

**MEJORA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL CORREGIMIENTO DE HUASANÓ,  
MUNICIPIO DE TRUJILLO, VALLE DEL CAUCA**

**DIEGO ANDRÉS PEREZ CASTILLAS**

**ALEXIS MURILLO SOLARTE**

**HERNÁN MAURICIO REVELO RAMÍREZ**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI**

**FACULTAD DE INGENIERÍA & CIENCIA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CALI, VALLE DEL CAUCA**

**2023**

**DIAGNÓSTICO Y MEJORAS DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL  
CORREGIMIENTO DE HUASANÓ, MUNICIPIO DE TRUJILLO, VALLE DEL  
CAUCA**

**DIEGO ANDRES PEREZ CASTILLAS**

**ALEXIS MURILLO SOLARTE**

**HERNÁN MAURICIO REVELO RAMÍREZ**

**PROPUESTA DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR  
CESAR CAMILO CAÑÓN BARRIGA  
INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA JAVERIANA CALI**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CALI, VALLE DEL CAUCA**

**2023**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN .....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. ANTECEDENTES .....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
3. OBJETIVOS.....	19
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4. MARCO DE REFERENCIA.....	20
4.1 TERMINOLOGÍA.....	20
4.1.1 Microcuencas hidrográficas .....	20
4.1.2 Fuente de abastecimiento .....	20
4.1.3 Captación de agua superficial .....	20
4.1.4 Bocatoma .....	21
4.1.5 Desarenador .....	21
4.1.6 Desaireador .....	21
4.1.7 Aducción .....	22
4.1.8 Conducción .....	22
4.1.9 Planta compacta .....	22
4.1.10 Válvula de purga .....	22
4.1.11 Acueducto .....	23
4.1.12 Esquema convencional de abastecimiento de agua.....	23
4.2 MARCO GEOGRAFICO .....	25
4.2.1 Contexto histórico.....	25
4.2.2 Generalidades.....	25
4.2.3 Descripción física.....	25
4.2.4 Suelo .....	26
4.2.5 Clima.....	29
5. METODOLOGÍA .....	30
5.1 ENFOQUE METODOLÓGICO.....	30

5.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	30
5.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN .....	31
5.3.1 Fase 1: Diagnostico de la zona de estudio .....	31
5.3.2 Recolección de datos e información .....	31
5.3.3 Análisis e interpretación.....	32
6. RESULTADOS DE INVESTIGACION .....	33
6.1 TRABAJO DE CAMPO .....	33
6.1.1 Primera visita técnica .....	33
6.1.2 Segunda visita técnica.....	42
6.1.3 Tercera visita técnica .....	48
6.2 PRUEBAS DE CALIDAD DE AGUA .....	56
6.2.1 Alcance .....	56
6.2.2 Objetivo.....	56
6.2.3 Metodología.....	57
6.2.4 Parámetros de monitoreo.....	57
6.2.5 Equipos y materiales para el muestro .....	58
6.2.5.1. <i>Equipos empleados</i> .....	58
6.2.5.2 <i>Materiales</i> .....	58
6.2.6 Metodología para el muestreo .....	59
6.2.7 Resultados del monitoreo quebrada Monserrate .....	59
6.2.7.1 <i>Muestra #1</i> .....	60
6.2.7.2 <i>Muestra #2</i> .....	60
6.2.8 Análisis de los resultados obtenidos.....	61
6.2.8 Resultados del monitoreo quebrada Bitaco .....	62
6.3 ANALISIS DE CAUDAL .....	63
6.4 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS.....	63
6.5 CÁLCULO DE VOLUMEN .....	66
6.5.1 Organización .....	66
6.5.2 Análisis probabilístico.....	66
6.5.2.1 Balance anual .....	66
6.5.2.2 Consumo por habitante .....	69
6.5.2.3 Balance - Método de Thornthwaite.....	70
6.5.3 Cálculo de pérdidas.....	73

6.6 RECOLECCIÓN DE COORDENADAS Y CREACIÓN DEL PERFIL.....	75
7. PROPUESTAS DE DISEÑO.....	90
7.1 ALMACENAMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL .....	90
7.1.1 Embalse.....	90
7.1.2 Análisis de propuesta.....	91
7.2 TUBERÍA AÉREA.....	93
7.2.1 Análisis de propuesta.....	94
7.3 MEDIDORES DE CONSUMO DE AGUA.....	95
7.3.1 Análisis de propuesta.....	96
8. PROPUESTAS DE DISEÑO.....	97
8.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	97
8.2 FALLA TALUD .....	111
8.2.1 CABLE EN ACERO.....	112
8.2.2 CAISSON Y CABLES EN ACERO TENSADO .....	113
8.2.3 TORRES METÁLICAS ANCLADOS A PILOTES Y CANASTILLA METALICA .....	114
8.3 MICROMEDIDORES .....	126
ANEXOS .....	131
<b>ANEXO 1</b> .....	<b>131</b>
<b>ANEXO 3</b> .....	<b>131</b>
<b>ANEXO 4</b> .....	<b>131</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
<b>Ilustración 1. Ubicación geográfica Cuenca Bitaco y Monserrate</b> .....	16
<b>Ilustración 2. Ubicación geográfica del corregimiento de Huasanó</b> .....	26
<b>Ilustración 3. Cultivos de papaya y maracuyá</b> .....	27
<b>Ilustración 4. Cultivo de limón Tahití</b> .....	28
<b>Ilustración 5. Tanques de geomembrana para piscicultura</b> .....	28
<b>Ilustración 6. Canal</b> .....	34
<b>Ilustración 7. Falla de taludes</b> .....	35
<b>Ilustración 8. Soporte provisional de la tubería</b> .....	36
<b>Ilustración 9. Bocatoma</b> .....	37
<b>Ilustración 10. Desarenador</b> .....	37
<b>Ilustración 11. Ubicación embalse</b> .....	38
<b>Ilustración 12. Planta compacta</b> .....	39
<b>Ilustración 13. Vista de la planta compacta desde la cancha de futbol</b> .....	39
<b>Ilustración 14. Filtros de la planta compacta</b> .....	40
<b>Ilustración 15. Liberación del agua contaminada</b> .....	40
<b>Ilustración 16. Tanque de almacenamiento</b> .....	41
<b>Ilustración 17. Válvulas</b> .....	42
<b>Ilustración 18. Filtros de la planta compacta cuando llueve</b> .....	43
<b>Ilustración 19. Vegetación presente sobre la tubería</b> .....	44
<b>Ilustración 20. Pérdida de recubrimiento de la tubería</b> .....	44
<b>Ilustración 21. Tubería expuesta</b> .....	45
<b>Ilustración 22. Tubería expuesta y en riesgo por deslizamiento de material</b> .....	45
<b>Ilustración 23. Tubería expuesta y en riesgo por deslizamiento de material</b> .....	46
<b>Ilustración 24. Bocatoma cuando llueve</b> .....	46
<b>Ilustración 25. Estado de la microcuenca Monserrate cuando llueve</b> .....	47
<b>Ilustración 26. Rejilla de la bocatoma tapada</b> .....	47
<b>Ilustración 27. Limpieza manual de la rejilla</b> .....	48
<b>Ilustración 28. Manejo del dron</b> .....	49
<b>Ilustración 29. Fotografía de la falla de talud con el dron</b> .....	50
<b>Ilustración 30. Dispositivo GPS0</b> .....	50
<b>Ilustración 31. Fotografía de la zona del pozo recreativo con el dron</b> .....	51
<b>Ilustración 32. Camino hacia la bocatoma de la quebrada Bitaco</b> .....	52
<b>Ilustración 33. Tubería colgante de la quebrada Bitaco</b> .....	53
<b>Ilustración 34. Tubería colgante de la quebrada Bitaco</b> .....	53
<b>Ilustración 35. Bocatoma quebrada Bitaco</b> .....	54
<b>Ilustración 36. Desarenador quebrada Bitaco</b> .....	54
<b>Ilustración 37. Interior desarenador quebrada Bitaco</b> .....	55
<b>Ilustración 38. Unión de las quebrada Bitaco y Monserrate.</b> .....	56

