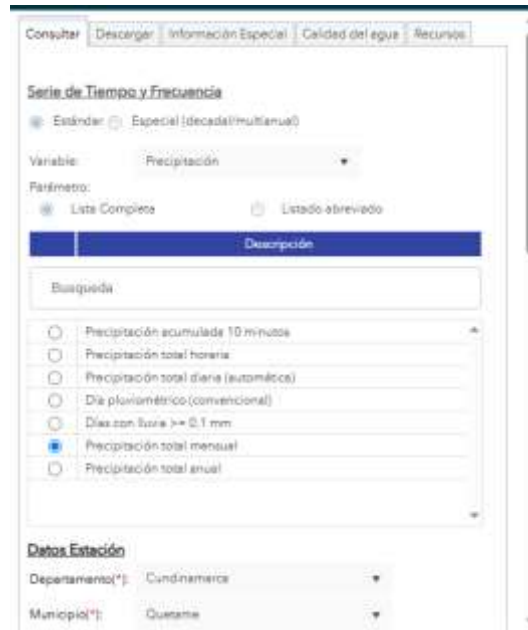
De esta manera se establece que el caudal de diseño con el que se trabajará, será de 1,60 l/s.

19. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES

Principalmente, como se estableció anteriormente la fuente hídrica de donde realizaremos la captación para las veredas de Guamal Alto y Guamal Bajo del municipio de Quetame Cundinamarca, corresponde a la quebrada el Tunjo, debido a esto se estableció que con el fin de determinar si la quebrada tiene la capacidad de abastecimiento, se procedió a construir la curva de duración de caudales de donde se obtuvo el Q95. Para lo cual se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

Por medio de la página del IDEAM y el programa de Datos Abiertos del DHIME, se consultó una de las estaciones pluviométrica más cercanas a la quebrada el Tunjo, la cual contaba con datos de precipitaciones mensuales de mínimo 10 años de anterioridad, según como lo establece la resolución.

Ilustración 22.Consulta Precipitaciones Mensuales para el Municipio Quetame Cundinamarca



Fuente: IDEAM

Teniendo en cuenta esta consulta, se escogió la estación pluviométrica Monterrey Forestal

Ilustración 23.Estación Susumuco.



Fuente: IDEAM

Luego de descargar los datos de precipitaciones mensuales de la estación, se ordenaron con el fin de dejar los últimos 10 años, para nuestro caso van desde el año 2014 hasta el 2023, tal como se estable en la resolución 0330 de 2017.

Debe utilizarse primero la información con los datos más recientes de la red hidrometeorológica nacional, propia de la cuenca, y particularmente en el sitio de la captación, con el siguiente orden de prioridad de tipo de serie: a. Instantánea. b. Diaria. c. Mensual. d. Anual. La longitud de las series deberá ser como mínimo de 10 años.

Posteriormente estos datos fueron clasificados por intervalos cada 60, con el fin de identificar la cantidad de caudales por intervalo.

Tabla 28. Precipitaciones Mensuales Por Año.

AÑO	QUEBRADA EL TUNJO											
	MES											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2014	51,6	23,2	311,3	444,1	752	836	679,6	686,7	476,2	625	306,8	218,7
2015	1,5	37,2	194,2	414,7	594	612,2	605,9	664,7	469,8	297,1	263,7	277,9
2016	71	304,5	225,1	502,5	836,1	1052	842,8	561	579,2	427	462	67
2017	83	167	168	608	813,2	750,5	706,6	472,8	686,5	349,6	369	169
2018	288,7	80,1	421,8	483,9	542,2	568,9	509,6	766,4	599,7	404,5	325	112,7
2019	50,4	29,3	235,5	523,5	438,5	726,2	512,9	629,9	466,6	323,2	448	163,1
2020	19	71	111,6	211,1	818	765	766,6	526,2	485,4	432,9	290,5	252,4
2021	156,9	74	368,5	525,3	338,8	485,4	493,2	604,4	454,4	278	190,4	101,9
2022	2,3	214,5	398,1	522,2	622,7	595	706,5	363,7	338,9	277,2	341,3	388,1
2023	86,3	41,3	215,4	484,3	715,5	471,1	510,9	403	423,7	235,5	346,6	159

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

Tabla 29. Caudales por intervalos de 200.

Intervalos de caudal	# Caudales	
1100	900	1
900	700	14
700	500	26
500	300	37
300	100	26
100	0	16
	Suma	120

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

Posteriormente, se obtuvo la frecuencia de los datos por la siguiente expresión:

Ecuación 19. frecuencia de los datos

$$Frecuencia (\%) = \frac{N^{\circ} \text{ Caudales}}{\text{Total Datos}}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Así obteniendo como resultado:

Tabla 30. Frecuencia de Caudales.

Intervalos de caudal		# Caudales	Frecuencia
1100	900	1	0,83%
900	700	14	11,67%
700	500	26	21,67%
500	300	37	30,83%
300	100	26	21,67%
100	0	16	13,33%
Suma		120	

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

Teniendo en cuenta esto, con el fin de construir la gráfica se realizó una acumulación de las frecuencias, donde se obtuvo:

Tabla 31. Frecuencia acumulada de Caudales.

Intervalos de caudal		# Caudales	Frecuencia	Acumulada
1100	900	1	0,83%	1%
900	700	14	11,67%	13%
700	500	26	21,67%	34%
500	300	37	30,83%	65%
300	100	26	21,67%	87%
100	0	16	13,33%	100%
Suma		120		100%

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

Adicionalmente se identificó cual fue es el caudal máximo y mínimo obtenidos de la estación:

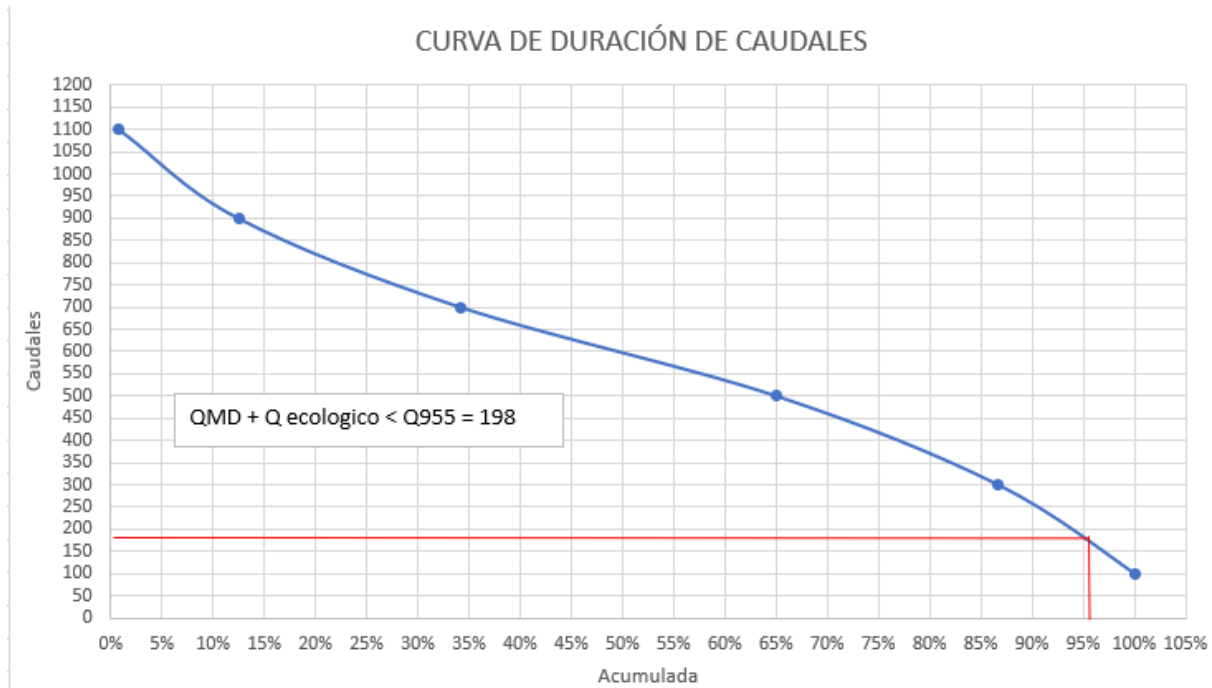
Tabla 32. Caudal máximo y mínimo por estación.

#datos	120
Q max (L/s)	1052
Q min (L/s)	2

Fuente: Elaboración Propia. (2025)

Una vez obtenidos estos datos, se procedió a graficar los intervalos del caudal con respecto a la frecuencia acumulada, donde además se estableció el Q95.

Gráfico 6. Curva de duración de caudales.



Fuente: Elaboración Propia.(2025)

Finalmente, por medio de la gráfica se idéntico que el Q95 para la quebrada el Tunjo corresponde a 198 LPS, teniendo en cuenta esto y el cálculo del QD anteriormente realizado; se puede establecer que para llevar a cabo el proyecto es posible realizar el abastecimiento de agua por medio de esta fuente de agua.

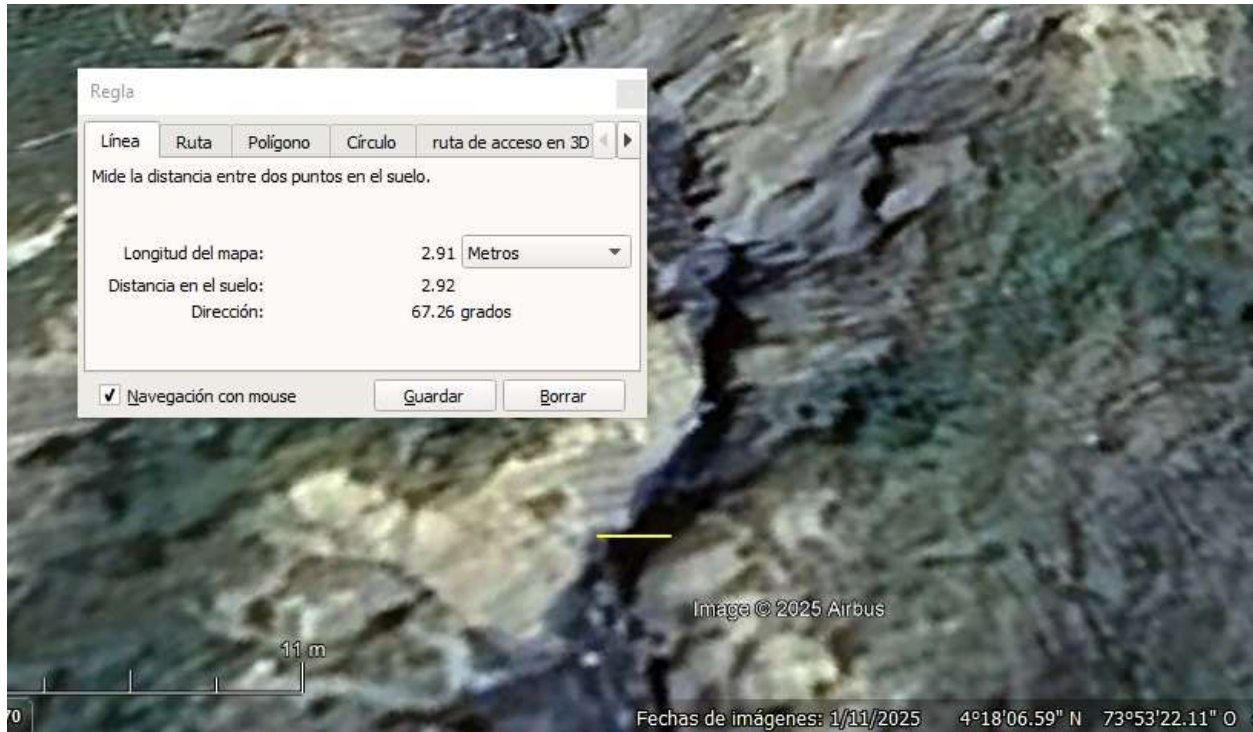
20. DISEÑO DE BOCATOMA

20.1. Datos de la quebrada seleccionada

De acuerdo con los datos correspondientes de la fuente de abastecimiento (Quebrada El Tunjo) y del punto de captación, se obtuvo un ancho del arroyo de 2,91 m valor obtenido mediante la interpretación de imágenes satelitales y herramientas de análisis geoespacial como Google Earth Pro, por limitaciones logísticas y de acceso, el estudio topográfico fue realizado de forma digital, sin mediciones directas en campo. Esta metodología permitió identificar las características

geométricas generales del cauce, necesarias para el diseño preliminar de la bocatoma. y según lo establecido por la estación Susumuco se halló un Q_{max} de la quebrada El Tunjo de 1052 L/s.

Ilustración 24. Ancho de la Quebrada El Tunjo en punto de captación.



Fuente: Google Earth (2025)

Tabla 33. Datos de la Quebrada El Tunjo en punto de captación.

Datos de la quebrada El Tunjo	
Ancho (m)	2,91
Q_{max} (l/s)	1052
Q_{max} (m ³ /s)	1,052

Fuente: Elaboración propia

20.2. Selección de la bocatoma

Teniendo en cuenta las condiciones y dimensiones de la quebrada, se pretende realizar una intervención de la fuente de abastecimiento por medio de una bocatoma de fondo, ya que el ancho del arroyo (2,91 m) permite realizar una captación de este tipo. Cuanto se tenga una

fuentes hídricas con un ancho mayor, es recomendable realizar una captación por medio de una bocatoma lateral.

20.3. Caudal de diseño

Según lo establecido en la resolución 0330 de 2017 y concretamente en el artículo 47, el caudal de diseño necesario para una captación superficial es de 2 veces el QMD. Para este diseño se halló un QMD de 1,6 L/s.

Tabla 34. Caudal de diseño para las estructuras hidráulicas.

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	QMD

Fuente: RES 0330 de 2017

Tabla 35. Caudal de diseño para la captación de fuente superficial (bocatoma lateral).

QMD (l/s)	1,60
Q diseño (l/s) (2*QMD)	3,20

Fuente: RES 0330 de 2017

20.4. Diseño del vertedero de captación

Se propone un vertedero de fondo rectangular con una longitud (L_v) de 0,40 m y se determina la altura del vertedero (H_v) de la siguiente manera:

Ecuación 20. altura del vertedero

$$H_v = \left(\frac{Q}{1.84 L} \right)^{2/3}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Con esto, se halla la velocidad de captación (V_c) de 0,30 m/s, dando cumplimiento a las normas de diseño, las cuales establecen que la velocidad de captación se debe encontrar entre 0,3 m/s y 3 m/s.

Tabla 36. Dimensiones y velocidad del vertedero de captación.

Vertedero de captación (de fondo rectangular)	
Lv (m)	0,40
Hv (m)	0,03
Vc (m/s)	0,30

Fuente: Elaboración propia

20.5. Dimensionamiento de la rejilla de captación

20.5.1. Base de la rejilla

Para determinar la base de la rejilla es necesario tener en cuenta el alcance máximo del chorro (X_s) el cual se halla como:

Ecuación 21. alcance máximo del chorro

$$X_s = 0,36V_c^{2/3} + 0,60H_v^{4/7}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Se encuentra un valor de $X_s = 0,24$ m y con fines constructivos se establece un borde libre de 0,16 m para tener una base de rejilla (B_c) de 0,40 m.

Tabla 37. Dimensiones de la rejilla de captación.

Dimensionamiento de la rejilla de captación	
Base de la rejilla	
X_s (m)	0,24
BL (m)	0,16
Bc (m)	0,40

Fuente: Elaboración propia

20.5.2. Selección del diámetro, espaciamento entre barros.

Se establecen barros de 5/16" y con finalidades constructivas se establece una distancia entre barros de 2,0 cm, obteniendo una eficiencia de captación del 72%.

Tabla 38. Configuración constructiva de la rejilla de captación.

Selección del diámetro, espaciamento y #barros		
	"	cm
S (")	0,80	2,0
d (")	5/16"	0,79
Eficiencia captación	72%	

Fuente: Elaboración propia

20.5.3. Longitud de la rejilla y N° de barros

Se determina el área total de la rejilla, encontrando a su vez la longitud de la misma ($L_r = 0,12$ m) y el N° de barros, el cual se halla como:

Ecuación 22. N° de barros

$$\#barros = \frac{L_r + d}{S + d}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Tabla 39. Área y N° de barros de la rejilla de captación.

A neta (m ²)	0,04
A total (m ²)	0,05
L_r (m)	0,12
N° barros	5

Fuente: Elaboración propia

20.6. Diseño de la canaleta de recolección

La canaleta de recolección se propone como una sección rectangular con una inclinación del 3% y un muro con un espesor de 0,10 m. Teniendo en cuenta estas condiciones iniciales se determinó la profundidad crítica (Y_c) y profundidad normal ($Y_n = h_o$) de la canaleta:

Ecuación 23. profundidad critica

$$Y_c = \left(\frac{Q^2}{b^2 * g} \right)^{1/3}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Ecuación 24. profundidad normal

$$h_0 = \left[2h_e^2 + \left(h_e - \frac{iL_c}{3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3} iL_c$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Con una profundidad normal de 0,03 m se establece un borde libre de 0,12 m, obteniendo constructivamente una altura de la canaleta de 0,15 m. A su vez se determina la longitud de la canaleta que se calcula como la longitud de la rejilla (L_r) sumado al espesor del muro (0,10 m) obteniendo una longitud de la canaleta de recolección de 0,22 m.

Tabla 40. Dimensiones constructivas para la canaleta de recolección.

Canaleta de recolección	
Sección	Rectangular
$h_e = Y_c$ (m)	0,02
i (%)	3%
L_c (m)	0,22
$h_o = Y_n$ (m)	0,03
BL (m)	0,12
H (m)	0,15

Fuente: Elaboración propia

20.7. Diseño de la cámara de recolección

Para el diseño de la cámara de recolección, se tiene en cuenta el alcance máximo del chorro ($X_s = 0,30$ m) y con fines constructivos se establece un borde libre de 0,1 m, para obtener una base de la cámara de recolección (B_{cr}) de 0,40 m. Además, se halla una velocidad hacia la cámara de 0,52 m/s, siendo una velocidad óptima (rango valido entre 0,3 y 3 m/s)

Tabla 41. Dimensiones constructivas para la canaleta de recolección.

Dimensionamiento de la cámara de recolección	
Yc (m)	0,02
B (m)	0,40
Vr = Vc (m/s)	0,52
Xs (m)	0,3
BL (m)	0,10
Bcr (m)	0,4

Fuente: Elaboración propia

20.8. Tubería de exceso

Para las características de la tubería de excesos, se tiene en cuenta el caudal máximo diario (QMD), encontrando que para transitar dicha cantidad de agua es necesario un diámetro de tubería de 2" por el cual recorrerán los excesos con una velocidad de 0,79 m/s.

Tabla 42. Dimensiones de la tubería de excesos.

Tubería de exceso	
V exceso (m/s)	1,5
Q exceso (m ³ /s)	0,0016
D exceso (m)	0,037
D exceso (")	1,45
D exceso (") comercial	2
D exceso (m)	0,051
V (m/s)	0,79

Fuente: Elaboración propia

20.9. Muro de salida

Para el diseño del muro se tiene en cuenta el caudal máximo que transita en la quebrada ($Q_{max} = 1,05 \text{ m}^3/\text{s}$) y teniendo en cuenta la longitud de la rejilla y el tipo de vertedero (rectangular) se estable una altura del muro de 1,27 m.