<i>Ilustración 39 Resultados de laboratorio Quebrada Bitaco</i> .....	63
<b>Ilustración 40. Ubicación estaciones pluviométricas</b> .....	64
<b>Ilustración 41. Precipitación total diaria en mm.</b> .....	65
Ilustración 42 Nivel de consumo diario .....	70
<b>Ilustración 43. Coordenadas UTM arrojadas por Google Earth</b> .....	76
<b>Ilustración 44. Puntos de interés en Google Earth</b> .....	77
<i>Ilustración 45 Coordenadas ingresadas en Google Earth</i> .....	78
<b>Ilustración 46. Comando usado en GPS Visualizer</b> .....	78
<b>Ilustración 47. Formato de texto de las coordenadas con sus altitudes</b> .....	79
<b>Ilustración 48. Datos ingresados Excel</b> .....	79
<b>Ilustración 49. Comando "Point Creation Tools" para ingresar puntos</b> .....	80
<b>Ilustración 50. Importación de datos en Civil 3D</b> .....	80
<b>Ilustración 51. Nube de puntos importada desde Google Earth</b> .....	81
<b>Ilustración 52. Superficie con curvas de nivel creada</b> .....	82
<b>Ilustración 53. Delimitación del trayecto de la tubería en la superficie</b> .....	83
<b>Ilustración 54. Perfil de la tubería Monserrate</b> .....	84
<b>Ilustración 55. QGIS con el DEM</b> .....	85
<b>Ilustración 56. Modificación de la proyección</b> .....	86
<b>Ilustración 57. Añadir capa de texto delimitado</b> .....	87
<b>Ilustración 58. Coordenadas importadas</b> .....	87
<b>Ilustración 59. Visualización de las coordenadas importadas</b> .....	88
<b>Ilustración 60. Tabla de atributos</b> .....	88
<i>Ilustración 61 Area de la cuenca Qbada Monserrate</i> .....	89
<b>Ilustración 62. Ubicación pozo recreativo</b> .....	92
<b>Ilustración 63. Tubería sobre talud en falla</b> .....	94
Ilustración 64 Vista del tanque en planta y 3d.....	100
Ilustración 65 Selección de parámetros de sismo y suelo.....	101
Ilustración 66 Empuje del suelo al tanque de almacenamiento .....	102
Ilustración 67 Empuje del agua y carga por peso propio.....	102
Ilustración 68 Diagramas de cargas ejercidas al tanque del almacenamiento .....	103
Ilustración 69 Combinaciones de carga para la estructura sobre la norma NSR 10 .....	103
Ilustración 70 Aceros requeridos para la estructura.....	104
Ilustración 71 Vista isométrica del plano hidráulico del tanque de almacenamiento.....	105
Ilustración 72 Caja de salida del tanque. ....	105
Ilustración 73 Perfil del tanque con cotas de terreno.....	106
Ilustración 74 Perfil del tanque mostrando accesorios hidraulicos.....	106
Ilustración 75 Corte A-A del plano estructural del tanque de almacenamiento. ....	106
Ilustración 76 Corte B-B del plano estructural del tanque del almacenamiento.....	107
Ilustración 77 Corte C-C del plano estructural del tanque de almacenamiento.....	107
Ilustración 78 Corte D-D del plano estructural del tanque de almacenamiento. ....	107
Ilustración 79 Corte F-F Plano estructural del tanque de almacenamiento. ....	108
Ilustración 80 Detalle estructural de la Viga.....	108
Ilustración 81 Cantidades de concreto y Ganchos y traslapos.....	108

Ilustración 82 Diagrama de Gantt tanque de almacenamiento .....	110
<b>Ilustración 83. Tubería sobre talud en falla .....</b>	<b>111</b>
<b>Ilustración 84. Tubería sobre talud en falla .....</b>	<b>112</b>
<b>Ilustración 85. Tubería por medio de caisson y cables en acero tensado.....</b>	<b>113</b>
<b>Ilustración 86. Esquema de tubería por medio de canastillas metálicas. ....</b>	<b>115</b>
Ilustración 87 modelado 2D sistema.....	117
Ilustración 88 modelado 3D sistema.....	117
Ilustración 89 asignación de cargas .....	118
Ilustración 90 Diagrama de momento en la estructura .....	118
Ilustración 91 Momentos máximos en la cercha.....	118
Ilustración 92 diagrama momentos en las torres metálicas .....	119
Ilustración 93 momentos máximos en torres metálicas .....	119
Ilustración 94 diagrama de esfuerzos axiales máximos en la cercha.....	120
Ilustración 95 Vista en perfil cercha .....	123
Ilustración 96 Detalle de la cimentación.....	123
Ilustración 97 Presupuesto Instalación micromedidores.....	127

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1. Características de estaciones pluviométrica</b> .....	64
<b>Tabla 2. Calculo probabilidad de excedencia percentil 95</b> .....	68
Tabla 3 Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema .....	69
<b>Tabla 4. datos de precipitación mensual</b> .....	71
<b>Tabla 5. Coordenadas puntos de interés</b> .....	75
Tabla 6 Diametro de tubería vs Caudal.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7 Clases mallas, diametros y tipos de estructuras .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 8 Tabla de # de varilla vs Resistencia del concreto .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 9 Presupuesto tanque de almacenamiento .....	109
Tabla 10 Matriz de desicion alternativas de deslizamiento .....	115
Tabla 11 Diseño cimentacion de la estructura .....	121
Tabla 12 Consideraciones diseño de la cimentación .....	122
Tabla 13 Cuantia de Refuerzo por zapata .....	122
Tabla 14 Presupuesto cercha.....	125

## **ANEXOS**

Anexo 1. Listado de puntos georreferenciados que fueron tomados para la realización de esta investigación

Anexo 2. Curvas de nivel y perfil de la tubería

Anexo 3. Análisis de caudal

Anexo 4. Investigación de Espinosa, D., sobre la presencia de *Cattleya quadricolor* y *Encyclia* sp. en el Municipio de Huasanó, Valle del Cauca.