Tabla 43. Diseño del muro para la captación.

Diseño del muro	
Q max (m ³ /s)	1,05
Vertedero	Rectangular
Lv (m)	0,4
H muro (m)	1,27

Fuente: Elaboración propia

21. DISEÑO DEL DESARENADOR

21.1. Caudal de Diseño

Según la resolución 0330 de 2017 para el diseño de un desarenador, este se debe dimensionar en base al caudal máximo diario (QMD), en este caso de 1,60 L/s.

Tabla 44. Caudal de diseño para el diseño del desarenador.

Desarenador	
Q diseño (l/s)	QMD
QMD (l/s)	1,60

Fuente: Elaboración propia

21.2. Velocidad de Sedimentación

21.2.1. Viscosidad Cinemática

De acuerdo con los datos abiertos de la alcaldía municipal de Quetame, el territorio cuenta con una temperatura media de 20,0 °C. Por lo cual la viscosidad cinemática del agua en la quebrada El Tunjo es de 0,01007 cm²/s.

21.2.2. Velocidad de Sedimentación

Para establecer la velocidad de sedimentación es necesario tener en cuenta las características de la partícula crítica, en este caso, arenas con un diámetro de 0,05 mm y una densidad relativa de 2,65. Determinando la velocidad de sedimentación como:

Ecuación 25. velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{g}{18} \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} d^2 = Kd^2$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Tabla 45. Diámetro y velocidad de sedimentación de la partícula crítica.

d = diámetro de la partícula crítica	
d (mm)	0,05
ρ_s (arena)	2,65
ρ (H2O)	1
Velocidad de sedimentación	
Vs (cm/s)	0,223

Fuente: Elaboración propia

21.3. Tiempo de Sedimentación

Para hallar el tiempo de sedimentación, se determina el N° de Hazen el cual relaciona el tiempo real vs el tiempo ideal de sedimentación y se calcula como:

Ecuación 26. tiempo de sedimentación

$$\frac{\theta}{t} = \frac{\left(\frac{1}{1 - \%remoción} \right)^n - 1}{1/n}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Siendo el %remoción y el factor n, valores que se determinan de acuerdo al estado del de los deflectores del desarenador, en este caso al ser deflectores nuevos se toma un valor de n = 4 y un porcentaje de remoción del 87,5%. Proponiendo una altura del desarenador H = 1,5 m, se encuentra un tiempo de sedimentación de 0,51 horas (31 minutos), optimizando las dimensiones del desarenador ya que el tiempo de sedimentación se debe encontrar entre 0,5 y 4 horas.

Tabla 46. Tiempo de sedimentación de la partícula crítica de acuerdo a las dimensiones del desarenador.

Número de Hazen	
% remoción	87,5%
n	4
Θ/t	2,73
H (m)	1,5
t (s)	671,89
Θ (s)	1832,37
Θ (hora)	0,51

$$0,5 \text{ horas} \leq \Theta \leq 4 \text{ horas}$$

Fuente: Elaboración propia

21.4. Dimensiones del Desarenador

Tabla 47. Superficie del desarenador.

Volumen y dimensiones del tanque sedimentador	
Volumen (m3)	2,93
Área (m2)	1,96

Fuente: Elaboración propia

Para determinar las dimensiones del desarenador se propone una relación 4:1, por lo que la longitud del desarenador será 4 veces la base del mismo, y teniendo el área de la estructura sus dimensiones se determinan como:

Ecuación 27. dimensiones del desarenador

$$L = 4B \Rightarrow A = B * L \Rightarrow A = 4B^2$$

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

$$L = B * 4$$

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo como resultado unas dimensiones teóricas de:

Tabla 48. Dimensiones teóricas del desarenador.

Dimensiones teóricas	
Base (m)	0,70
Longitud (m)	2,80

Fuente: Elaboración propia

Con fines constructivos se establece una base de 1,0 m y una longitud de 4,0 m.

Tabla 49. Dimensiones constructivas del desarenador

Dimensiones constructivas	
Base (m)	1,00
Longitud (m)	4,00

Fuente: Elaboración propia

21.5. Comprobaciones de eficiencia del desarenador

21.5.1. Comprobación de La Carga Hidráulica

Se determina como:

Ecuación 28. Comprobación de La Carga Hidráulica

$$V_o = \frac{Q}{B * L}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Tabla 50. Comprobación de la carga hidráulica del desarenador.

Comprobación de la carga hidráulica	
q (m ³ /m ² *s)	0,000400216
q (m ³ /m ² *día)	34,58

Fuente: Elaboración propia

Encontrando que la carga hidráulica (34,58 m³/m²*d) se encuentra dentro de los valores establecidos de 15 m³/m²*d y 80 m³/m²*d.

21.5.2. Comprobación de la velocidad de la partícula crítica

Como la velocidad de la partícula crítica es mayor que la velocidad de sedimentación (V_0), la partícula estará en la zona 1 del desarenador y se sedimentará, por lo que la estructura trabajará de manera óptima.

Tabla 51. Comprobación de la velocidad de la partícula crítica.

Velocidad partícula crítica		
vo (cm/s)	0,040	< Vs = 0,223 cm/s

Fuente: Elaboración propia

21.5.3. Comprobación del régimen de flujo

Para el correcto funcionamiento del desarenador se debe asegurar un flujo laminar ($Re < 1$) el cual se calcula como:

Ecuación 29. Comprobación del régimen de flujo

$$Re = \frac{Vs * d}{\mu}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Tabla 52. Comprobación del régimen de flujo en el desarenador.

Comprobación del régimen	
Re	0,111 < 1
Vh (m/s)	0,0011
Vh (cm/s)	0,107
20 Vs (cm/s)	4,46

Fuente: Elaboración propia

Y a su vez se debe cumplir la siguiente condición:

Ecuación 30. condición

$$V_h < 20 V_s$$

Fuente: RES 0330 de 2017

21.5.4. Comprobación de suspensión

De acuerdo a la clasificación del suelo, se establece un tamaño de partícula de 0,05 mm y se considerará como una arena fina, con coeficiente $K = 0,04$ para arenas y el coeficiente $f = 0,03$ para sedimentación por gravedad. Como V_h es menor a V_r no hay resuspensión, por lo que se garantiza el correcto funcionamiento de la estructura.

Tabla 53. Comprobación de suspensión de las partículas.

Comprobación de suspensión	
K (arena)	0,04
f (gravedad)	0,03
d (cm)	0,005
Vr (cm/s)	9,29

Fuente: Elaboración propia

Ecuación 31. V_h menor a V_r

$$V_h < V_r = \sqrt{\frac{8k}{f} g(\rho_s - \rho)d}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

21.6. Diseño de la pantalla deflectora

21.6.1. N° de perforaciones

Para el diseño de la pantalla deflectora se proponen perforaciones de 8" y con una velocidad de paso de 0,53 cm/s, se determina un total de 9 perforaciones de 8 pulgadas distribuidos por la pantalla deflectora.

Tabla 54. Diseño de la pantalla deflectora.

Diseño pantalla deflectora	
Φ "	8
Φ (m)	0,203
A orificio (m ²)	0,032
L/4 (m)	1,0
V _p (cm/s)	0,53
A total (m ²)	0,3
N^o Orificios	9

Fuente: Elaboración propia

21.6.2. Distribución de las perforaciones

21.6.2.1. N^o de Perforaciones por Filas.

Se establece un recubrimiento de 25 cm y una distancia entre perforaciones de 20 cm de manera horizontal, obteniendo una cantidad de 3 perforaciones por cada fila a lo largo de la pantalla deflectora.

Tabla 55. N^o de perforaciones (filas).

N^o de perforaciones por filas	
Recubrimiento (cm)	25
Dis.Perforaciones (cm)	20
N^o de perforaciones x fila	3

Fuente: Elaboración propia

21.6.2.2. N^o de Perforaciones por Columnas.

Se propone un recubrimiento de 10 cm y una distancia entre perforaciones de 10 cm en sentido vertical, estableciendo una cantidad de 3 perforaciones por columna respecto a la altura de la pantalla deflectora.

Tabla 56.N° de perforaciones (columnas).

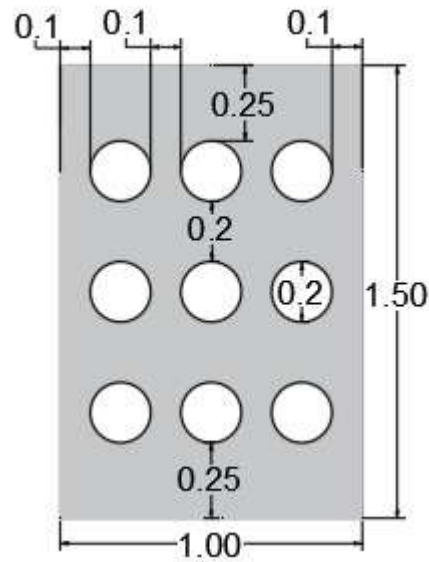
N° de perforaciones por columnas	
Recubrimiento (cm)	10
Dis.Perforaciones (cm)	10
Nª de perforaciones x fila	3

Fuente: Elaboración propia

21.6.2.3. Distribución de perforaciones en la pantalla deflectora.

Según el diseño propuesto la pantalla tiene un espacio para 9 perforaciones y de acuerdo con el diseño, se distribuyen las perforaciones de la siguiente manera:

Ilustración 25. Pantalla Deflectora.



Fuente: Elaboración propia

21.7. Diseño de La Zona de Lodos

La zona de lodos se ubica a una profundidad de 0,40 m y a una distancia de $L/3 = 1,30$ m, obteniendo una pendiente del 30% cumpliendo con lo establecido en la RES 0330 de 2017, la cual menciona que la zona de lodos debe presentar pendientes mayores al 10%.

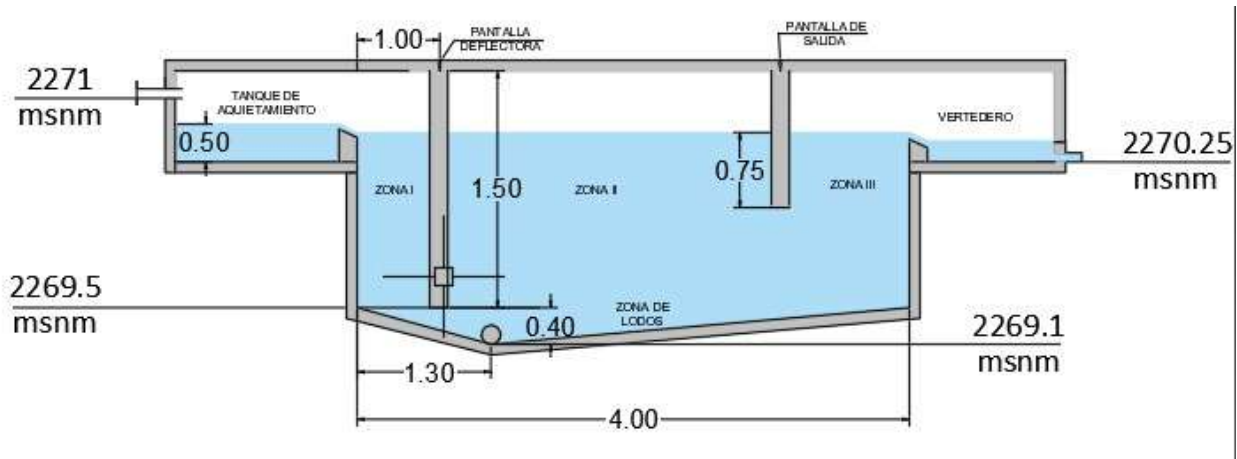
Tabla 57. Pendiente de la zona de lodos.

Pendiente de la zona de lodos	
Ld (m)	0,4
L/3 (m)	1,3
s (%)	30%

Fuente: Elaboración propia

21.8. Esquema del Desarenador

Ilustración 26. Esquema Desarenador.



Fuente: Elaboración propia

22. TRAZADO DE LA RED

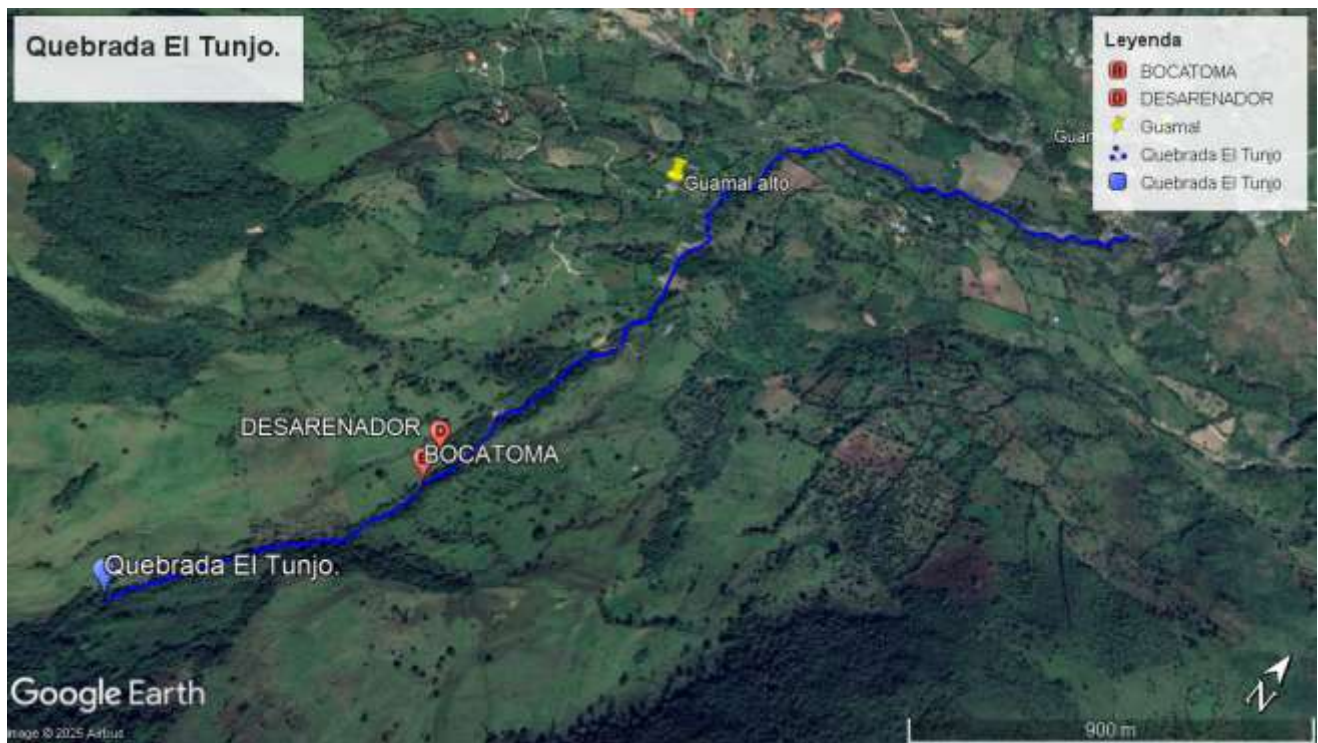
Para llevar a cabo la aducción, se identifica la necesidad de transportar el agua cruda, es decir, el agua sin tratamiento desde la captación hasta la planta de tratamiento, de esta manera, se contempla en la etapa de diseño el trazado del sistema de conducción y aducción teniendo en cuenta principalmente factores como la pendiente del terreno y los predios que comprenden el correspondiente trazado.

Además, desde el punto ambiental el trazado tiene en cuenta aspectos que influyen sobre las aguas, suelos, vegetación y población cercana como la longitud, condiciones geológicas y geomecánicas de los suelos que cruza, actividad sísmica de la zona, usos del suelo por el corredor previsto, tipo y número de cruces que se presentan (vías, fuentes superficiales, humedales, etc.),

vegetación predominante en los corredores de posible utilización e infraestructura actual existente a lo largo del trazado y proyectos futuros previstos.

Para esta alternativa de trazado, se tuvo en cuenta la información de la cartografía 247IIID, donde las curvas de nivel descienden de abajo hacia arriba desde la curva de nivel 2300 a la curva de nivel 1800.

Ilustración 27. Fuente de Abastecimiento Quebrada El Tunjo y Altura Media de Guamal.



Fuente: Google Earth Pro

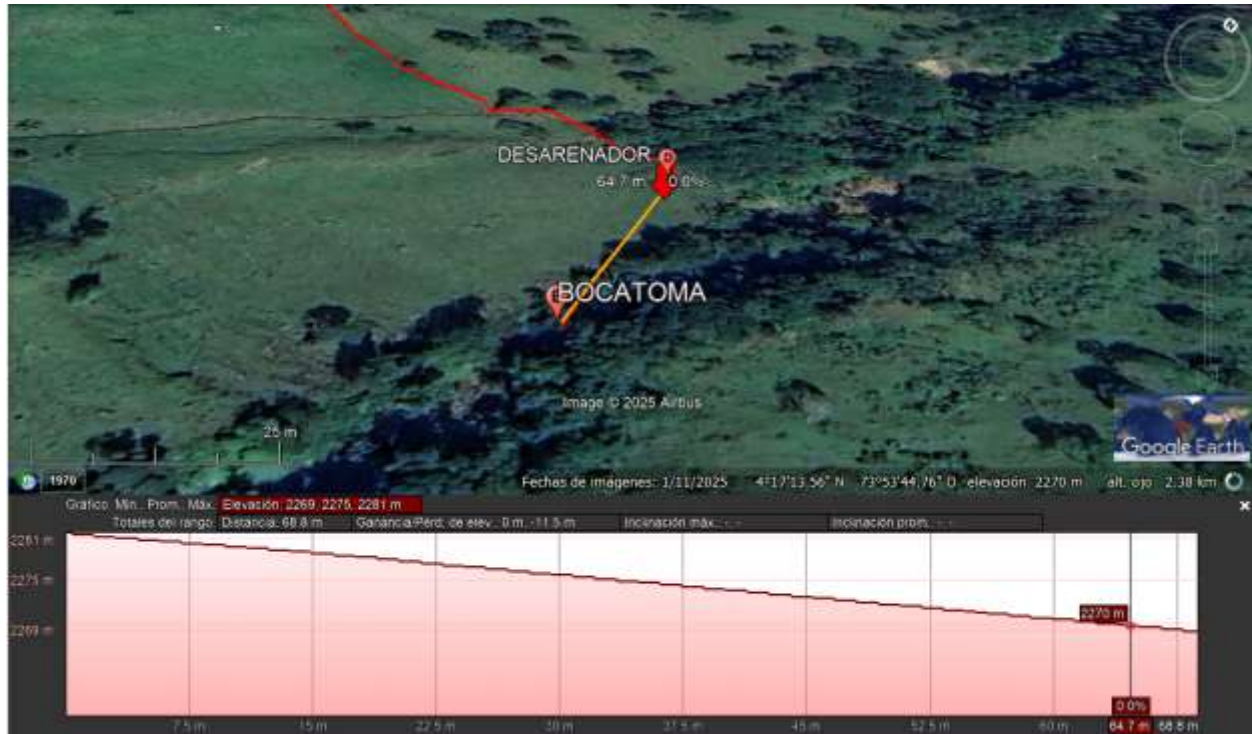
Teniendo en cuenta lo anterior, se decidió establecer el trazado para abastecer a las comunidades de las veredas de Guamal Alto y Guamal Bajo como se presenta a continuación:

22.1. Alternativa Trazado.

Para el trazado, se estableció una ubicación para la bocatoma y el desarenador de tal manera que existiera una distancia menor a 80 m entre estas dos y, además, que existiera una

pendiente baja la cual permitirá que el agua sea transportada en condición de flujo uniforme y lámina libre. Todo esto siendo previsto también para el futuro diseño de la aducción.

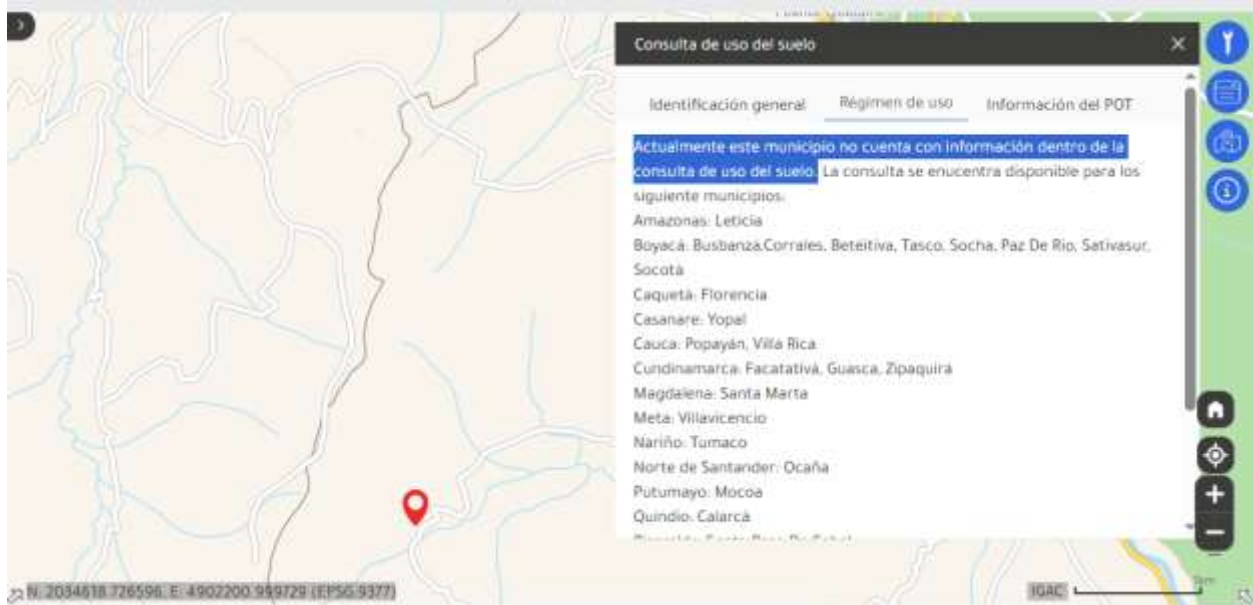
Ilustración 28.Ubicación y Longitud de Bocatoma y Desarenador



Fuente: Google Earth Pro

En la ilustración 24 se evidencia que la distancia entre la bocatoma y el desarenador es de 64.7 m y se cuenta con una inclinación del 1.1%. Con la ubicación de la bocatoma se procedió a realizar el trazado de la aducción, teniendo en cuenta predios y la geografía de la zona, para esto se utilizó como herramienta Google Earth Pro, el cual muestra las características del terreno.

Ilustración 29. Comprobación Uso del Suelo



Fuente: Geoportal IGAC

Ilustración 30. Comprobación de Predios



Fuente: Geoportal IGAC

Ilustración 31. Comprobación Uso Agrologico



Fuente: Geoportal IGAC

Teniendo en cuenta la ilustración 25 y 26 no se encontró información de los predios, aun así, se procuró que el trazado rodeara los predios comprendidos. Por otro lugar, según las clases agrologicas, el terreno puede ser usado para agricultura y ganadería con cultivos y pastos tolerantes al exceso de humedad debido a que baja capacidad de retención de humedad, alta permeabilidad y bajo contenido de nutrientes.

Ilustración 32.Propuesta de Trazado Bocatoma-PTAP.

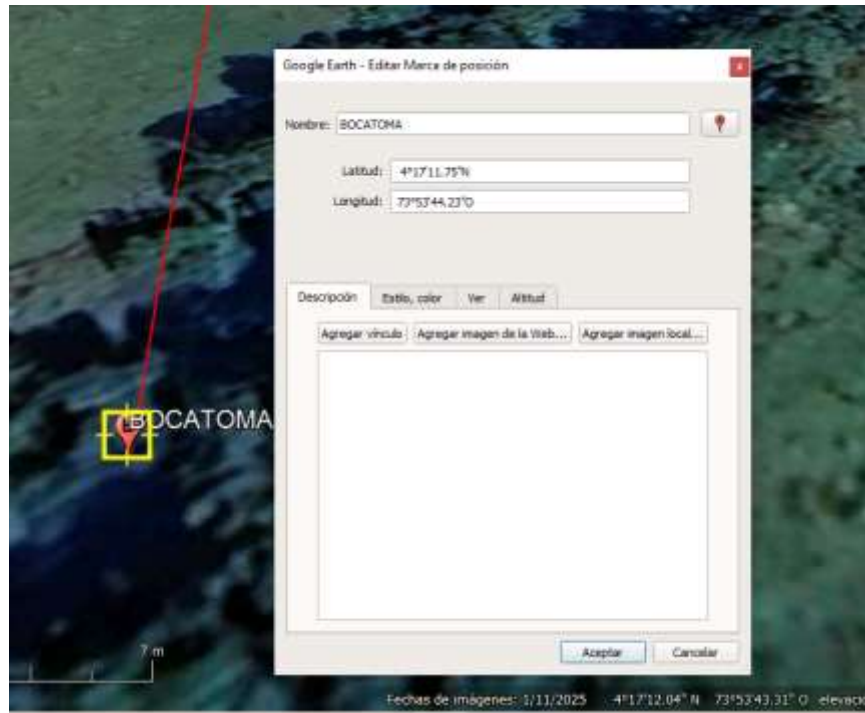


Fuente: Google Earth Pro

En la Ilustración 28, se puede observar que los niveles mínimos, promedio y máximo son de 2205 m, 2254m, y 2281 m respectivamente. La distancia total de este tramo es de aproximadamente 722 m, presenta una ganancia de elevación de 13.2 m. Presenta inclinaciones máximas de 25,1% y -34.1%, las inclinaciones promedio presentan valores de 8.1% y -13.6%.

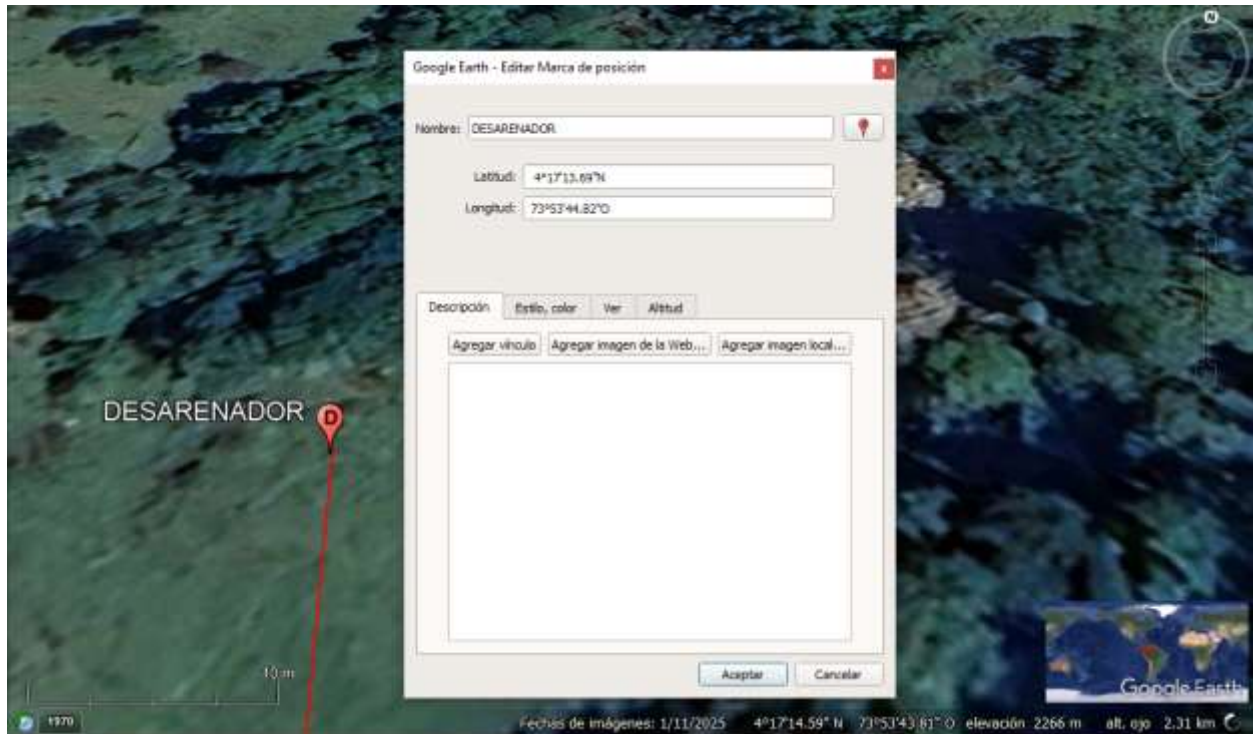
Este trazado permitiría trabajar con pendientes altas permitiendo que el flujo sea mediante gravedad y sea transportado en lámina libre, para este trazado se procuró que fuera lo más recto posible, evitando cortar cauces y asimismo predios privados.

Ilustración 33. Coordenadas Bocatoma en Trazado propuesto.



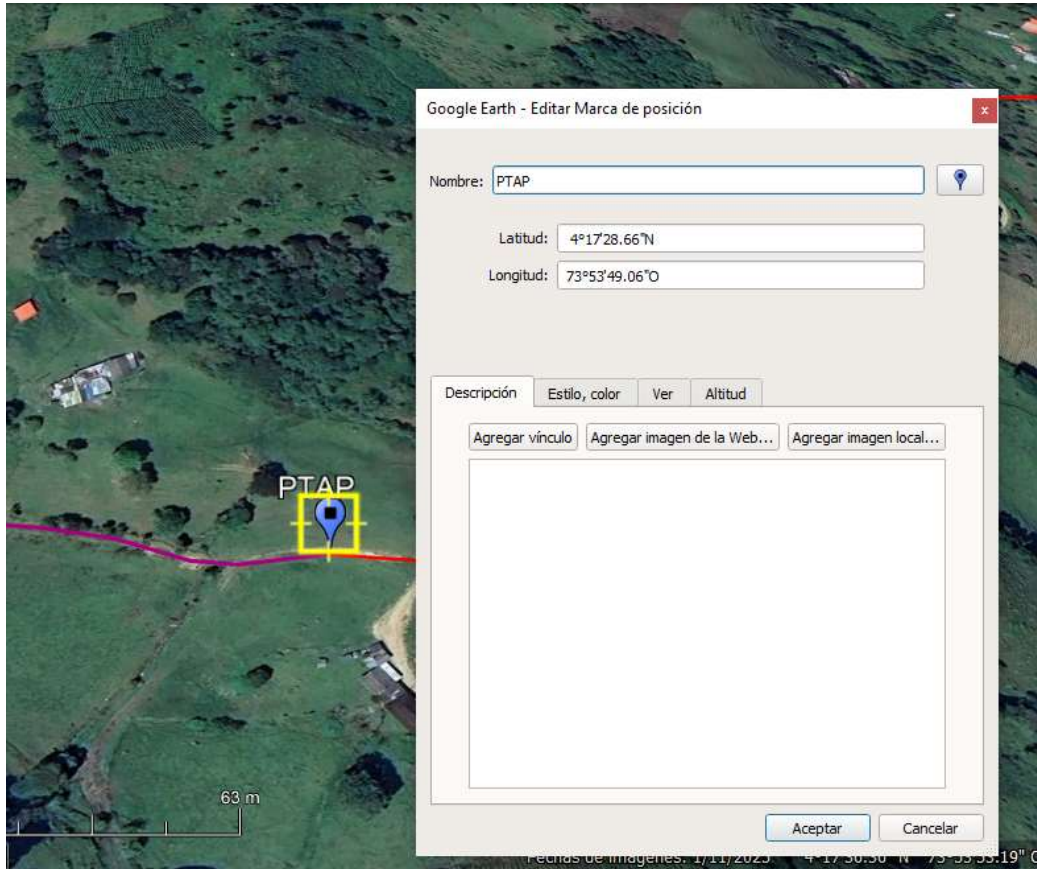
Fuente: Google Earth Pro

Ilustración 34. Coordenadas Desarenador en Trazado propuesto.



Fuente: Google Earth Pro

Ilustración 35.Coordenadas PTAP en Trazado propuesto.



Fuente: Google Earth Pro

23. DISEÑO DE LA ADUCCIÓN 1

23.1. Tramo bocatoma – desarenador

23.1.1. Caudal de diseño de la aducción

Por recomendaciones de diseño la RES 0330 de 2017 establece que el caudal de diseño para un tramo de aducción debe ser igual al QMD (1,60 L/s). De acuerdo al diseño de la cámara de recolección y las cotas obtenidas en el trazado, se establece una energía disponible de 50 cm

considerando las dimensiones de la cámara. Para la aducción se propone una tubería de PVC con un coeficiente de rugosidad de **Manning n=0,010** considerando las dimensiones y tamaños de la tubería que se requiere para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema.

Tabla 58.Datos iniciales del sistema de captación.

Tramo		Longitud (m)	So %	Q diseño (l/s)	n
Bocatoma	Desarenador				
2283,5	2271	61,11	20,45%	1,60	0,010

Fuente: Elaboración propia

Se determina un diámetro teórico y por condiciones constructivas se establece un diámetro comercial de 2”.

Ecuación 32. diámetro teórico

$$D = 1,548 \left(\frac{nQ}{S^2} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Tabla 59.Diámetro requerido para el sistema de aducción.

Diámetro teórico		Diámetro comercial	
(m)	(")	(")	(m)
0,033	1,31	2,00	0,051

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente al obtener datos como la pendiente, diámetro comercial y material de la tubería, se procede a calcular el Q_0 en L/s, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 33. Q_0

$$Q_0 = \frac{\left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} S^{1/2}}{n} = 0.321 \left(\frac{D^{8/3} S^{1/2}}{n} \right)$$

Fuente: RES 0330 de 2017

- **Relaciones hidráulicas.**

Para las relaciones hidráulicas en la cual se tiene en cuenta el valor de Q/Q_0 donde Q será el caudal de diseño y el Q_0 previamente calculado. El punto importante de estas relaciones hidráulicas, es el parámetro de Autolimpieza (y/d) el cual no debe ser mayor a 0,85 (la tubería debe estar llena como máximo al 85% del diámetro de la tubería) para asegurar el funcionamiento de la tubería y el sistema.

Tabla 60. Relaciones hidráulicas respecto al caudal obtenido.

Relaciones hidráulicas					
Q_0 (l/s)	Q/Q_0	V/V_0	Y/d	R/R_0	H/D
5,14	0,31	0,732	0,431	0,907	0,328

Fuente: Elaboración propia

Comportamiento de la aducción.

Tabla 61. Comportamiento de la lámina de agua en la tubería.

V_0 m/s	V m/s	y m	R m	Esfuerzo cortante Pa
2,535	1,86	0,02	0,01	23,14

43%

Porcentaje que cubre la lamina de agua en la tubería

Fuente: Elaboración propia

Como se puede evidenciar, se determina que la velocidad real a la que se transportará el agua es de 1,86 m/s, lo cual cumple con el rango recomendado entre el cual se debe encontrar esta velocidad ($0,5 \text{ m/s} < V < 3 \text{ m/s}$). Y a su vez se muestra que el tubo se encontrará cubierto de agua en un 43%, asegurando la condición de flujo libre en la aducción.

Energía disipada por el sistema.

Tabla 62. Energía del sistema de aducción.

E real		E disponible		E sobrante
m	cm	m	cm	cm
0,20	19,75	0,50	50	30,25

$$E = x + y + \frac{v^2}{2g}$$

39%

Se usa el 39% de la energía disponible

Fuente: Elaboración propia

Al calcular la energía real disipada por el sistema, se encuentra que la aducción disipa 19,75 cm, lo que se traduce en un 39% de la energía disponible, por lo que se deben proponer accesorios que permitan disipar la energía sobrante que en este caso corresponde a 30,25 cm, teniendo en cuenta que como se menciona, se tiene una energía disponible de 50 cm.

Accesorios.

Para poder disipar la energía sobrante, fue necesario proponer ciertos accesorios en el sistema, para ello se hizo uso de la tabla de coeficientes de pérdida de algunos accesorios.

Tabla 63. Coeficientes de pérdida de accesorios.

Coeficientes de pérdida de algunos accesorios	
Elemento	K
Reducción gradual*	0,15
Ampliación gradual*	0,30
Compuerta abierta	1,00
Válvula abierta:	
de mariposa	5,00
de compuerta	0,20
de globo	10,00
Te de paso directo	0,60
Te de paso lateral	1,30
Te salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50
Entrada normal al tubo	0,50
Entrada de borda	1,00
Salida del tubo	1,00

* Con base en la velocidad mayor.

Tabla 64. Accesorios y energía disipada.

K global	Accesorios				E total	
	Entrada de borda al tubo		Salida del tubo		Accesorios (m)	E total (cm)
	K c/u	#Accesorios	K c/u	#Accesorios		
1,72	1,00	1	1,00	1	0,301	49,9

Energía disponible (cm)	50
Energía disipada (cm)	49,9

Fuente: Elaboración propia

Se propusieron 2 accesorios para la disipación de energía, el primero es una entrada de borda al tubo con coeficiente K de 1,0 y el otro fue una salida del tubo con coeficiente K de 1,0, los cuales funcionan de manera eficiente al disipar toda la energía.

24. DISEÑO DE ADUCCIÓN 2

24.1. Desarenador – PTAP

24.1.1. Caudal de diseño de la aducción

Por recomendaciones de diseño la RES 0330 de 2017 establece que el caudal de diseño para un tramo de aducción debe ser igual al QMD (1,60 L/s). Se establece una energía disponible de 75 cm considerando las dimensiones del desarenador. Para la aducción se propone una tubería de PVC con un coeficiente de rugosidad de **Manning n=0,010** considerando las dimensiones y tamaños de la tubería que se requiere para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema.

Tabla 65.Datos iniciales de la aducción Desarenador- PTAP.

Tramo		Longitud (m)	So %	Q diseño (l/s)	n
Desarenador	PTAP				
2270,25	2205	655	9,96%	1,60	0,010

Fuente: Elaboración propia

Se determina un diámetro teórico y por condiciones constructivas se establece un diámetro comercial de 2”.