## RESUMEN

Las redes de saneamiento son vitales para el desarrollo urbano, por lo que su provisión es prioridad tanto para actores públicos y privados Fernández (2015). En el presente documento se busca exponer: la situación del acueducto de la población de Huasanó, municipio de Trujillo, que cuenta con una bocatoma que deriva parte del agua disponible de una microcuenca hacia una planta compacta, para su posterior tratamiento y distribución a la población.

El estudio incluye un análisis de las condiciones actuales, como el uso de agua, las amenazas de contaminación por una comunidad aguas arriba, y la falta de micromedidores en las viviendas.

En diferentes visitas al corregimiento se recopiló la mayor cantidad de información posible sobre las microcuencas, como la topografía de las líneas de conducción, las condiciones del terreno, y las opiniones de la comunidad, metas y objetivos para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida, con base en el suministro continuo de agua potable y la conservación de la microcuenca.

## INTRODUCCIÓN

Colombia, a pesar de ser uno de los países con mejor oferta del recurso hídrico, presenta grandes falencias su prestación, ya que no alcanza a satisfacer de manera óptima las necesidades de agua potable de algunas zonas del país como es el caso de algunas zonas rurales, como el municipio de Huasanó. A pesar de que la microcuenca cuenta con obras civiles realizadas y en funcionamiento, existe un deterioro que conduce al fallo de este servicio. Este acueducto se ciñe a un pacto entre el Estado y la comunidad, que le permite a la comunidad administrarlo y que no sea privatizado, pero el Estado no tiene responsabilidad de realizar mantenimiento o mejoras; adicionalmente, el deterioro ambiental ha ocasionado que sea cada vez más difícil que la población reciba un servicio acorde a sus derechos; que sea óptimo y de calidad. Estos factores pueden tener una incidencia relevante en el bajo desarrollo de la comunidad en aspectos como la infraestructura y la provisión de servicios públicos, ocasionando conflictos y malestar internos (Alcaldía Municipal de Trujillo Valle del Cauca, 2001).

Las microcuencas que abastecen a la población de Huasanó, se han visto afectadas por diferentes alteraciones que interrumpen la disponibilidad y la calidad del recurso de agua potable para la comunidad. La ganadería, cultivos agrícolas, deforestación de la cobertura vegetal y diversos factores climáticos y ambientales han provocado la degradación del suelo, desgastando las cuencas y sus funciones, así como también el suministro de agua a la comunidad.

Por otro lado, las tuberías que transportan el agua de la bocatoma a la planta se encuentran expuestas en ciertas partes de su recorrido. Esto puede ocasionar daños significativos, por tal razón es importante tomar las medidas correspondientes para su conservación y correcto uso.

De cara a lo anterior, el presente proyecto tiene como propósito optimizar el abastecimiento de agua potable a la población de Huasanó, así como también generar recomendaciones para garantizar el mejoramiento del sistema de acueductos.

## 1. ANTECEDENTES

En 2015 la UNESCO presentó el informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos, centrándose en el tema “Agua para un mundo sostenible”, teniendo como objetivo fomentar la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos a nivel mundial. Colombia hace parte de los 193 miembros que aceptaron establecer una visión progresiva hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental. Para Colombia el informe resalta la necesidad de la gestión sostenible del agua para el desarrollo económico y social del país, así como la protección del medio ambiente. De cara a lo anterior, Colombia debe tener una gestión participativa e integrada del agua, donde se involucren tanto las autoridades gubernamentales como las comunidades locales. Para esto, el ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se encarga de liderar la gestión integral de los recursos hídricos, estableciendo políticas y estrategias con las que busca garantizar el acceso sostenible del agua para todos, teniendo un uso eficiente y responsable que permita la conservación y protección de los ecosistemas.

En el marco de la gestión integral del recurso hídrico, la planificación de una cuenca hidrográfica es un proceso racional y sistémico que permite prever, organizar y hacer un manejo sostenible de los recursos naturales existentes en la misma. El propósito es encontrar un balance entre el aprovechamiento de dichos recursos y la protección de la base natural y los procesos que la sustentan, para beneficio tanto de los habitantes como de la biodiversidad asociada a la cuenca hidrográfica (Min ambiente, 2010).

En el país se cuenta con los siguientes instrumentos de planificación para las cuencas a nivel superficial:

- Planes Estratégicos de Macrocuencas (PEM).
- Planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas (POMCAS).

- Planes de Manejo Ambiental de microcuencas (PMAM).
- Para la planificación de aguas subterráneas se cuenta con el Plan de Manejo Ambiental de Aguas y Acuíferos (PMAA).

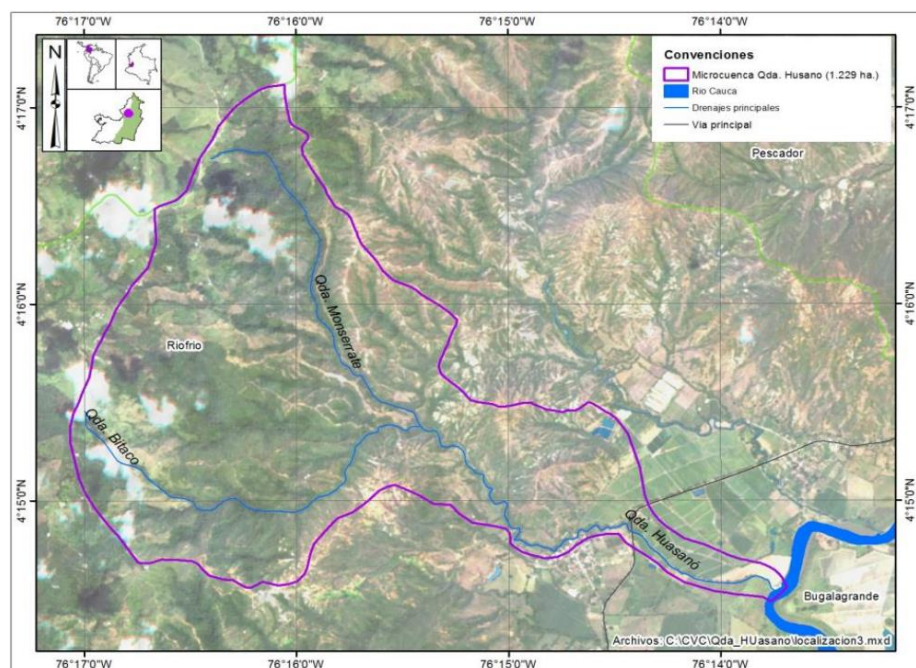
Entendiendo esto, es clave destacar que la investigación necesaria para realizar el proyecto será soportada en indagaciones realizadas con anterioridad relacionadas con el tema de abastecimiento de agua potable. Debido a esto se tienen los siguientes antecedentes:

En el ámbito de la gestión del agua, en Colombia se han realizado diversas investigaciones, abordando temas como la calidad del agua, la gestión integrada de recursos hídricos, el cambio climático y la gestión de riesgos de desastres, entre otros. Algunas de estas investigaciones destacadas son:

1. "Gestión integral de cuencas hidrográficas en Colombia: una revisión de los avances y desafíos" (Braz, Adalto Moreira; Mirandola García, Patricia Helena; Pinto, André Luiz; Salinas Chávez, Eduardo; de Oliveira, Ivanilton José, 2020).
2. "Evaluación de la calidad del agua en Colombia: estado actual y perspectivas futuras" (Science and Pollution Research, 2020).

En el ámbito de los acueductos rurales, en Colombia se han realizado varias investigaciones, buscando mejorar el acceso al agua potable en las comunidades rurales del país. Algunas de estas investigaciones destacadas son:

1. "Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable en áreas rurales de Colombia" (Tamayo, Shirley Paola; Ibarra, Vanessa; Rojas, Johnny; Benavidez, Alberto; Bey, Valérie, 2012)
2. "Modelo de gestión comunitaria del agua y saneamiento en zonas rurales" (Embajada de Suiza en Colombia, en colaboración con el gobierno colombiano, 2018).



***Ilustración 1. Ubicación geográfica Cuenca Bitaco y Monserrate***

*(Fuente: Ingeniero Eduardo Medina Corporación Autónoma del valle del Cauca).*

El sistema de acueducto del corregimiento de Huasanó cuenta con 15 años de servicio durante los que no se le ha realizado ningún tipo de mantenimiento, esto se puede apreciar al ver el estado en el que se encuentran los elementos del sistema. Afortunadamente, estos factores no han generado problemas en el funcionamiento y abastecimiento de la población, este funciona de manera apropiada en condiciones normales. Dicho sistema cuenta con dos bocatomas construidas, las cuales no presentan daños en sus elementos los cuales generen que estas no puedan ser usadas, sin embargo, una de estas se dejó de usar debido a que la quebrada está sufriendo una contaminación por parte de una comunidad indígena que está ubicada aguas arriba.

La planta compacta se encuentra en condiciones aceptables, no presenta signos de abandono ni de un mal manejo por parte del fontanero, la condición estructural de la bocatoma presenta un desgaste medianamente significativo, pero nada que obstaculice el apropiado funcionamiento. Sin embargo, en temporadas de invierno, la planta compacta es incapaz de

procesar el caudal de entrada por lo que ésta se satura y deja de funcionar, ocasionando que el corregimiento se quede sin el suministro de agua potable. De la misma forma, la falta del suministro de agua potable genera afectaciones importantes en la calidad de vida de los habitantes de la comunidad, quienes dependen completamente del agua captada por el sistema de acueducto. Adicionalmente a esto, las casas del corregimiento no cuentan con medidores de consumo de agua, por lo que no se lleva registro del volumen que utiliza cada una ni del manejo que se le da a esta. Un tanque de almacenamiento adicional puede ser una solución al desabastecimiento cuando las lluvias afecten el sistema.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La población de Huasanó, presenta problemas en el suministro de agua potable, a pesar de tener a su disposición una bocatoma encargada de llevar el agua de la quebrada a la planta compacta para su tratamiento y su posterior distribución. Esto se debe a un grupo diverso de factores que generan la problemática, los cuales son:

- Dificultades para el acceso al agua potable en periodos de lluvia por la turbiedad del agua y por el material que se arrastra debido al aumento del caudal, en conjunción con el acelerado proceso de degradación del territorio generado por derrumbes.
- Problemas de estabilidad de taludes alrededor de las tuberías que llevan el suministro de agua de la bocatoma a la planta compacta.
- Falta de micromedidores en la población, permitiendo la sobreutilización del recurso en tiempos de sequía, especialmente por diseños de piscinas privadas.

Entendiendo esto, se plantea como pregunta de diseño: ¿Cuáles son las estrategias y mejoras que permitirían solucionar los problemas que afectan a la comunidad de Huasanó relacionados con el acueducto?

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Formular alternativas que permitan mejorar el funcionamiento del acueducto de Huasanó, a través de diseños hidráulicos, estructurales, y protocolos de administración del recurso hídrico.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño de un tanque de almacenamiento adicional con el fin de captar el excedente de agua que está presentando el sistema.
- Realizar el diseño de una cercha para tramo de tubería que está siendo afectada por falla de talud.
- Realizar pruebas de calidad de agua para las quebradas Bitaco y Monserrate.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 TERMINOLOGÍA

#### 4.1.1 Microcuencas hidrográficas

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015. Artículo 2.2.3.1.1.3., corresponde al área de aguas superficiales, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar; la microcuenca está delimitada por la línea del divorcio de las aguas. Considerando el tamaño se puede decir que la microcuenca es aquella cuenca cuya área de drenaje es menor a 500 Km<sup>2</sup>”, definición que se deduce de la definición de Nivel subsiguiente presente en la norma nacional sobre ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

#### 4.1.2 Fuente de abastecimiento

Se consideran fuentes de abastecimiento todas las aguas provenientes de cursos o cuerpos superficiales o subterráneos. También pueden considerarse como fuentes, en casos excepcionales, las aguas lluvias y el agua de mar. Son las fuentes de agua que se convierten en el suministro del sistema, es el elemento primordial para un sistema de agua potable.

#### 4.1.3 Captación de agua superficial

Son las estructuras que se requieren para captar las aguas provenientes de ríos, lagos, lagunas, océanos o mares. Es una estructura a nivel del terreno mediante la cual se hace uso y aprovechamiento del agua de la fuente que corresponda, ya sea por gravedad (nivel del terreno) o por bombeo, para garantizar el suministro del recurso a una población. Las características y tamaño de la infraestructura de captación van a depender de la cantidad o caudal de agua que necesite la

comunidad. Hay que recordar que las aguas superficiales pueden presentar cierto grado de contaminación por lo que deben ser objeto de una serie de tratamientos que modifiquen sus características físicas, químicas y microbiológicas y hacerla para el consumo humano.