Ecuación 34. diámetro teórico

$$D = 1,548 \left(\frac{nQ}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Tabla 66.Diámetro requerido para el sistema de aducción 2.

Diámetro teórico		Diámetro comercial	
(m)	(")	(")	(m)
0,038	1,49	2,00	0,051

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente al obtener datos como la pendiente, diámetro comercial y material de la tubería, se procede a calcular el Q_0 en L/s, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 35. Q_0

$$Q_0 = \frac{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} S^{1/2}}{n} = 0.321 \left(\frac{D^{8/3} S^{1/2}}{n}\right)$$

Fuente: RES 0330 de 2017

- **Relaciones hidráulicas.**

Para las relaciones hidráulicas en la cual se tiene en cuenta el valor de Q/Q_0 donde Q será el caudal de diseño y el Q_0 previamente calculado. El punto importante de estas relaciones hidráulicas, es el parámetro de Autolimpieza (y/d) el cual no debe ser mayor a 0,85 (la tubería debe estar llena como máximo al 85% del diámetro de la tubería) para asegurar el funcionamiento de la tubería y el sistema.

Tabla 67. Relaciones hidráulicas respecto al caudal obtenido 2.

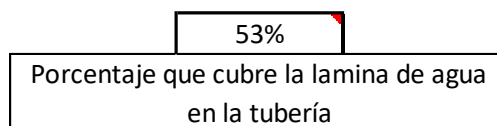
Q_0 (l/s)	Relaciones hidráulicas				
	Q/Q_0	V/V_0	Y/d	R/R_0	H/D
3,59	0,45	0,822	0,53	1,043	0,422

Fuente: Elaboración propia

Comportamiento de la aducción.

Tabla 68. Comportamiento de la lámina de agua en la tubería 2.

V_0 m/s	V m/s	y m	R m	Esfuerzo cortante Pa
1,769	1,45	0,03	0,01	12,96



Fuente: Elaboración propia

Como se puede evidenciar, se determina que la velocidad real a la que se transportará el agua es de 1,45 m/s, lo cual cumple con el rango recomendado entre el cual se debe encontrar esta velocidad ($0,5 \text{ m/s} < V < 3 \text{ m/s}$). Y a su vez se muestra que el tubo se encontrará cubierto de agua en un 53%, asegurando la condición de flujo libre en la aducción.

Energía disipada por el sistema.

Tabla 69. Energía del sistema de aducción 2.

E real		E disponible		E sobrante
m	cm	m	cm	cm
0,13	13,47	0,75	75	61,53

$$E = z + y + \frac{v^2}{2g}$$

18%

Se usa el 18% de la energía disponible

Fuente: Elaboración propia

Al calcular la energía real disipada por el sistema, se encuentra que la aducción disipa 13,47 cm, lo que se traduce en un 18% de la energía disponible, por lo que se deben proponer accesorios que permitan disipar la energía sobrante que en este caso corresponde a 61,53 cm, teniendo en cuenta que como se mencionó, se tiene una energía disponible de 75 cm.

Accesorios.

Para poder disipar la energía sobrante, fue necesario proponer ciertos accesorios en el sistema, para ello se hizo uso de la tabla de coeficientes de pérdida de algunos accesorios.

Elemento	K
Reducción gradual*	0,15
Ampliación gradual*	0,30
Compuerta abierta	1,00
Valvula abierta:	
de mariposa	5,00
de compuerta	0,20
de globo	10,00
Te de paso directo	0,60
Te de paso lateral	1,30
Te salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50
Entrada normal al tubo	0,50
Entrada de borda	1,00
Salida del tubo	1,00

* Con base en la velocidad mayor.

Tabla 70. Accesorios y energía disipada 2.

K global	Accesorios						E total	
	Entrada normal al tubo		Valvula de mariposa		Salida del tubo		Accesorios (m)	E total (cm)
	K c/u	#Accesorios	K c/u	#Accesorios	K c/u	#Accesorios		
5,7	0,50	1	5,00	1	1,00	1	0,614	74,9

Energía disponible (cm)	75
Energía disipada (cm)	74,9

Fuente: Elaboración propia

Se propusieron 3 accesorios para la disipación de energía, el primero es una entrada normal al tubo con coeficiente K de 0,5, el segundo es una válvula de mariposa con coeficiente K de 5,0 y el tercero es una salida del tubo con coeficiente K de 1,0, los cuales funcionan de manera eficiente al disipar toda la energía.

25. DISEÑO DE SUCCIÓN – IMPULSIÓN

El uso de una bomba y el diseño de un tramo de succión e impulsión en este sistema fue necesario para garantizar que el agua llegue al tanque de donde iniciará la distribución a través de

la red. La bomba se plantea con el objetivo de superar las diferencias de nivel presentes en la topografía y optimiza la distribución del agua, asegurando un suministro eficiente a toda la zona.

25.1. Tramo: Desarenador-Bomba-Tanque.

Inicialmente se identifica el caudal de diseño para este tramo de conducción, el cual de acuerdo a la RES 0330 de 2017 se diseña en base al QMD (1,60 L/s)

25.1.1. Velocidad y Diámetros Comerciales.

Para el proceso de impulsión se tienen en cuenta diferentes aspectos como la succión, que es el proceso en el que una bomba extrae agua de una fuente (desarenador) antes de impulsarla. El proceso implica aspirar el agua hacia la bomba, venciendo la altura de succión y llevando el agua al punto requerido, en este caso la planta de tratamiento de agua potable (PTAP).

Por ende, se tienen en cuenta tanto el tramo de impulsión como de succión, para ello se va iterando la velocidad de impulsión y a su vez se cambia el diámetro comercial, respecto al teórico, teniendo este, se puede establecer un diámetro comercial para la tubería de Succión, teniendo en cuenta que este tiene que ser al menos un diámetro comercial mayor al de impulsión y se verifica, garantizando que la velocidad de succión tiene que estar en un rango de 0,6 a 1 m/s.

- Por estas razones se propone una velocidad inicial de impulsión de 1,5 m/s para así obtener un diámetro comercial de 1 ½ "
- Mientras que para la tubería de succión se establece un diámetro comercial de 2" con el cual cumple con el rango de la velocidad (0,8 m/s).

Tabla 71. Velocidad y diámetro de las tuberías de impulsión y succión.

Tubería de impulsión	
Vi (m/s)	1,5
Diámetro teórico	
D (m)	0,037
D (")	1,45
Diámetro comercial	
D (m)	0,038
D (")	1,50
Vi (m/s)	1,40

Tubería de succión	
Diámetro comercial	
D (m)	0,051
D (")	2,00
Vs (m/s)	0,8

Fuente: Elaboración propia

25.1.2. Pérdidas por Fricción.

Por otra parte, para poder determinar las pérdidas por fricción, fue necesario hallar el número de Reynolds, teniendo en cuenta la tabla de viscosidad cinemática según la temperatura del municipio de Quetame donde se llevará a cabo el Proyecto. Además, se tiene en cuenta, la rugosidad absoluta para el material de PVC que es el empelado en estas tuberías.

Tabla 72. Viscosidad cinemática y flujo en las tuberías de impulsión y succión.

μ = viscosidad cinemática	
T (°C)	20
μ (cm ² /s)	0,01007
μ (m ² /s)	0,000001007

Ecuación 36. número de Reynolds

$$Re = V * D / \mu$$

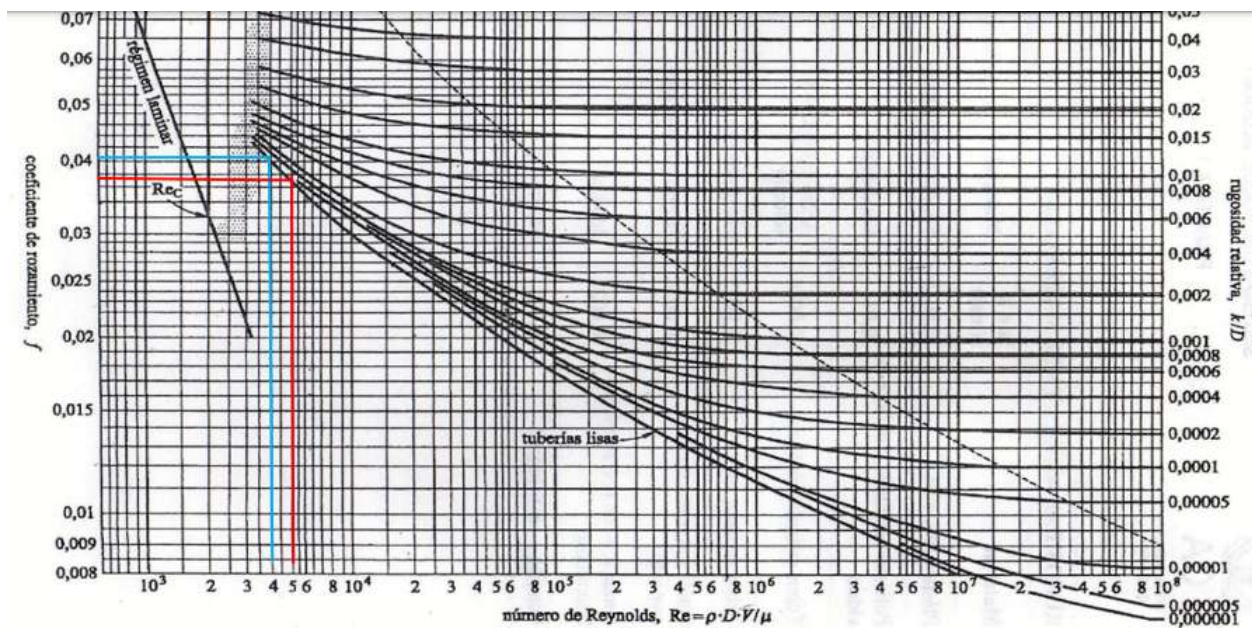
Fuente: RES 0330 de 2017

Tubería de impulsión		Rugosidad absoluta	Tubería de succión		Rugosidad absoluta
Re	53126		Re	39845	
ε (mm)	0,0015		ε (mm)	0,0015	
ε (m)	2,E-06		ε (m)	2,E-06	
ε/D	0,000039	ε/D	0,000030		

Fuente: Elaboración propia

- **Abaco de Moody**

Al tener el número de Reynolds y la Viscosidad Relativa (ϵ/D), podemos ubicarnos en el ábaco de Moody, para poder hallar el factor de fricción (f) de cada tubería.



Se determinan las longitudes de succión e impulsión, teniendo en cuenta que succión se refiere al tramo antes de la bomba e impulsión a lo que se encuentra después y de esta manera obtenemos el total de pérdidas por fricción.

Ecuación 37. Total de pérdidas por fricción

$$hf = f * \frac{L}{Dc \text{ (m)}} * \frac{Vi^2}{2g}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Tabla 73.Perdidas por fricción en las tuberías de impulsión y succión.

Pérdidas por fricción	Impulsión		Succión	
	Material	PVC	Material	PVC
	f	0,037	f	0,04
	L (m)	204	L (m)	146,00
hf (m)	19,91	hf (m)	3,66	

Fuente: Elaboración propia

25.1.3. Perdidas por Accesorios.

Para este sistema se establecieron diferentes accesorios, para el correcto funcionamiento. Sus coeficientes se tienen en cuenta de la tabla de coeficientes de perdida de algunos accesorios, mencionada anteriormente.

Succión: Primero se propuso una entrada y salida al tubo, además se optó por una válvula mariposa, pensando en cortar el flujo del agua de manera fácil, al momento que se requiera realizar arreglos en un futuro.

Impulsión: De igual manera se instaló una entrada y salida al tubo, además de una válvula VRT que nos permite regular presiones, en este punto es necesaria para revisar si en el tramo de la succión la presión es suficiente.

Se hace la sumatoria de perdidas por accesorios para luego multiplicarlo por la cabeza de velocidad y obtener las perdidas por accesorios.

Ecuación 38. perdidas por accesorios

$$h_a = \sum k_a * \frac{V_i^2}{2g}$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Tabla 74.Perdidas por accesorios en las tuberías de impulsión y succión.

Pérdidas por accesorios	Impulsión		Succión	
	Accesorio	K	Accesorio	K
	Entrada tubo	0,5	Entrada tubo	0,5
	V.VRT	10	V. mariposa	5
	1 codo 45°	0,45	Salida tubo	1
	Salida tubo	1	Total	6,5
	Total	11,95	ha (m)	0,21
	ha (m)	1,20		

Fuente: Elaboración propia

25.1.4. Altura de Bombeo Teórica.

Se calcula la diferencia entre las cotas, para la altura de impulsión (H_i) Se tiene en cuenta la cota de la bomba y el desarenador, mientras que en la de succión (H_s) se toma bomba y PTAP.

Tabla 75.Altura teórica para el bombeo.

Altura de bombeo teórica	
H_i	30
H_s	2
Cinetica	0,10
h_f (m)	23,56
h_a (m)	1,41
HB	57,1

Fuente: Elaboración propia

25.1.5. Bomba Seleccionada.

Para poder seleccionar la bomba se tiene en cuenta la Altura de Bombeo ya calculada (HB) y el caudal que se puede evidenciar ya sea en l/s, GPM ó m³/h. Estas se buscan en la página de Bombas de Ignacio Gómez, allí se encuentra una gran variedad de equipos y se selecciona la que más se ajuste a los requerimientos del sistema presentado.

Tabla 76. Caudal de diseño en diferentes unidades de medida.

HB	57,1
Q (l/s)	1,60
Q (GPM)	25
Q (M3/h)	5,8

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se opta por una bomba centrífuga de modelo 3X18-10TW-E3 la cual cuenta con características tales como: Caudal Máximo de 175 GPM, Caudal Medio de 130 GPM y una Altura Media de 58 m.

Ilustración 36. Bomba Seleccionada.



Centrifuga
 3X18-10TW-E3
 Electrobomba construida en hierro gris c1.30 con anillo de fricción en bronce.

Datos	
Conexión succión	1.1/2 Pulg. ANSI 125
Conexión descarga	1.1/4 Pulg. ANSI #12
Altura (ADT) Max	67 m
Caudal Max	175 GPM
Caudal medio	130 GPM
Altura media	58 m
Motor	Trifásico
Potencia	10 HP
Voltaje	220/440 V
Peso	89 Kg
Dimensiones	0.54/0.35/0.38 Mts

Fuente: Catalogo Ignacio Gómez.

25.1.6. NPSH disponible.

La NPSH disponible es la presión positiva de succión en el sistema de bombeo que indica la energía disponible para evitar la cavitación en la bomba y se determina como:

Ecuación 39. NPSH disponible

$$NPSH_{disp} = 10^5 * \frac{(p_l - p_v)}{\rho * g} - H_s - h_s$$

Donde:

p_l : Presión de líquido

p_v : Presión de vapor de líquido

ρ : Densidad del agua

g : Gravedad

H_s : Altura de succión

h_s : Perdidas de succión

La presión de vapor de líquido se determina de acuerdo a la temperatura a la cual se va a encontrar el agua, de acuerdo a información anterior donde se estableció que la temperatura media de Quetame es de 20 °C la presión de vapor será de 0,24 mca (0,024 bar) según la siguiente tabla:

Tabla 77. Presión de vapor de líquido según la temperatura

Temperatura (°C)	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
Tensión de vapor (mca)	0,06	0,08	0,12	0,24	0,43	0,75	1,26	2,03	4,83	10,33
Densidad (kg/m ³)	999,9	1.000	999,7	998,2	995,7	992,2	988,1	983,2	971,8	958,4

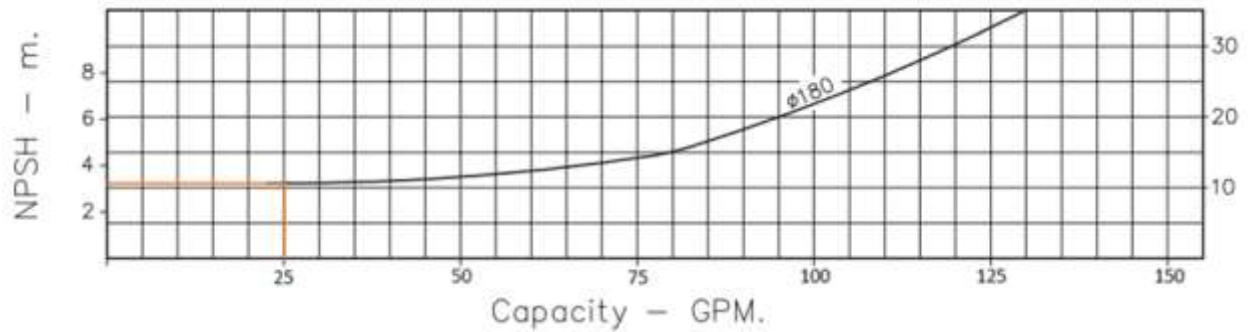
Fuente: Propia

Tabla 78. Cálculo NPSH disponible

Pl (bar)	1,00
Pv (bar)	0,024
ρ (kg/m ³)	998,2
Hs (m)	2,00
hs (m)	3,87
NPSH disp (m)	4,10

Fuente: Propia

Gráfico 7. NPSH requerido (documentación de la bomba)



Fuente: Ignacio Gómez

$$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req} + 0,5$$

$$4,10 \text{ m} \geq 3,10 + 0,50$$

$4,10 \text{ m} \geq 3,60 \text{ m}$

Se realiza el cumplimiento de NPSH asegurando el funcionamiento óptimo de la bomba y evitando la cavitación.

26. DISEÑO DEL TANQUE 1

Para diseño del cualquier tanque se debe tener en cuenta, que cuando se hace referencia al consumo es la cantidad de agua que sale del tanque, mientras que a lo que entra se le denomina suministro. Haciendo relación entre ambos tenemos dos condiciones:

Suministro	>	Consumo	Almacena
Suministro	<	Consumo	Distribuye

A partir del patrón de consumo se determina el porcentaje de consumo horario de la población de la vereda Guamal Alto y Guamal Bajo. A su vez se calcula el suministro horario al tanque, que, al ser constante, durante cualquier hora del día será igual.

Ecuación 40. %Suministro por horas

$$\%Suministro \text{ por horas} = \frac{100\%}{24 \text{ horas}} = 4,17\%$$

Fuente: RES 0330 de 2017

Mientras que el % de consumo se determina respecto al consumo horario de la población de Guamal. Para determinar el volumen útil del tanque es importante tener presente que el diseño del tanque se debe realizar a partir del caudal medio diario ($Q_{md} = 1,21 \text{ L/s}$) que se obtiene mediante el promedio de los datos del consumo horario.

Nota: Todos los demás cálculos con el resto de datos, respecto al diseño del tanque, se encuentran en la el libro de Excel, en la hoja denominada “Tanque”, en la carpeta de anexos.

26.1. Cálculo de operación del tanque

Se determinan las etapas del tanque y el volumen útil del mismo, encontrando el volumen que debe tener para cumplir con una correcta operación.

$$\text{Máximo volumen útil del tanque (\%)} = 9,31\% = 0,5 \text{ m}^3$$

Volumen Real del Tanque = $0,5 \text{ m}^3$

Tabla 79. Volumen útil del tanque.

QMD (l/s)	1,6
V _{QMD} (L)	5868
V _{QMD} (m ³)	5,868
V _{ur} (%)	9,31%
V_{ur} (m³)	0,5

Fuente: Elaboración propia

Se realiza un incremento del 20% en el volumen del tanque para que funcione como reserva contra incendios.

Tabla 80. Volumen útil del tanque con incremento por incendios.

Incremento por incendios	1,2	
V tanque (m³)	0,7	Volumen real del tanque

Fuente: Elaboración propia

26.2. Alternativa 1. Tanque rectangular

Tabla 81. Dimensiones Tanque Rectangular.

Dimensiones del tanque	
TANQUE RECTANGULAR	
H tanque (m)	1,0
Área (m ²)	0,66
Base tanque (m)	0,8

Fuente: Elaboración propia

Construcción de un tanque rectangular con una altura de 1,0 m y base de 0,8 x 0,8 m

26.3. Alternativa 2. Tanque circular

Tabla 82. Dimensiones Tanque Circular.

Dimensiones del tanque	
TANQUE CIRCULAR	
H tanque (m)	1,0
Área (m ²)	0,66
D tanque (m)	0,9

Fuente: Elaboración propia

Construcción de un tanque circular con una altura de 1,0 m y un diámetro de 0,9 m

26.4. Línea Energía

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a calcular la línea de energía, para la cual, se empleó una válvula de tipo mariposa y una cámara de quiebre en la abscisa 0+700 con el fin de cumplir los lineamientos de energía final se sección:

Tabla 83. Perdidas Unitarias, tramo Bocatoma PTAP

	CH	D	D (m)	V	J	ACCESORIOS	K	ha
BOCATOMA - DESARENADOR	130	2,00	0,051	1,9	1,73%	Entrada tubo	0,5	0,088
						Salida tubo	1	0,176
DESARENADOR - PTAP	130	2,00	0,051	1,45	1,73%	Entrada tubo	0,5	0,054
						V Mariposa	5	0,539
						Camara de quiebre		50,00
						Salida tubo	1	0,108

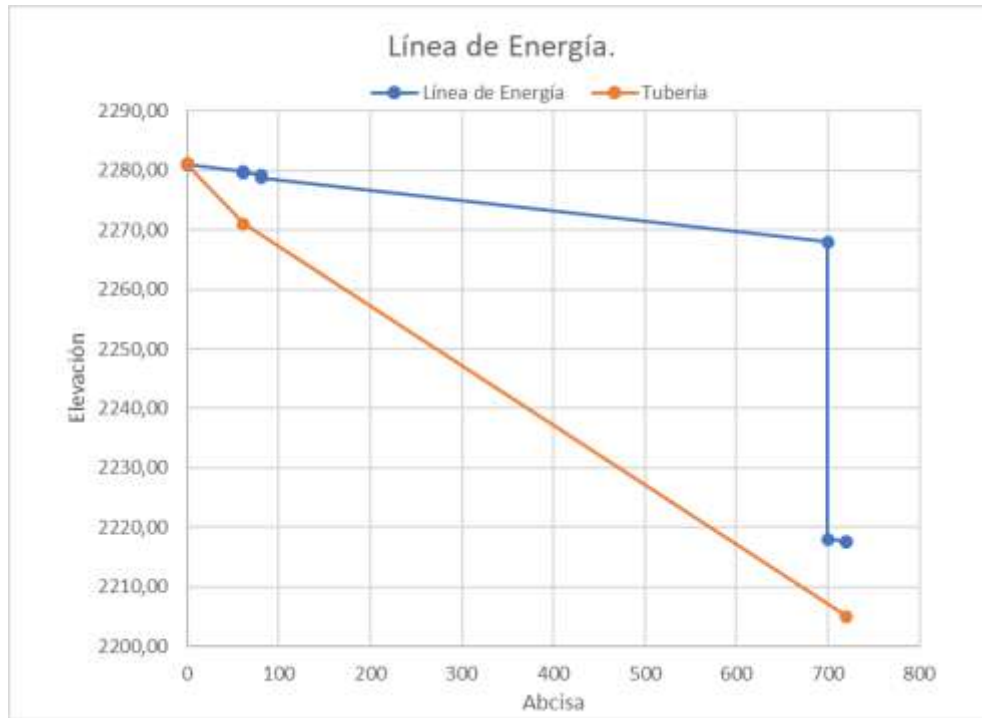
Fuente: Elaboración propia

Tabla 84. Cálculo de Línea de Energía.

	Abscisa	Línea de Energía	
BOCATOMA - DESARENADOR	0	2281,00	
	0	2281,00	
	0	2280,91	Entrada al tubo
	61,11	2279,85	
	61,11	2279,68	Salida del tubo
DESARENADOR - PTAP	61,11	2279,68	
	61,11	2279,62	Entrada al tubo
	81,11	2279,28	
	81,11	2278,74	V. Mariposa
	700,00	2268,00	
	700,00	2218,00	Camara de quiebre
	720,00	2217,65	
	720,00	2217,55	PTAP-Salida del tubo

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8. Línea de Energía.



Fuente: Elaboración propia

26.6. Línea piezométrica

Teniendo en cuenta los accesorios correspondientes se determinó su constante de pérdidas unitario, obteniendo:

Tabla 85. Perdidas Unitarias, Tramo PTAP-Tanque

TRAMO: PTAP-BOMBA-TANQUE								
	CH	D	D (m)	V	J	Accesorio	K	ha
Succión	140	2,00	0,051	0,8	1,51%	Entrada tubo	0,5	0,016
						V Mariposa	5	0,159
						Salida tubo	1	0,032
Impulsión	140	1,50	0,038	1,40	6,13%	Entrada tubo	0,5	0,050
						V VRT	10	1,004
						codo	0,45	0,045
						Salida tubo	1	0,100

Fuente: Elaboración propia

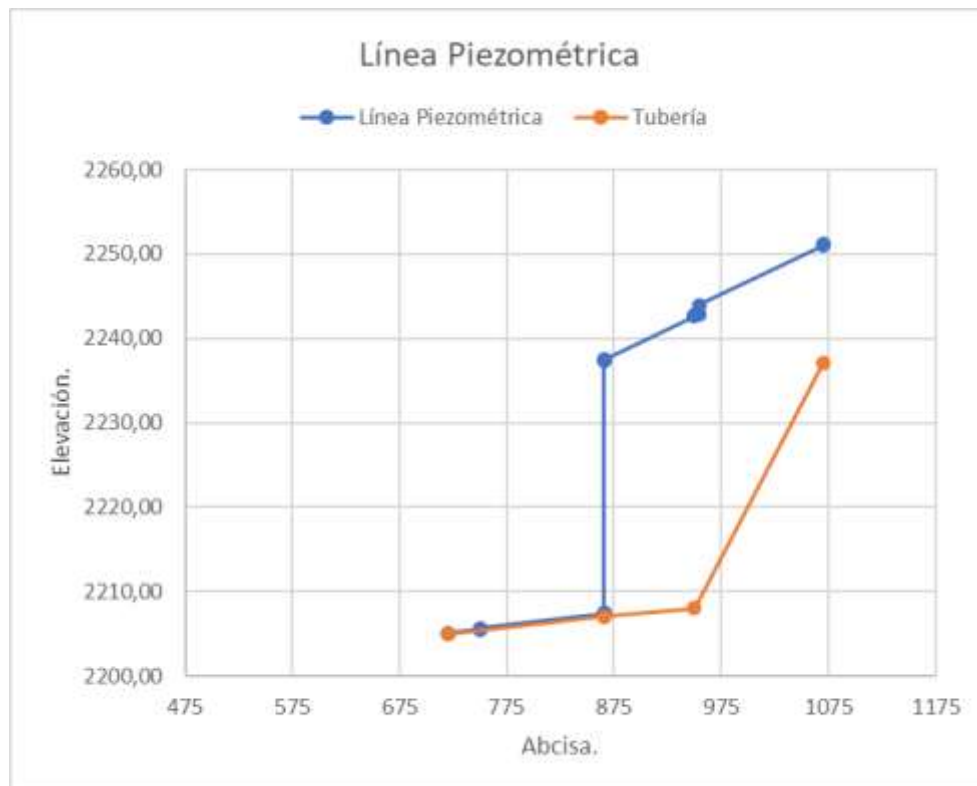
Se determinó la línea piezométrica:

Tabla 86. Cálculo línea Piezométrica

	Abscisa	Piezometrica	
Succión	720	2205,00	
	720	2205,00	
	720	2205,02	Entrada al tubo
	750,00	2205,47	
	750,00	2205,63	Válvula Mariposa
	866,00	2207,38	
	866,00	2207,41	Salida del tubo
Impulsion	866,00	2207,41	
	866,00	2237,41	Bomba
	866,00	2237,41	
	866,00	2237,46	Entrada al tubo
	950,00	2242,61	
	950,00	2242,66	Codo
	954	2242,90	
	954	2243,91	Válvula VRT
	1070,00	2251,02	
1070,00	2251,12	TANQUE-Salida del tubo	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9. Línea Piezométrica



Fuente: Elaboración propia

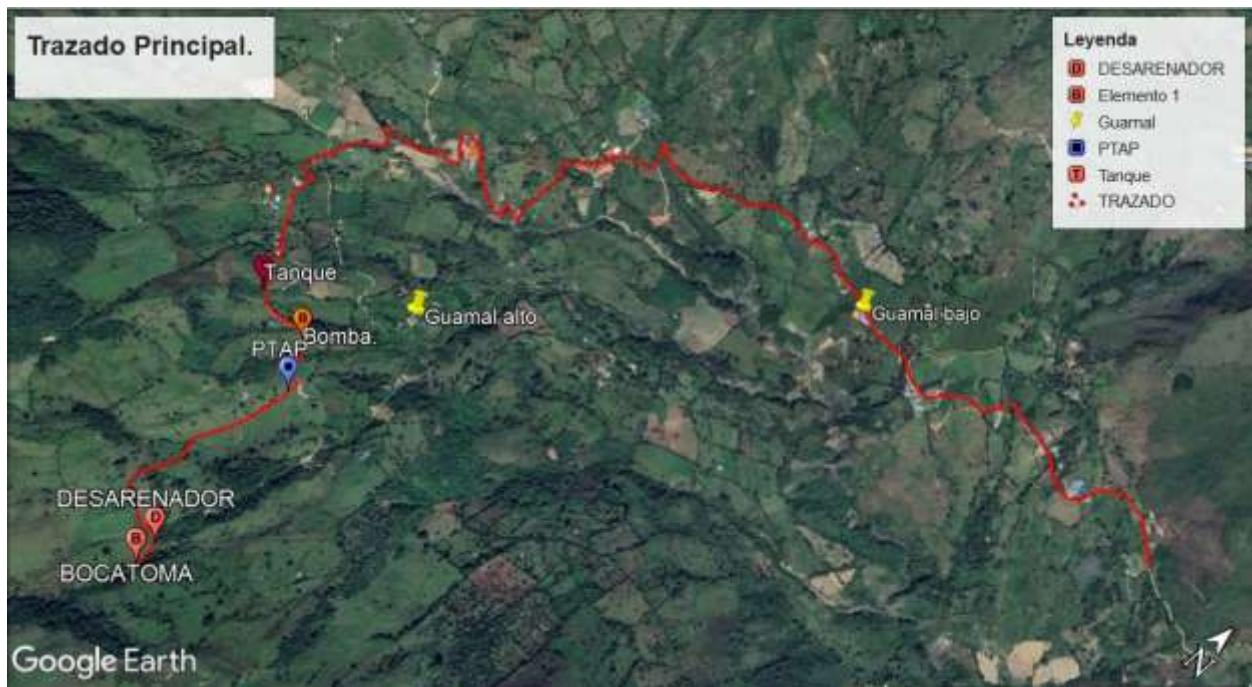
27. RED DE DISTRIBUCIÓN.

La red de distribución es aquella en la que se transporta el agua desde la planta de tratamiento o del tanque de almacenamiento hasta la conexión del servicio, es decir, el punto en el que el usuario puede hacer uso de ella, ya sea una toma de agua comunitaria o conexiones domiciliarias. Con estos sistemas se pretende preservar la calidad y la cantidad de agua, así como mantener las presiones suficientes en la distribución de esta.

27.1. Identificación de Red Principal

Para trazar la red principal de distribución de agua, lo primero que se consideró fue la demanda de agua para satisfacer el consumo de los usuarios y la topografía del área para adaptar el diseño al terreno de las veredas de Guamal Alto y Guamal Bajo. También se analizan la ubicación del tanque de suministro, las posibles rutas con menos interferencias y las normativas locales. Estos factores determinan cómo se disponen las tuberías principales y el diseño general de la red. Teniendo en cuenta estos diferentes aspectos, se realizó el trazado de la red principal, que dio como resultado:

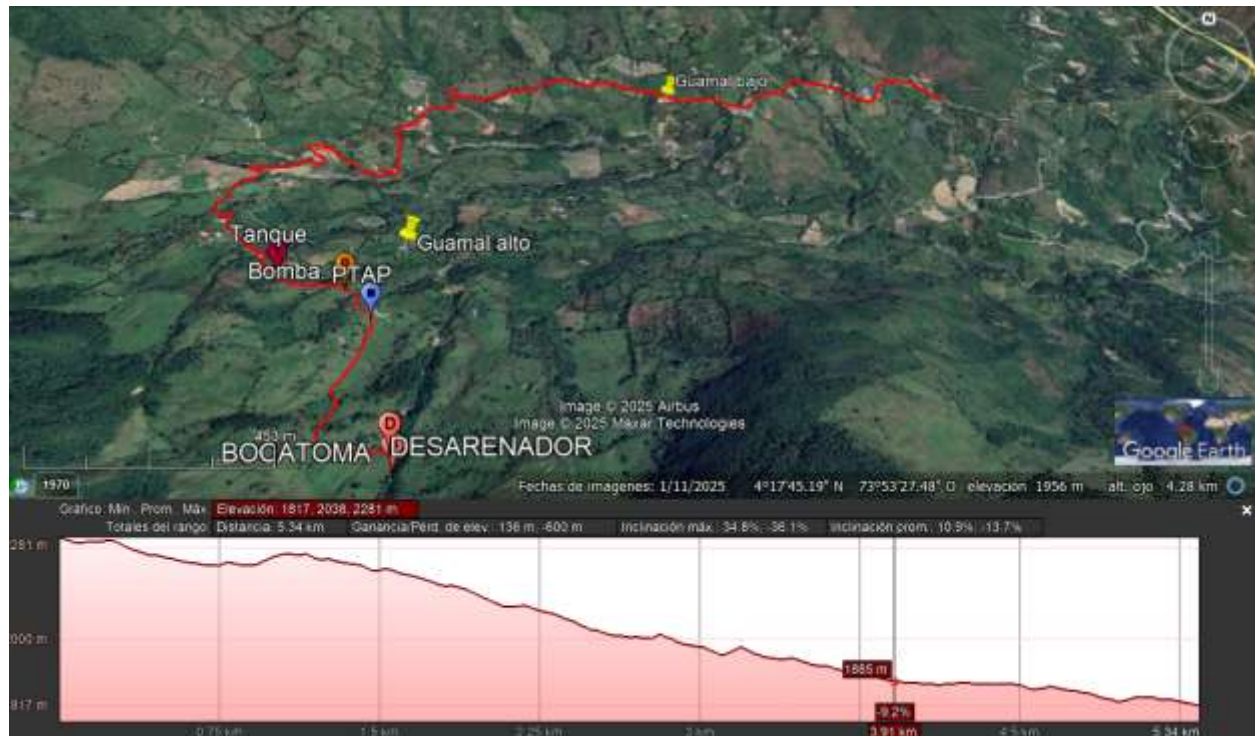
Ilustración 37. Trazado de la Red Principal.



Fuente: Google Earth

Elegir correctamente la red principal es esencial porque garantiza un suministro eficiente, buena presión, flexibilidad para conectar las tuberías secundarias y adaptación a la topografía. Esto asegura que toda la red funcione adecuadamente. De esta manera tenemos como red principal:

Ilustración 38. Perfil del trazado de la red principal.



Fuente: Google Earth

27.2. Puntos Clave de la Red Principal

Se trazan puntos clave en las redes malladas para mejorar el control del flujo, facilitar el mantenimiento, garantizar una distribución equitativa del agua y optimizar el diseño. Estos puntos permiten gestionar eficientemente la red y mantener su funcionamiento efectivo. Se establecieron 44 puntos para la distribución local para las diferentes viviendas e instituciones a las cuales se pretende garantizar el recurso hídrico. La red de distribución se compone de 4,8 km de tubería de PVC distribuida en 3 diferentes diámetros, además de dos bombas ubicadas al inicio y a 2,53 km del tanque de almacenamiento, los diámetros propuestos son:

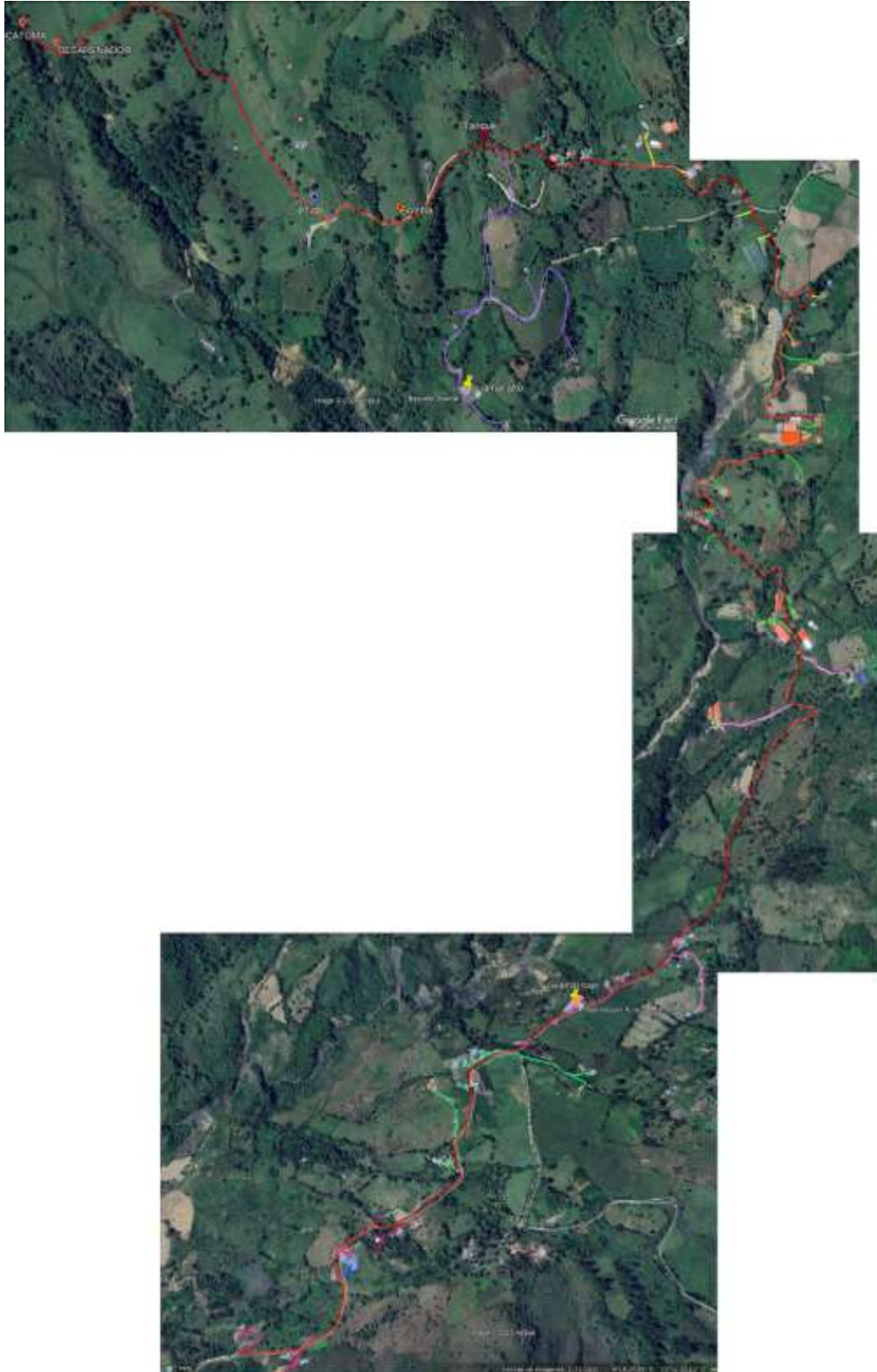
- 2” para tuberías que conforman la primera parte del trazado (Guamal Alto) de la red principal.
- 1” para las tuberías que cubren la segunda parte del trazado (Guamal Bajo) de la red principal y algunas ramificaciones locales.
- ½” Para las tuberías de las ramificaciones locales.