#### 4.1.4 Bocatoma

Es una estructura que se utiliza para desviar el agua del curso de un río, lago, canal, arroyo o incluso el mar y que se utiliza a menudo para conducir el líquida hasta un sistema de abastecimiento de agua potable.

#### 4.1.5 Desarenador

Es la primera estructura en el proceso de tratamiento del agua, es una estructura hidráulica que tiene como función de remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas. La profundidad efectiva para el almacenamiento de arena en el desarenador debe estar comprendida entre 0.75 m y 1.50 m. La altura máxima, para efectos del almacenamiento de la arena, puede ser hasta el 100 % de la profundidad efectiva.

#### 4.1.6 Desaireador

Diseñadas para expulsar automáticamente las pequeñas bolsas de aire que se acumulan dentro de las tuberías mientras el sistema está funcionando bajo presión y la misma excede por lo menos a la presión atmosférica. Se colocan cada 300 metros o cuando se encuentre puntos altos. Para tuberías con diámetro interno real menor o igual que 100 mm, el diámetro mínimo será de 50 mm. Para tuberías con diámetro interno real mayor que 100 mm, el diámetro mínimo de las ventosas será de 75 mm.

#### 4.1.7 Aducción

Se define como línea de aducción en un sistema de acueducto al conducto que transporta el agua de la bocatoma, desde la cámara de derivación, hasta el desarenador. Funciona con flujo a superficie libre, solo en épocas de altas aguas funciona a presión. La línea de aducción se diseña para el caudal máximo diario, con diámetros y velocidades ideales para evitar la sedimentación y la abrasión respectivamente.

#### 4.1.8 Conducción

Componente del sistema de abastecimiento de agua a través del cual se transporta ésta desde el desarenador hasta la planta de tratamiento, al tanque de almacenamiento o directamente a la red de distribución.

#### 4.1.9 Planta compacta

Es un tipo de planta depuradora para poblaciones relativamente pequeñas, en el cual todos los procesos involucrados para el tratamiento del líquido se ubican dentro de un único tanque subdividido en diferentes cámaras.

#### 4.1.10 Válvula de purga

Generalmente se instalan en los puntos bajos, cerca de ríos o alcantarillas para desocupar la tubería y permitir las reparaciones o la limpieza periódica del material acumulado. Cada 350m o puntos donde se pueda verter el agua, se recomienda que el diámetro de la tubería de desagüe esté entre  $1/3$  y  $1/4$  del diámetro de la tubería principal, con un mínimo de 100 mm para tuberías mayores que 100mm. Para diámetros menores debe adoptarse el mismo diámetro de la tubería principal.

#### 4.1.11 Acueducto

Para el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2011, en el título A, se entiende por Sistemas de Acueducto, el conjunto de instalaciones que conducen el agua desde su captación en la fuente de abastecimiento hasta la acometida domiciliaria en el punto de empate con la instalación interna del predio a suministrar el servicio de agua potable

#### 4.1.12 Esquema convencional de abastecimiento de agua

Según el ingeniero Civil Ricardo Alfredo López Cualla, cualquier sistema de abastecimiento de agua a una comunidad, por rudimentario que sea, consta de los siguientes elementos:

- Fuente de abastecimiento: La fuente de abastecimiento de agua puede ser superficial, como en los casos de ríos, lagos, embalses o incluso aguas lluvias, o de aguas subterráneas superficiales o profundas. La elección del tipo de abastecimiento depende de factores tales como localización, calidad y cantidad
- Obras de captación: El tipo de estructura utilizada para la captación del agua depende en primer lugar del tipo de fuente de abastecimiento utilizado. En general, en los casos de captación de agua superficial se habla de "bocatoma", mientras que la captación de aguas subterráneas se hace por medio de "pozos".
- Obras de conducción: En un proyecto existen numerosas conducciones de agua entre diferentes puntos, como por ejemplo bocatoma-desarenador, desarenador-tanque de almacenamiento y línea matriz. Hidráulicamente estas conducciones pueden ser de diferentes formas, dependiendo de la topografía y la longitud de las mismas. Estas conducciones son

generalmente por tubería a presión o por gravedad, por canales rectangulares o trapeciales abiertos o cerrados.

- **Tratamiento del agua:** En la actualidad ningún agua en su estado natural es apta para el consumo humano; además, siempre se requerirá un tratamiento mínimo de cloración con el fin de prevenir la contaminación con organismos patógenos durante la conducción del agua. Por lo tanto, el tratamiento de agua se define como el proceso mediante el cual se realiza una limpieza al recurso hídrico para que este sea apto para el consumo humano.
- **Almacenamiento:** El almacenamiento hace referencia a la conservación de un material dentro de un lugar específico. Dado que el caudal de captación no es siempre constante y que el caudal demandado por la comunidad tampoco lo es, es necesario almacenar agua en un tanque durante los períodos en los que la demanda es menor que el suministro y utilizarla en los períodos en que la comunidad demanda gran cantidad del líquido.
- **Distribución:** La distribución de agua a la comunidad puede hacerse desde la manera más simple que sería un suministro único por medio de una pileta de agua, hasta su forma más compleja por medio de una serie de tuberías o redes de distribución que llevan el agua a cada domicilio.

## 4.2 MARCO GEOGRAFICO

### 4.2.1 Contexto histórico

Huasanó, fundado en 1810, cuenta actualmente con vestigios conservados de la arquitectura de la época colonial y estos, a su vez, se reconocen como uno de los asentamientos más antiguos del municipio a raíz el proceso de ocupación del territorio nacional. Lo anterior dado que se dio en primera instancia en función de los grandes ríos, donde asentamientos ribereños como Robledo cobraron especial importancia para el desarrollo de la región, facilitando el crecimiento paulatino dentro del territorio.

### 4.2.2 Generalidades

El corregimiento de Huasanó es un poblado perteneciente a la zona rural del municipio de Trujillo, de topografía plana y clima cálido. Se encuentra entre las cabeceras municipales de Riofrio y Bolívar, en la ladera oriental de la cordillera occidental en la trifurcación andina colombiana, al costado izquierdo del río Cauca. Limita al norte con el municipio de Bolívar, al sur con la vereda Cerro azul, al occidente con la vereda Hato viejo. Estas dos pertenecientes al municipio de Trujillo, Al oriente limita con el Río Cauca, Bugalagrande, Andalucía y Tuluá.

### 4.2.3 Descripción física

El parque central de Huasanó cuenta con las coordenadas 4°14'45.0"N 76°14'41.3"W, posee una altitud de cabecera municipal de 945 metros sobre el nivel del mar y una temperatura promedio de 24° centígrados

Esta cabecera corregimental se ubica en la parte plana al oriente del municipio, se comunican través de la troncal del pacífico que sigue hacia el norte rumbo a Roldanillo. Se caracterizan por ser un corregimiento dormitorio, de vocación turística y donde la tendencia demográfica es de carácter decreciente, evidenciando una concentración de la tierra en pocas manos, también reflejada en lo urbano.



***Ilustración 2. Ubicación geográfica del corregimiento de Huasanó***

*(Fuente: Mapcarta).*

#### 4.2.4 Suelo

El municipio posee suelos desarrollados en todos los climas, superficiales o con afloramientos rocosos (Entisoles e Inceptisoles). Estos suelos cuentan con muy bajo contenido de materia orgánica (1.0 - 0.5% de carbón orgánico), son moderadamente ácidos, tienen déficit de aluminio y poseen bajos contenidos de fósforo disponible (menos de 30 ppm).

El uso del suelo se centra en cultivos de papaya y maracuyá (Ilustración 2), limón Tahití (Ilustración 3) y Piscicultura (Ilustración 4). En la región se encuentran diferentes tipos de orquídeas como las *Cattleya quadricolor* y individuo de *Encyclia* sp siendo estas una especie en vía de extinción y endémica de Colombia.



*Ilustración 3. Cultivos de papaya y maracuyá*

*(Fuente: propia).*



*Ilustración 4. Cultivo de limón Tahití*

*(Fuente: propia).*



*Ilustración 5. Tanques de geomembrana para piscicultura*

*(Fuente: propia).*

#### 4.2.5 Clima

El régimen de lluvias durante el año es de tipo bimodal en la franja andina. Los meses de mayores precipitaciones son abril-mayo en el primer semestre y octubre-noviembre, en el segundo, siendo ligeramente mayores los volúmenes del segundo semestre. La temporada seca principal ocurre hacia mediados de año, con mayor intensidad entre los meses de junio y agosto. La segunda temporada seca, aunque menos marcada, se presenta en los meses de enero a marzo.

El corregimiento presenta un clima cálido, con una temperatura promedio de 25°C. Al tener un comportamiento bimodal, se tienen dos periodos de lluvia y dos periodos secos respectivamente. Los periodos secos comprenden los meses de diciembre a febrero, con precipitaciones de 57.5mm y de junio a agosto con precipitaciones de 49.2mm. Los periodos lluviosos comprenden los meses de marzo a mayo, con precipitaciones de 155mm y de septiembre a noviembre con precipitaciones de 167mm.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 ENFOQUE METODOLÓGICO**

Para el desarrollo de este trabajo se siguió la metodología de investigación aplicada, la cual es una metodología de carácter científico usada con el fin de tratar los problemas de manera practica y así generar conocimientos que puedan ser aplicados en las soluciones de las situaciones reales. Se basa en el uso de métodos científicos estrictos para obtener, analizar e interpretar datos, para así encontrar soluciones que sean viables y efectivas para los problemas concretos encontrados. Su propósito fundamental es encontrar la solución del problema.

### **5.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN**

La investigación que se realizo es de tipo descriptiva, está nos permite describir y especificar en detalle el estado actual del sistema de acueducto, sus características, propiedades y comportamiento, con el objetivo de recopilar datos e identificar problemas, limitaciones y áreas de mejora. Su propósito es obtener información precisa sobre el acueducto, incluyendo una sólida base de conocimientos sobre su infraestructura, desempeño, calidad del agua y factores externos que puedan afectarla, con el fin de cumplir con los objetivos propuestos.

## 5.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.3.1 Fase 1: Diagnostico de la zona de estudio

En esta fase se realizó la evaluación de las condiciones relevantes del área de estudio con el fin de comprender el entorno donde se llevará a cabo la investigación, formular los objetivos correspondientes y establecer las características del sistema de acueducto. Para el diagnóstico de la zona de estudio se incluyeron los siguientes elementos:

- Contexto geográfico del municipio de Huasanó (ubicación geográfica, clima, topografía).
- Contexto historio y cultural (historia, cultura, eventos relevantes).
- Infraestructura y servicios (vías de comunicación, acceso a los servicios, condición de los elementos de estudio)
- Caracterización socioeconómica (demografía, ocupaciones laborales, indicadores socioeconómicos importantes).

### 5.3.2 Recolección de datos e información

Se refiere al proceso utilizado para el levantamiento de información concreta y relevante sobre el área de estudio con el fin de obtener un punto de partida que facilitara el establecimiento de la línea inicial del proyecto. Para esto se realizaron investigaciones de campo para la recolección de información primaria y secundaria a través de charlas con miembros de la comunidad, recolección de datos e información sobre la red, así como también múltiples visitas de campo por medio de la cual se tomaron muestras de calidad de agua, medición de caudales, fotografías y recolección de coordenadas geográficas. Esta fase es fundamental para obtener información

empírica para respaldar todos los análisis e interpretaciones resultantes de la información recolectada.

### 5.3.3 Análisis e interpretación

En esta fase se realiza el análisis e interpretación de la información recolectada, todo lo relacionado con la fuente hídrica, la recolección, transporte, tratamiento y almacenamiento. Se llevo a cabo la determinación de las deficiencias presentes en el sistema con respecto a la estructura que se tiene y su funcionamiento, así como las variables que están o podrían afectarla. Se procedió a evaluar las posibles soluciones o alternativas con el fin de formular propuestas de mejora en función de los hallazgos encontrados y las necesidades de la comunidad.

## 6. RESULTADOS DE INVESTIGACION

### 6.1 TRABAJO DE CAMPO

Se han realizado 3 visitas técnicas a la zona, con el objetivo de recolectar la información necesaria para tener de manera clara y concisa las características y condiciones de la infraestructura y de la microcuenca.

#### 6.1.1 Primera visita técnica

El día 25 de febrero de 2023 se realizó la primera visita al municipio de Huasanó. Nos acompañó, desde Cali, el profesor Cesar Camilo Cañón, la estudiante Daniela Espinosa de Biología, y en Huasanó nos guio el fontanero Adolfo. Se inició el recorrido en las inmediaciones de la iglesia principal, al llegar allí el fontanero nos dio la bienvenida al equipo investigador y fue quien guio el recorrido. Dentro de las conversaciones con el fontanero, encontramos que el corregimiento posee dos bocatomas, una en la microcuenca Monserrate y otra en la microcuenca Bitaco, esta última, ha estado expuesta a agentes contaminantes por el actuar de una comunidad indígena que reside aguas arriba.

En el trayecto se encuentra un canal (Ilustración 6) que es el encargado de transportar el agua desde la microcuenca hasta una finca vecina al corregimiento. Dicha finca pertenece al terreno donde se encuentra tanto la bocatoma como la planta compacta. Por otro lado, cuenta con un canal que tiene una dimensión de 7.8 metros de largo, 85 centímetros de ancho y una

profundidad total de 15 centímetros. Dicho canal está localizado aproximadamente en las siguientes coordenadas: 4°15'18.2"N 76°15'16.6"W.



### ***Ilustración 6. Canal***

*(Fuente: propia).*

A continuación, se muestra el cálculo caudal el cual se ve en la ilustración 6.

- Datos de entrada:
  1. Largo: 7.8 m
  2. Ancho: 85cm

$$85cm * \frac{1m}{100cm} = 0.85m$$

3. Profundidad: 15 cm

$$15cm * \frac{1m}{100cm} = 0.15m$$

- Tiempo:
  - T1: 19.88 segundos.
  - T2: 20.02 segundos.
  - T3: 21.65 segundos

Promedio:  $\frac{19.88+20.02+21.65}{3} = 20.51s$

- Volumen = 7.8m \* 0.85m \* 0.15m = 0.9945m<sup>3</sup>

$$0.9945m^3 * \frac{1l}{0.001m^3} = 994.5l$$

- Caudal:

$$Q = \frac{994.5l}{20.51s} = 48.488l/S$$

Posteriormente, se llegó a la zona donde ocurrió una falla de estabilidad en los taludes (Ilustración 7), entendiendo que cuando los esfuerzos que deben actuar sobre estos sobrepasan la resistencia debida de los materiales que lo componen, se presenta una falla. Esta clase de fallas se pueden producir por diversos factores, pero en el caso de estudio se dio por presión de poros.



***Ilustración 7. Falla de taludes***

*(Fuente: propia).*

Debido a esta falla, la comunidad junto con el fontanero decidió utilizar ramas de árboles para provisionalmente brindarle a la tubería un soporte (Ilustración 9), ya que debido a la falla esta quedó al descubierto y en el aire.



***Ilustración 8. Soporte provisional de la tubería***

*(Fuente: propia).*

Al llegar a la bocatoma (Ilustración 9) nos ubicamos directamente sobre ella y registramos las coordenadas  $4^{\circ}15'26.0''N$   $76^{\circ}15'26.5''W$ . Procedimos a registrar sus dimensiones, las cuales son de 74 centímetros de ancho, 44 de profundidad y de 1.3 metros de largo. Por su parte, la bocatoma cuenta con una rejilla, la cual se encarga de recolectar el agua, sus dimensiones son de 1 metro de largo y 29 centímetros de ancho. Esta es una estructura hidráulica encargada de derivar una cierta cantidad del agua disponible de un cuerpo de agua para utilizarlo, en este caso, para fines de abastecimiento público.



***Ilustración 9. Bocatoma***

*(Fuente: propia).*

Este procedimiento se repitió con el desarenador (Ilustración 10), se tomaron las coordenadas  $4^{\circ}15'25.6''N$   $76^{\circ}15'25.7''W$  y las dimensiones de 1.20 metros de profundidad, un largo de 4.94 metros y un ancho de 1.32 metros. Este cumple con la función de remover del agua partículas como arenas, material orgánico, gravas finas etc.



***Ilustración 10. Desarenador***

*(Fuente: propia).*

En el camino de regreso el guía mostró la zona donde la comunidad del corregimiento quiere construir un embalse para almacenamiento de agua y que además pueda ser usado de forma recreativa por la comunidad (Ilustración 11). Este se encuentra aproximadamente en las coordenadas 4°15'24.3"N 76°15'23.9"W.



***Ilustración 11. Ubicación embalse***

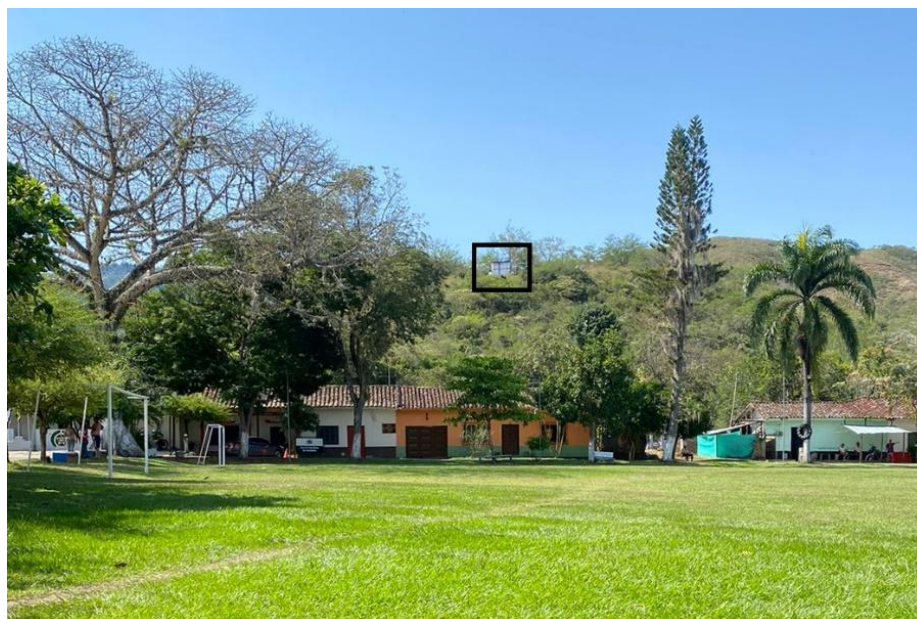
*(Fuente: propia).*

Al final del recorrido se llegó al lugar donde se encuentra la planta compacta (Ilustración 12) que está ubicada en la parte alta de una colina que está al frente de la cancha de fútbol del corregimiento (Ilustración 13).



***Ilustración 12. Planta compacta***

*(Fuente: propia).*



***Ilustración 13. Vista de la planta compacta desde la cancha de futbol***

*(Fuente propia).*

Al llegar al lugar, se realizó un ejercicio de observación y ubicación de las partes de la planta compacta. Esta es la encargada de realizar el tratamiento de aguas contaminadas para

mejorar sus condiciones, por lo que inicialmente se buscó observar el sistema de filtros (Ilustración 14).



***Ilustración 14. Filtros de la planta compacta***

*(Fuente: propia).*

Luego se observó cómo se libera el agua contaminada a través de un sistema de tuberías (Ilustración 15).



***Ilustración 15. Liberación del agua contaminada***

*(Fuente: propia).*

De la misma forma, se encontró un tanque de almacenamiento debajo de la planta (Ilustración 16) con unas dimensiones de 5 metros de ancho, 5 metros de largo y 2.4 metros de profundidad.



***Ilustración 16. Tanque de almacenamiento***

*(Fuente: propia).*

Adicional a esto, dentro de la visita también se logró ver las válvulas de la planta compacta y el rebosadero (Ilustración 17).



### ***Ilustración 17. Válvulas***

*(Fuente: propia).*

En la foto anterior, la válvula izquierda es la que permite el flujo de agua en el acueducto del corregimiento, la válvula de la derecha es la que se utiliza para vaciar el tanque para ser lavado, y el elemento faltante corresponde al rebosadero. Lo anterior compone el sistema de vaciado y flujo dentro de la planta compacta del municipio.

#### **6.1.2 Segunda visita técnica**

La segunda visita se llevó a cabo el día 11 de marzo de 2023, se presentaron lluvias desde el día anterior hasta el mediodía de la visita aproximadamente. Se tuvo como objetivo principal la recolección de las coordenadas y fotos detalladas que comprenden el recorrido de la tubería desde la bocatoma hasta la planta compacta, así como también se registraron los estados de la planta compacta, bocatoma y de la microcuenca Monserrate cuando está lloviendo.

El recorrido se inició en sentido planta compacta – bocatoma. Al momento de llegar a la planta compacta procedimos a registrar el estado de esta, debido a la lluvia, logrando observar que

se encontraba saturada y sucia por el volumen de agua que estaba ingresando (Ilustración 18), esto implica que por la lluvia se supera la capacidad de tratamiento de la planta. El fontanero nos informó que cuando sucede esto, se debe de esperar a que deje de llover y que el caudal de la microcuenca regrese a la normalidad, para así poder vaciar la planta y proceder a limpiarla, ya que las partículas arrastradas por el agua se depositan en esta, ensuciándola.



***Ilustración 18. Filtros de la planta compacta cuando llueve***

*(Fuente: propia).*

Por medio del teléfono móvil, se logró registrar las coordenadas correspondientes al recorrido de la tubería desde la planta compacta hasta la bocatoma de la quebrada Monserrate, para esto se realizó un recorrido a pie mientras se registraba por medio del celular cada coordenada y, para el cual, en ciertas partes toco abrirse camino a través de la espesa maleza a raíz de la falta de mantenimiento de la tubería y de su recorrido (Ilustración 19).



***Ilustración 19. Vegetación presente sobre la tubería***

*(Fuente: propia).*

En el recorrido se registraron además de las coordenadas, los puntos donde la tubería se encuentra expuesta o perdió su recubrimiento (Ilustración 20 y 21). Esto con el fin de determinar cuántos puntos de esta se encuentran expuestos, que tan grande es la exposición y cuál es el nivel de riesgo al que están expuestos.



***Ilustración 20. Perdida de recubrimiento de la tubería***

*(Fuente: propia).*



***Ilustración 21. Tubería expuesta***

*(Fuente: propia).*

Debido a la lluvia, pudimos observar movimientos de tierra y piedras pequeñas en partes donde la tubería ha perdido su recubrimiento (Ilustración 21 y 22), lo cual implica un riesgo alto de dañar la tubería y por ende paralizar el sistema de acueducto.



***Ilustración 22. Tubería expuesta y en riesgo por deslizamiento de material***

*(Fuente: propia).*



***Ilustración 23. Tubería expuesta y en riesgo por deslizamiento de material***

*(Fuente: propia).*

Al llegar a la bocatoma pudimos observar de primera mano lo que sucede cuando está lloviendo (Ilustración 24), la microcuenca arrastra tierra, arena y sedimento, esto se observa en el color que presenta el agua (Ilustración 25).



***Ilustración 24. Bocatoma cuando llueve***

*(Fuente: propia).*



***Ilustración 25. Estado de la microcuenca Monserrate cuando llueve***

*(Fuente: propia).*

Una de las problemáticas que se presenta cuando llueve es que, debido a todo el material que arrastra la microcuenca, se tapa la rejilla (Ilustración 26), por lo que cada vez que llueve se debe de retirar todo de forma manual (Ilustración 27).



***Ilustración 26. Rejilla de la bocatoma tapada***

*(Fuente: propia).*



### ***Ilustración 27. Limpieza manual de la rejilla***

*(Fuente: propia).*

Cuando se terminó la limpieza de la rejilla dimos por terminado el recorrido, por lo que nos dirigimos de regreso al pueblo por el camino normal.

#### **6.1.3 Tercera visita técnica**

La tercera visita se llevó a cabo el día 29 de abril de 2023. Nos acompañó desde Cali las estudiantes de Ingeniería Civil Laura y Mileidy Sánchez, las cuales serían las encargadas de realizar pruebas de calidad de agua en la bocatoma Monserrate, que se encuentra en funcionamiento. Nos encontramos con el fontanero en la planta compacta para iniciar el recorrido hacia la bocatoma. El objetivo principal de esta visita era obtener fotografías aéreas de la zona donde ocurrió la falla de taludes por medio del dron DJI Phantom 4 Pro, realizar pruebas de calidad de agua, utilizar un GPS topográfico para obtener con gran precisión en el plano horizontal, los puntos correspondientes al trayecto donde se quiere ubicar el pozo recreativo a la bocatoma

Monserrate y registrar por medio de coordenadas el camino hacia la bocatoma Bitaco. El primer punto al que se llegó fue donde ocurrió la falla de taludes, en este punto se utilizó el dron para obtener fotografías que nos permitan ver el panorama completo de donde ocurrió la falla, conocer si más abajo se encuentra alguna variable que debamos considerar al momento de buscar una solución o si se encuentra algún fenómeno que se haya omitido al no tener una visión completa del área afectada.



***Ilustración 28. Manejo del dron***

*(Fuente: propia).*

Para realizar las tomas fotográficas y obtener una escala para estas, se ubicaron dos personas junto con un metro a lo largo de la tubería, dando la medida de metros. Se obtuvo la siguiente fotografía:



***Ilustración 29 Fotografía de la falla de talud con el dron***

***(Fuente: propia).***

Al terminar de tomar las fotografías se siguió con el recorrido hasta llegar a la zona donde se quiere realizar el pozo recreativo. En este punto se ubicó el dispositivo GPS para poder registrar los puntos y alturas hasta la bocatoma.



***Ilustración 30. Dispositivo GPS0***

***(Fuente propia).***

Aprovechando que se tenía el dron, se realizaron unas fotografías aéreas de la zona donde se planea ubicar el pozo recreativo.