Nota: Revisar la hoja denominada “Red matriz” en el Excel encontrado en los anexos, allí se especifica todos los cálculos referentes a los tramos que conforman la red principal.

27.3. Identificación de Redes Secundarias.

A diferencia de un diseño para acueducto veredal, aquí no se puede implementar el método de mallas, por el contrario, en este caso, al tratar de un acueducto veredal, se tiene que hacer un seguimiento por las dos veredas e identificar, donde se encuentran las viviendas, puesto que nos encontramos en una zona dispersa. Como se menciono anteriormente, se plantearon 44 puntos de distribución, establecidos por el siguiente orden y nomenclatura:

Ilustración 39. Ramificación completa y vista general del trazado completo.



Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

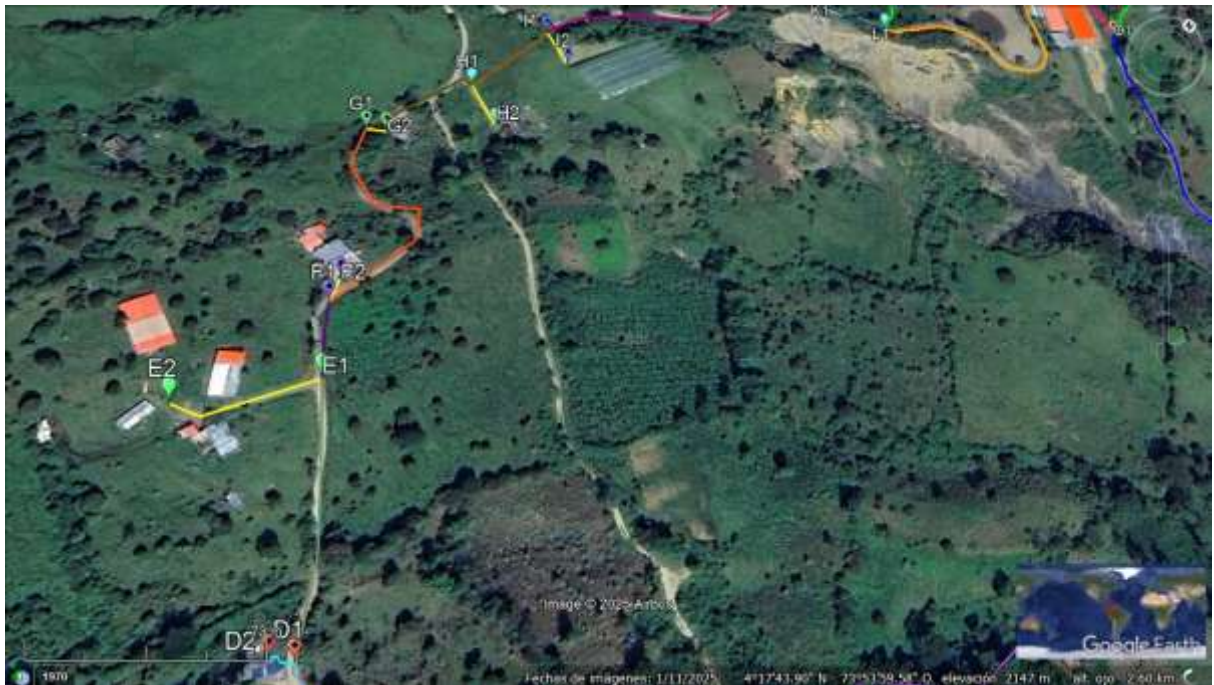
Teniendo en cuenta la ilustración 39, se desea mostrar de una manera ampliada cada una de las ramas, para tener presente su nomenclatura, la cual es fundamental, para la distribución de caudales, que fluyen por cada una de estas ramas, es importante recordar que este proceso, se encuentra también en el Excel, como anexo, en la hoja denominada “Distribución de Caudal”, no se coloca en el presente documento, puesto que la tabla es extensa y su visualización se dificulta en este archivo. Pero a continuación se evidencia la nomenclatura de cada una de las ramas.

Ilustración 40.Ramas A,B,C,D.



Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

Ilustración 41. Ramas E,F,G,H,I



Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

Ilustración 42. Ramas J,K,L,M,N,O,P,Q,R



Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

Ilustración 43. Ramas S,T,U,V,W,X,Y,Z



Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

Ilustración 44. Ramas AA,AB,AC,AD,AE,AF



Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

Ilustración 45. Ramas AG,AH,AJ,AK



Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

Ilustración 46. Ramas AL,AM,AN,AO,AP y AQ



Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

Ilustración 47. Rama AR



Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

28. MODELADO DE LA RED

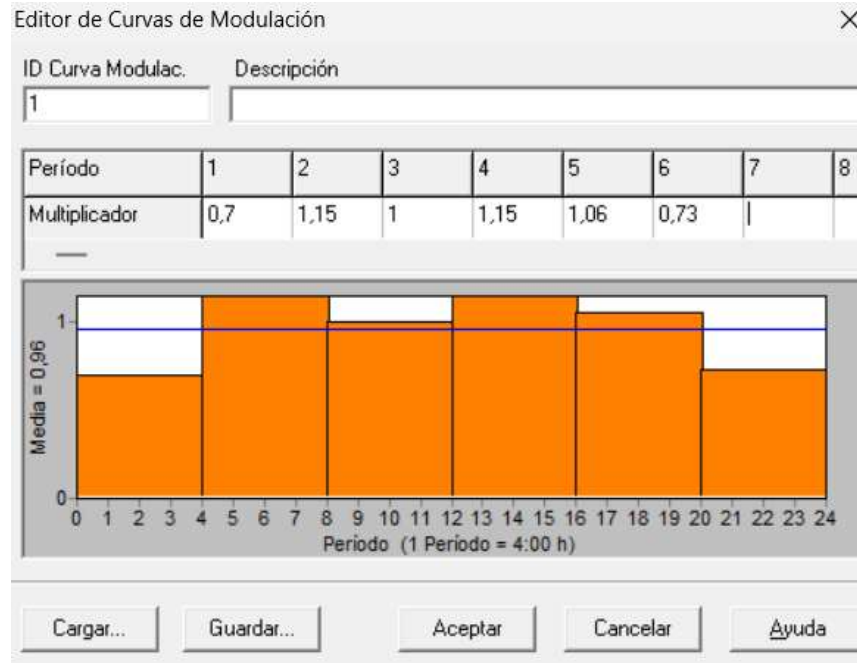
El modelado de la red en el software EPANET permite establecer y reconocer el comportamiento del sistema de distribución, verificar las presiones y velocidades a las que se someten las tuberías propuestas. Se presentan las condiciones de presión y velocidad para Guamal Alto y Guamal Bajo en las condiciones de mayor y menor consumo, verificando que se haga cumplimiento de los rangos establecidos para estos criterios.

Tabla 87. Rangos de presión y velocidad para el funcionamiento óptimo del sistema.

Rango de presiones	Entre 10 y 60 mca
Rango de velocidades	Entre 0,6 y 3,0 m/s

Fuente: Elaboración propia; RES 0330 de 2017

Tabla 88. Patrón de consumo cada 4 horas

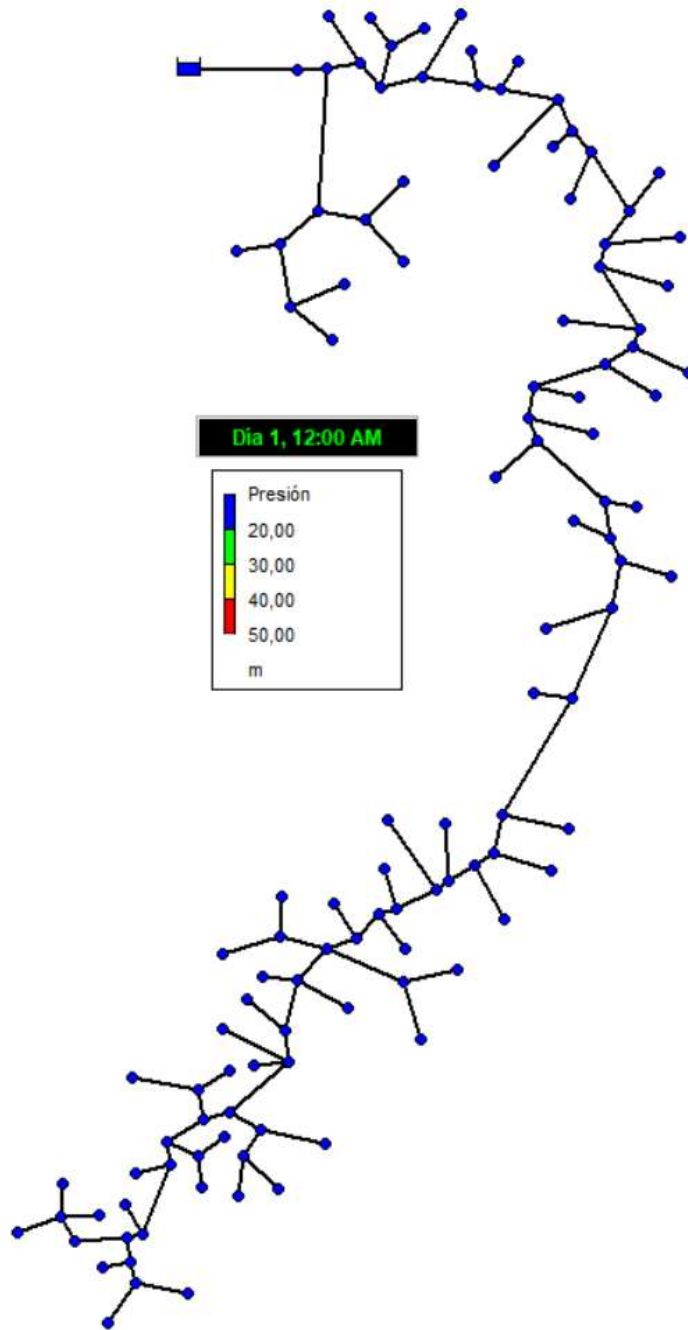


Fuente: Elaboración propias, EPANET

Se establece el patrón de consumo y se presenta la comparativa del comportamiento del diseño en su hora de mínimo consumo (0:00 a 4:00 am) y máximo consumo (12:00 a 16:00 pm) para verificar que el sistema se encuentre en óptimo funcionamiento tanto en su hora de menor y mayor distribución de acuerdo a los rangos de presión y velocidad previamente mencionados.

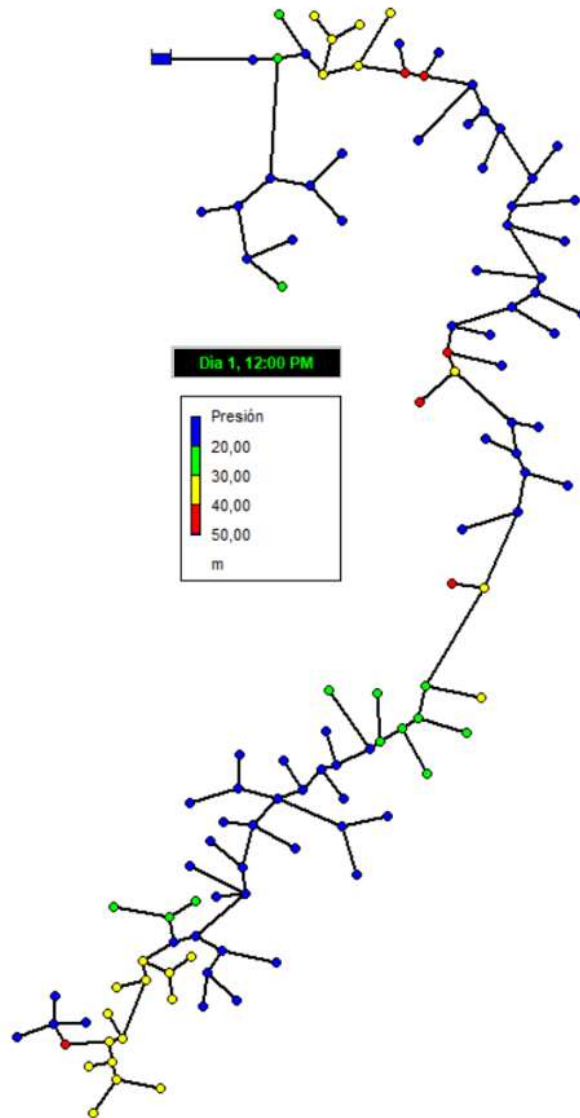
- **Presiones del sistema:**

Ilustración 48.Presiones en la hora mínima de consumo (0:00 a 4:00 am)



Fuente: Elaboración propias, EPANET

Ilustración 49.Presiones en la hora máxima de consumo (12:00 a 16:00 pm)



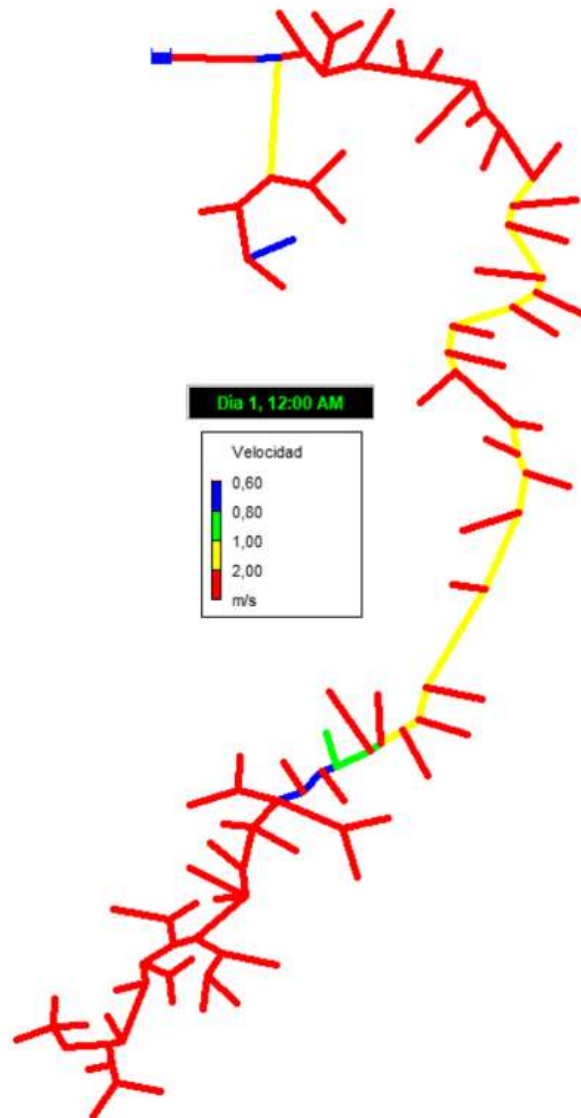
Fuente: Elaboración propias, EPANET

En cuanto a las presiones encontradas en el sistema, se cumple lo establecido en la resolución 0330 de 2017 en el artículo 62 - párrafo 1, teniendo presiones menores a 50 m.c.a. a lo largo de la red de distribución. Concretamente en la hora mínima de consumo, las presiones se encuentran entre 11,7 m.c.a y 18,32 m.c.a. Y en cuanto a la hora máxima de consumo, las presiones

aumentan y se encuentran valores entre 17,25 m.c.a y 43,5 m.c.a, garantizando el funcionamiento de la red de distribución en los diferentes rangos horarios en los que trabaja el sistema.

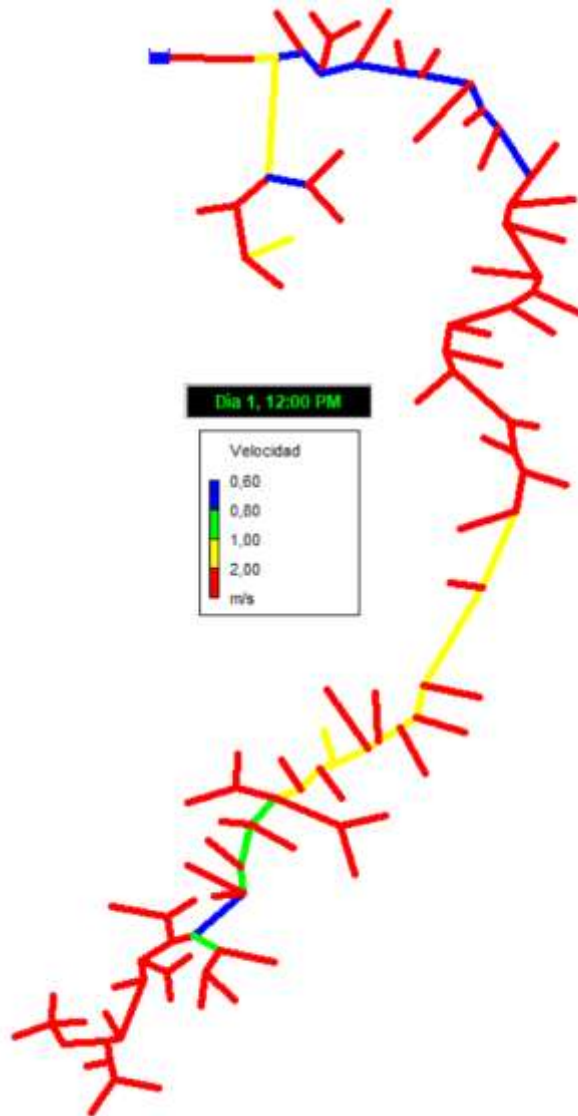
- **Velocidades del sistema:**

Ilustración 50. Velocidades en la hora mínima de consumo (0:00 a 4:00 am)



Fuente: Elaboración propias, EPANET

Ilustración 51. Velocidades en la hora máxima de consumo (12:00 a 16:00 pm)



Fuente: Elaboración propias, EPANET

Respecto a las velocidades, se encontró que en el rango horario de mínimo consumo, se hallaron velocidades entre 0,62 m/s y 2,17 m/s. En cuanto a la hora de máximo consumo se encontraron velocidades entre 0,77 m/s y 2,85 m/s. Los resultados obtenidos de la modelación de la red establecen que, las velocidades que se manejan en el sistema tanto en el periodo diario de

mayor y menor consumo cumplan con el rango establecido de velocidades permitidas para que la red se encuentre en un funcionamiento constante y adecuado durante su uso.

29. PRESUPUESTO

Tabla 89. Tabla Resumen de Presupuesto

TABLA RESUMEN		
ID	SISTEMA	COSTO TOTAL
0	ESTUDIOS GEOTECNICOS, ESTRUCTURALES Y TOPOGRAFICOS	\$ 30.500.000,00
1	BOCATOMA	\$ 24.914.594,38
2	ADUCCIÓN	\$ 20.513.461,94
3	DESARENADOR	\$ 13.397.473,47
4	IMPULSIÓN SUCCIÓN	\$ 29.794.092,37
5	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	\$ 10.696.207,82
6	REDES DE DISTRIBUCIÓN	\$ 105.210.939,12
COSTO DIRECTO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO VEREDAL DE GUAMAL ALTO Y GUAMAL BAJO (QUETAME, CUNDINAMARCA)		\$ 235.026.769,10
ADMINISTRACIÓN (10%)		\$ 23.502.676,91
IMPREVISTOS (5%)		\$ 11.751.338,45
UTILIDADES (15%)		\$ 35.254.015,36
TOTAL AIU		\$ 70.508.030,73
VALOR TOTAL DE LA OBRA		305.534.799,82

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El cálculo de presupuesto total, se encuentra en el libro de Excel, como anexo.

30. CONCLUSIONES.

Tras el desarrollo del proyecto de acueducto rural para las veredas Guamal Alto y Guamal Bajo, se logró diseñar un sistema completo que abarca las fases esenciales de captación, potabilización, almacenamiento, distribución y mantenimiento. Este diseño se fundamentó en criterios técnicos adecuados al contexto rural, priorizando la eficiencia hidráulica y la sostenibilidad operativa del sistema a largo plazo.

Se realizó un análisis detallado de la demanda de agua, considerando no solo el consumo humano, sino también los usos agrícolas y ganaderos propios de la zona. La proyección poblacional se ajustó a lo establecido por la normatividad vigente para áreas rurales, lo cual permitió estimar adecuadamente las necesidades futuras y dimensionar el sistema con un horizonte de diseño de 25 años.

A partir de las visitas a las viviendas, fue posible identificar las condiciones reales de acceso al agua en la comunidad. Se constató que actualmente predominan métodos artesanales de captación, como mangueras, pozos profundos y aprovechamiento de escorrentía superficial. Esta situación evidencia la urgencia de implementar un sistema formal que mejore la calidad, disponibilidad y continuidad del recurso hídrico.

En el diseño de las estructuras y componentes del sistema se priorizaron criterios técnicos, normativos y de funcionalidad. Se seleccionaron ubicaciones estratégicas en terrenos de uso público para evitar conflictos con predios privados y facilitar labores de mantenimiento. La modelación hidráulica permitió asegurar presiones y velocidades adecuadas, y optimizar el trazado

de la red mediante variaciones graduales en los diámetros. Además, se identificaron los tramos que requieren bombeo por las condiciones topográficas del terreno.

Finalmente, se elaboró un presupuesto estimado que incluye los costos directos de construcción y los insumos necesarios para implementar el sistema. Este presupuesto constituye una base sólida para la planificación financiera del proyecto, aportando claridad al proceso de toma de decisiones y facilitando la gestión de recursos para su ejecución.

31. RECOMENDACIONES.

De acuerdo a lo identificado en la zona de estudio, luego de establecer el diseño del acueducto rural se pretende crear una cultura de uso eficiente y rentable de los recursos hídricos, es necesario proponer campañas de educación ambiental en estas comunidades donde el abastecimiento del agua no ha sido constante ni regulado. Esto debido a que la producción agrícola y ganadera evidenciada en estas veredas presenta conexiones clandestinas debido a la falta de abastecimiento hídrico constante en la zona, por lo que se considera necesario establecer métodos de concientización ante el uso, mantenimiento y manejo del acueducto veredal de Guamal Alto y Guamal Bajo ubicado en el municipio de Quetame, Cundinamarca.

La red se encuentra sometida a presiones máximas de alrededor de 45 m.c.a de acuerdo al diseño, en caso de que se vea aumentada dicha presión, se tiene un rango de seguridad, ya que la red se encuentra diseñada para soportar presiones de hasta 60 m.c.a. En caso de que se exceda dicho limite, existen diversos tipos de accesorios para disminuir la presión en la red, como lo pueden ser las válvulas reductoras y las válvulas a presión.

Las estructuras diseñadas para la captación, almacenamiento y distribución de agua deben ser monitoreadas y presentar un mantenimiento periódico para asegurar un correcto funcionamiento

durante por lo menos los 25 años para los cuales está proyectado y dimensionado el sistema de abastecimiento de agua potable.

31. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Ingenieros Civiles y Ambientales Asociados - CASIA LTDA. (1999). ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE QUETAME. *repositoriocdim.esap*.

<https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/9950/2084-20.pdf?sequence=20&isAllowed=y>

Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca (2020). Plan de Desarrollo Municipal 2020 – 2023.

Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca (S/F). Esquema de Ordenamiento Territorial Del Municipio Guamal. Tomado de

<https://mapas.cundinamarca.gov.co/documents/add526f102534c5898d3d12bc4da6626/about>

Baquero León, L. M., & Barreto Gutiérrez, E. K. (2007). Valoración y propuesta de mejoramiento del sistema de control interno del área de tesorería del municipio de Quetame, Cundinamarca.

Alcaldía Municipal de Quetame Cundinamarca, & CARRILLO CRUZ, A. (2018, 14 noviembre). Vereda Guamal Alto. <http://www.quetame-cundinamarca.gov.co/municipio/mapas-y-territorios-404782>

Cruz, C. L., Martínez, M. S. & Rusinque, D. (2023). Educación ambiental con la comunidad rural de Quetame (Cundinamarca) entorno a la calidad del agua de las Quebradas Grande y Blanca.. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/18854>.

Gobernación de Cundinamarca . (s. f.). *Quetame*.

<https://www.cundinamarca.gov.co/municipios/Quetame>

Gobernación de Cundinamarca. (s. f.). SUBSISTEMA GESTIÓN DEL RIESGO y CAMBIO CLIMÁTICO. Gobernación de Cundinamarca.

https://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/6ffb2042-c879-46fd-baa8-1bf9d370b2f9/CAPITULO%2B%2BSUBSISTEMA%2BCAMBIO%2BCLIMA%CC%81TICO%2BY%2BGESTION%2BDEL%2BRIESGO.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-6ffb2042-c879-46fd-baa8-1bf9d370b2f9-nRFGFrz

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). (2020). Análisis Departamental de Vulnerabilidad y Riesgo frente al Cambio Climático para el sector Agropecuario. fao.org.

https://cambioclimatico.fao.org/wp-content/uploads/2022/11/CUNDINAMARCA_26.11.2022.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2023). Informe Nacional del Índice de Riesgo de la Calidad del agua potable en zonas Urbanas y Rurales por municipios (2020-2023).

Instituto Nacional de Salud. <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/informe-nacional-irca-urbano-y-rural-por-municipio-2020-2023-version-2.pdf>

Gestión del Riesgo de la Gobernación de Cundinamarca. (s. f.). Mapas de Cundinamarca ante el riesgo. *Gobernación de Cundinamarca*.

https://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/738f5600-4430-4d20-89e1-f8bb9f96692b/1-6+Mapas+Cundinamarca+ante+el+riesgo_compressed.pdf?MOD=AJPERES&CVID=otjTtvM.

Barrios, C., Torres, R., Lampoglia, T. Y Agüero R. (2009): Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades. Lima (Perú): Organización Panamericana de la Salud (OPS)/Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Bolaños Vásquez, L. V., & Rodríguez Zuluaga, M. C. (2019). Propuesta ambiental para el plan de desarrollo del municipio de Quetame Cundinamarca período 2020-2024.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. (2017). TÍTULO B Sistemas de Acueducto. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.

https://www.academia.edu/8346864/RAS_TITULO_B_PDF

Baquero León, L. M., & Barreto Gutiérrez, E. K. (2007). Valoración y propuesta de mejoramiento del sistema de control interno del área de tesorería del municipio de Quetame, Cundinamarca.

Cobertura de energía eléctrica – ICEE actual – Intégrame. (s. f.).

<https://www.integrime.gov.co/tablero/cobertura-de-energia-electrica-icee-actual/>

Cabrera, E., Almandoz, J., Arregui, F., & García-Serra, J. (1999). Auditoría de redes de distribución de agua. *Ingeniería del agua*, 6(4), 387-399.

Casaño, C. D. L. C. (2016). Metodología de la investigación tecnológica en ingeniería. *Ingenium*, 1(1).

Ihm, I. G. (s. f.). Bombas, Motobombas y Equipos | Servicio técnico | Ignacio Gómez IHM. IGIHM. <https://www.igihm.com/>

Care-Avina (2012): Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable, módulo 5. Quito (Ecuador): Fortalecimiento de capacidades de Organizaciones Comunitarias Prestadoras de Servicios de Agua y Saneamiento (OCSAS) en América Latina. CARE Internacional - Fundación Avina.

Mariño, C. C. P. (2023, 18 julio). Ruta Quetame-Guayabetal: el temor que representa vivir sobre la vía al Llano. *ELESPECTADOR.COM*. <https://www.elespectador.com/bogota/ruta-quetame-guayabetal-el-temor-que-representa-vivir-sobre-la-via-al-llano-noticias-bogota-hoy/>

Rodríguez León, W. A. (2023). Estudio de la Calidad del Agua de la Quebrada Moyas en el Municipio de Junín, Departamento de Cundinamarca. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/58357>

Servicio Geológico Colombiano advierte que en Quetame y sus alrededores las condiciones continúan inestables. (s. f.). <https://www2.sgc.gov.co/Noticias/Paginas/SGC-advierte-que-en-Quetame-y-sus-alrededores-las-condiciones-continuan-inestables.aspx>

Potabilización del agua | ACCIONA | BUSINESS AS UNUSUAL. (s. f.).

<https://www.accionacom.es/tratamiento-de-agua/potabilizacion>

Stauffer, B., & Spuhler, D. (s. f.). Captación de ríos, lagos y embalses (reservorios). SSWM - Find Tools For Sustainable Sanitation And Water Management!

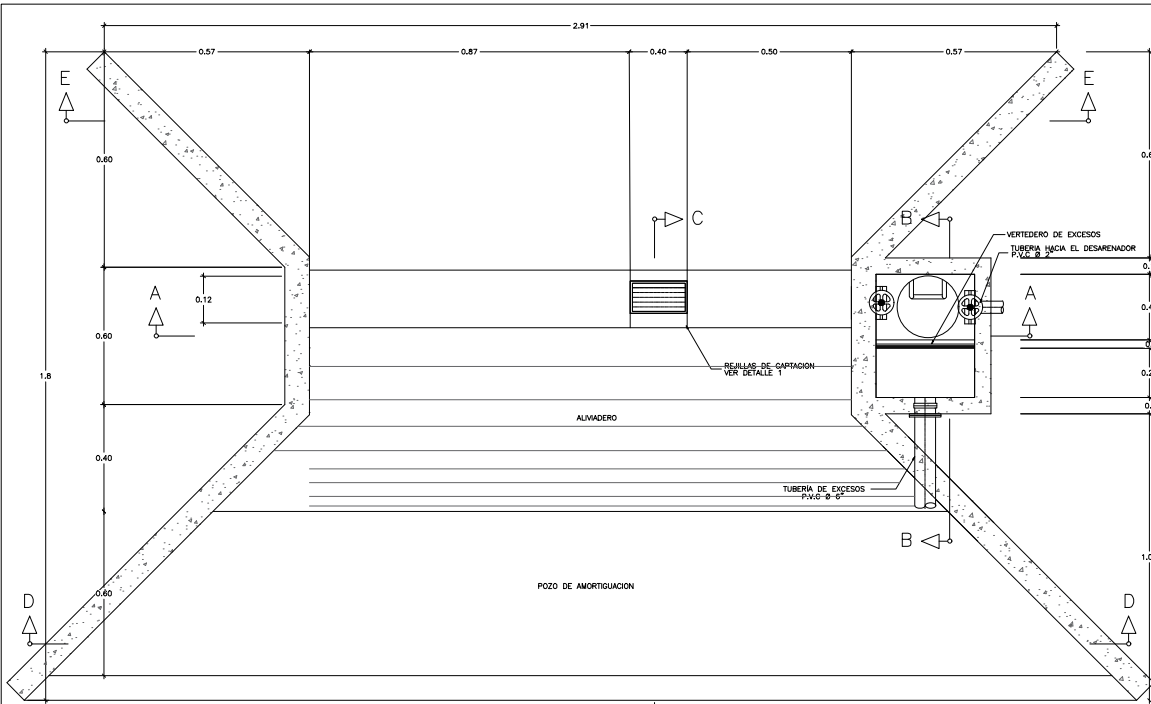
<https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento->

[de-agua/captacion/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos%2C-lagos-y-embalses-%28reservorios%29](#)

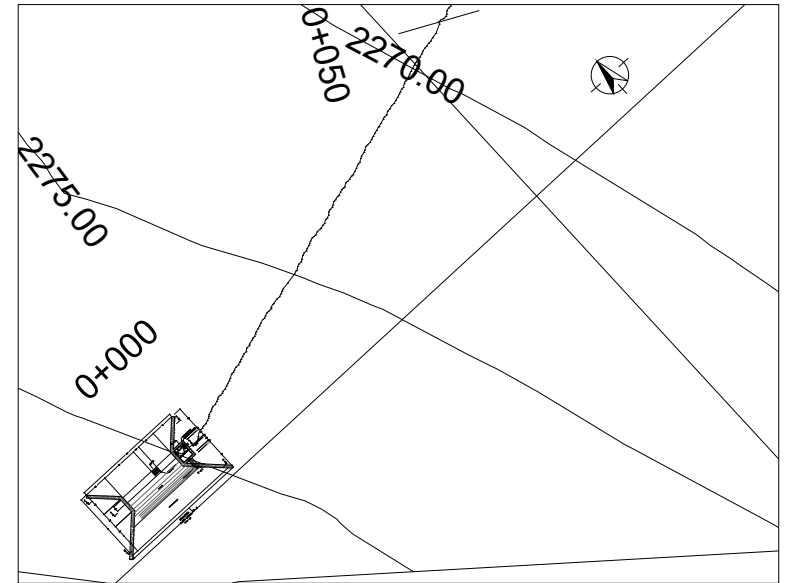
Partido Alianza Verde. (s. f.). Acueductos veredales. *Somos Verdes Por Naturaleza*.

https://alianzaverde.org.co/images/somos_ambiente/3/ACUEDUCTOS_VEREDALES.pdf

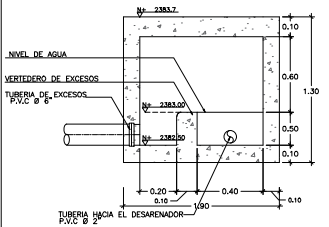
Pérez, L. (s. f.). *Tanque de almacenamiento*. SSWM - Find Tools For Sustainable Sanitation And Water Management! <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/tanque-de-almacenamiento>



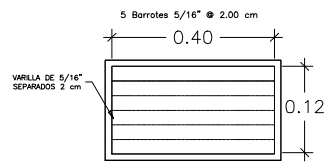
BOCATOMA
PLANTA GENERAL
ESCALA 1 : 25



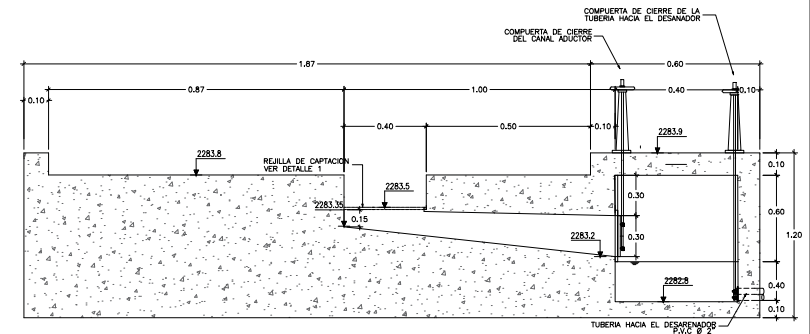
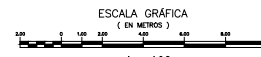
BOCATOMA
LOCALIZACIÓN GENERAL
ESCALA 1 : 100



CÁMARA DE RECOLECCIÓN
CORTE B-B
ESCALA 1 : 25



REJILLA DE CAPTACION
DETALLE 1
ESCALA 1 : 10



BOCATOMA
CORTE A-A
ESCALA 1 : 25

DISEÑO DE
ACUEDUCTO DE
GUAMAL-QUETAME

LOCALIZACIÓN:

Guamal, Quetame,
Cundinamarca

AUTORES:

Duban Orlando Quevedo Pardo
Santiago Rodríguez Osorio

ASESOR:

NOMBRE DEL PLANO:

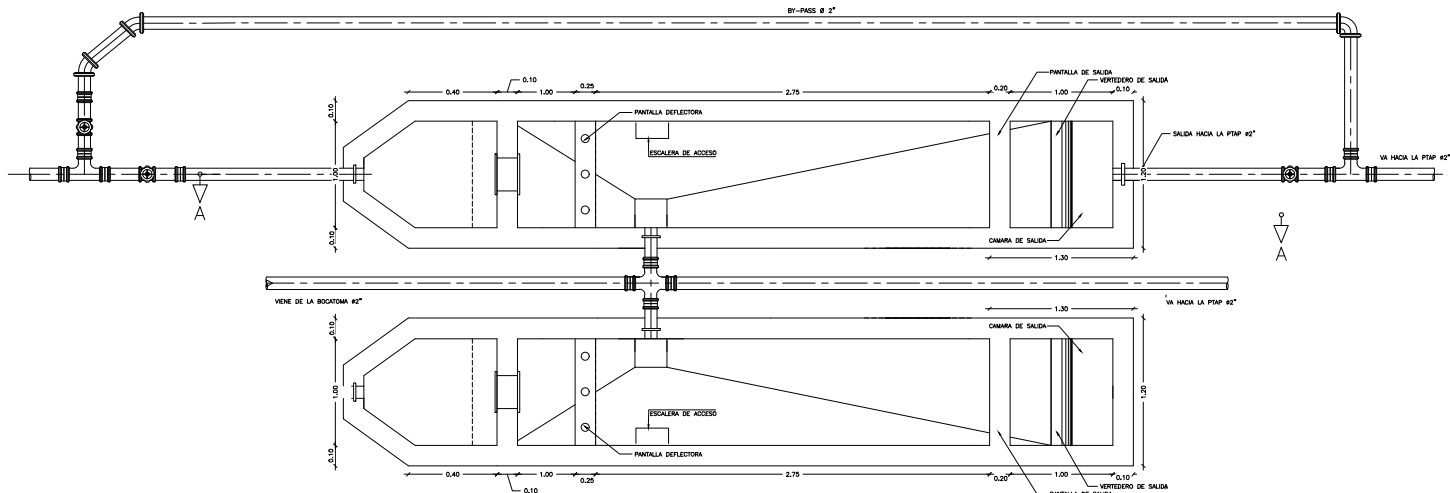
BOCATOMA

VEREDA: Quetame

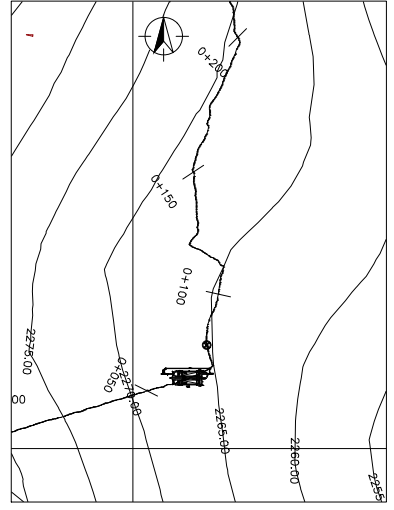
N° DE PLANO: 1

MEDIDAS: METROS [M]

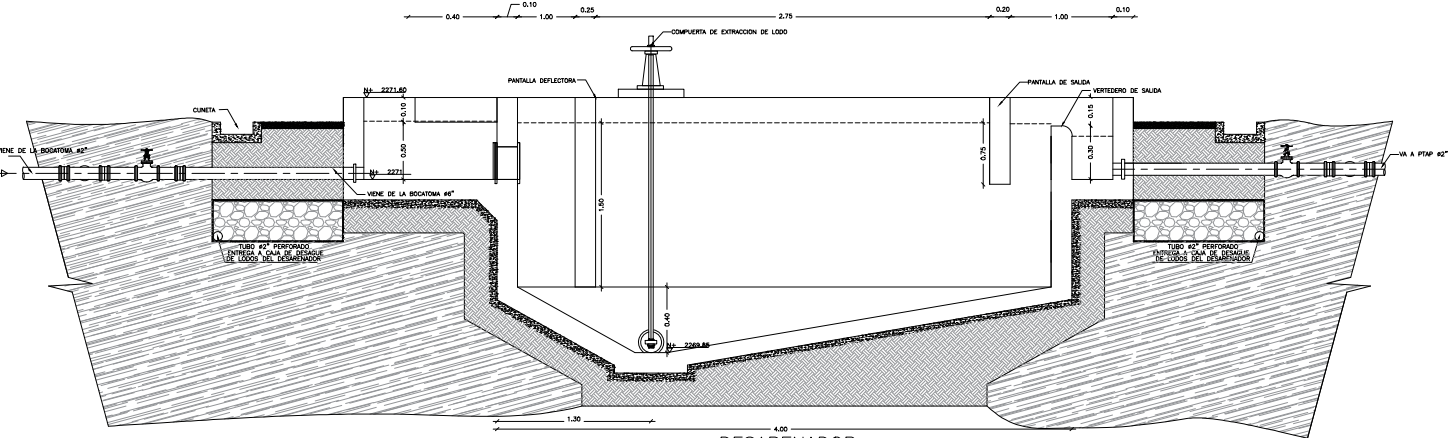
FECHA:



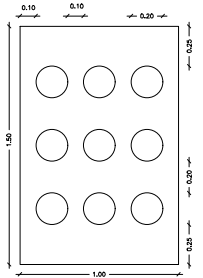
DESARENADOR
PLANTA GENERAL
ESCALA 1 : 25



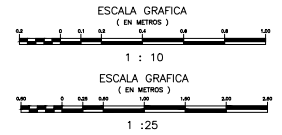
LOCALIZACIÓN
PLANTA GENERAL
ESCALA 1 : 200



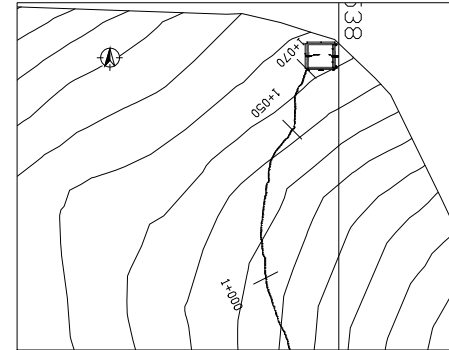
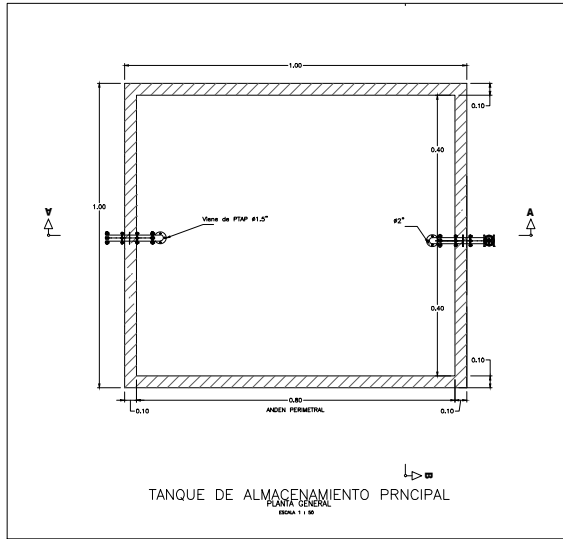
DESARENADOR
CORTE A - A
ESCALA 1 : 25



PANTALLA DEFLECTORA
ESCALA 1 : 10



DISEÑO DE ACUEDUCTO DE GUAMAL-QUETAME	LOCALIZACIÓN:	AUTORES:	ASESOR:	NOMBRE DEL PLANO:	VEREDA: Quetame	MEDIDAS: METROS [M]
	Guamal, Quetame, Cundinamarca	Duban Orlando Quevedo Pardo Santiago Rodríguez Osorio		DESARENADOR	N° DE PLANO: 2	FECHA:

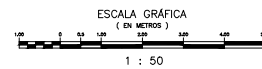
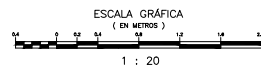
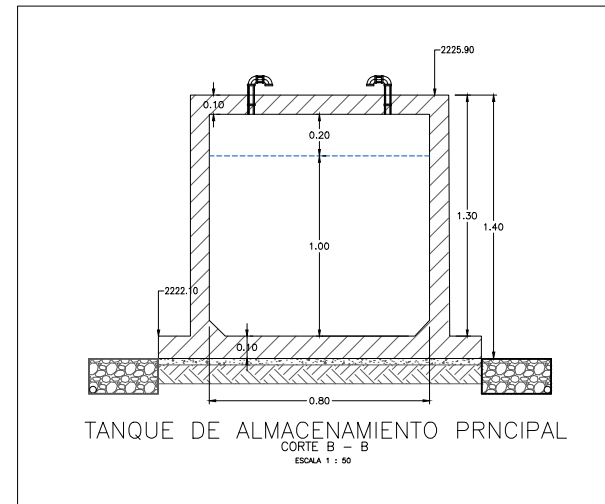
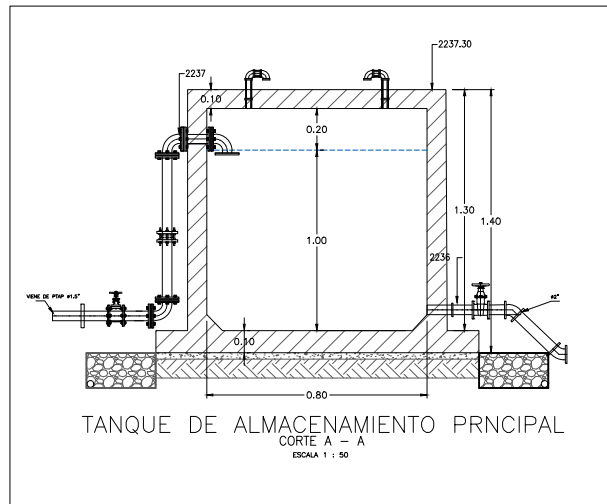
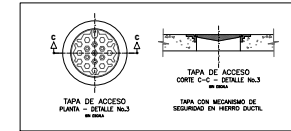


CONVENCIONES

- LINEA DE PARMENTO (VINEDAS)
- CERRAMIENTO EN CERCIA
- CERRAMIENTO EN MALLA
- CURVA DE NIVEL DEL TERRENO MAYOR
- VAS PUBLICAS EN CONCRETO
- VAS PUBLICAS EN TIERRA
- BORDE DE QUEMADA O RIO
- NORTE MAGNETICO (G.M.C)
- ARBOL O VEGETACION
- CORTE DE TERRENO PARA TALUD
- RELLENO PROYECTADO PARA TALUD

CUADRO DE LOCALIZACION DE ESTRUCTURAS

DESCRIPCION	ID	SITE	NORTE
TANQUE DE ALMACENAMIENTO PRINCIPAL	1	1020149.08	986338.41
	2	1020149.45	986346.41
	3	1020153.96	986336.31
	4	1020146.55	986334.19



DISEÑO DE
ACUEDUCTO DE
GUAMAL-QUETAME

LOCALIZACIÓN:

Guamal, Quetame,
Cundinamarca

AUTORES:

Duban Orlando Quevedo Pardo
Santiago Rodríguez Osorio

ASESOR:

NOMBRE DEL PLANO:

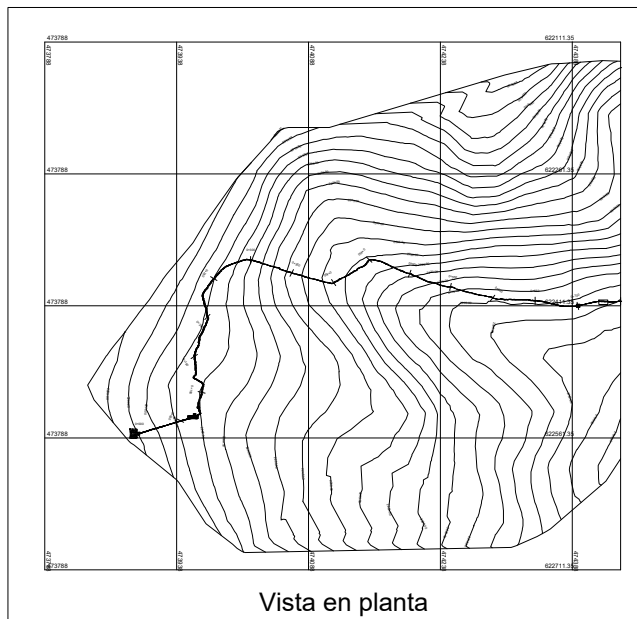
TANQUE DE ALMACENAMIENTO

VEREDA: Quetame

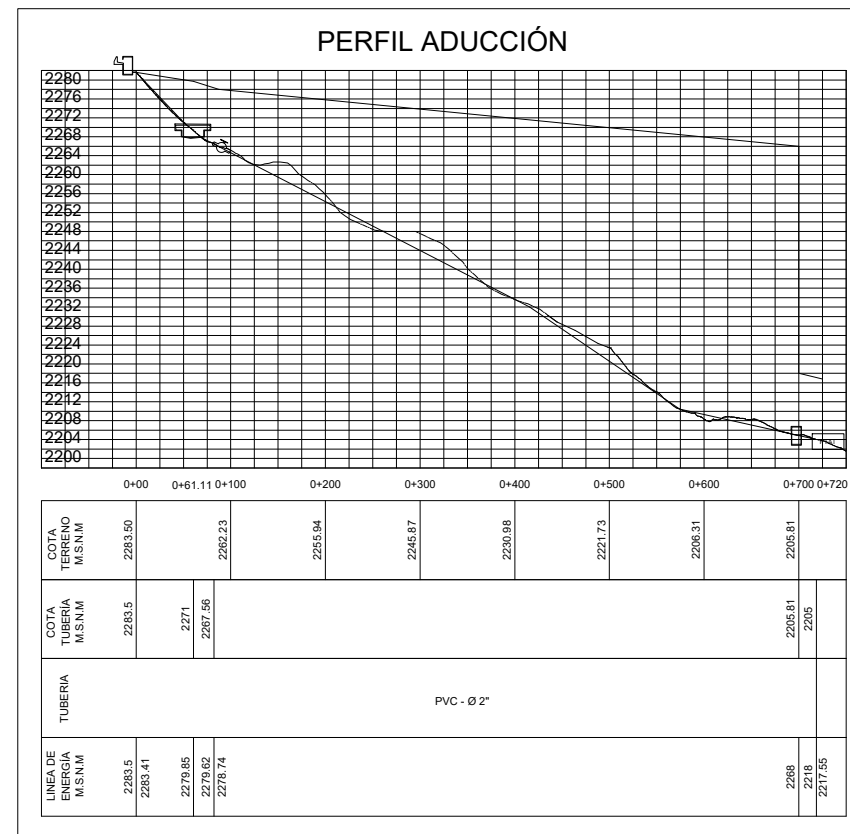
N° DE PLANO: 3

MEDIDAS: METROS [M]

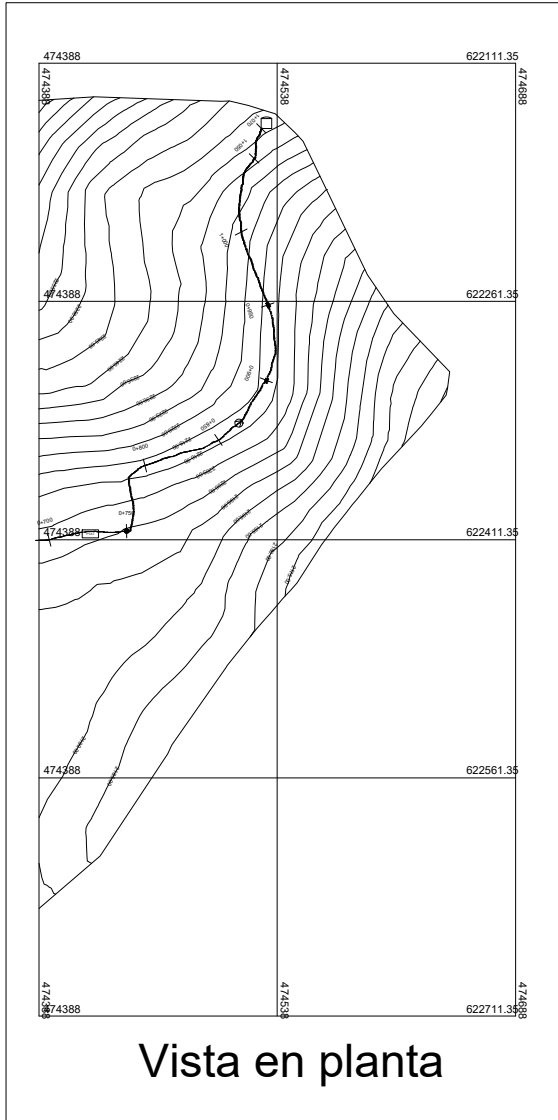
FECHA:



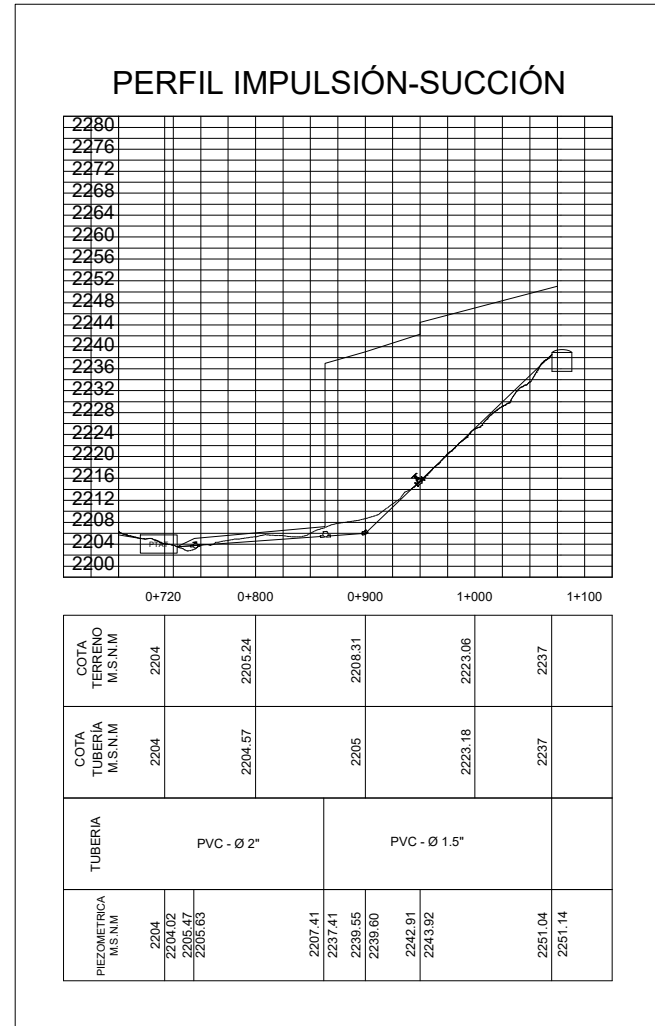
LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
—	Tubería Ø2"
	Válvula mariposa en perfil
	Válvula mariposa en planta
	Cámara de quiebre en perfil
	Cámara de quiebre en plantal
PTAT	Planta de tratamiento
	Bocatoma de fondo en planta
	Desarenador en planta
	Bocatoma de fondo en perfil
	Desarenador en perfil



<i>DISEÑO DE ACUEDUCTO DE GUAMAL-QUETAME</i>	LOCALIZACIÓN:	AUTORES:	ASESOR:	NOMBRE DEL PLANO:	VEREDA: <i>Quetame</i>	MEDIDAS: METROS [M]
	<i>Guamal, Quetame, Cundinamarca</i>	<i>Duban Orlando Quevedo Pardo Santiago Rodríguez Osorio</i>		ADUCCIÓN	N° DE PLANO: 4	FECHA:



LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Tubería Ø2"
	Tubería Ø1.5"
	Válvula VRT en perfil
	Válvula VRT en planta
	Válvula mariposa en perfil
	Válvula mariposa en planta
	Bomba en perfil
	Bomba en planta
	Tanque
	Codo 45° en perfil
	Codo 45° en planta
	Planta de tratamiento



<i>DISEÑO DE ACUEDUCTO DE GUAMAL-QUETAME</i>	LOCALIZACIÓN:	AUTORES:	ASESOR:	NOMBRE DEL PLANO:	VEREDA: <i>Quetame</i>	MEDIDAS: METROS [M]
	<i>Guamal, Quetame, Cundinamarca</i>	<i>Duban Orlando Quevedo Pardo Santiago Rodríguez Osorio</i>		<i>IMPULSIÓN-SUCCIÓN</i>	N° DE PLANO: 5	FECHA: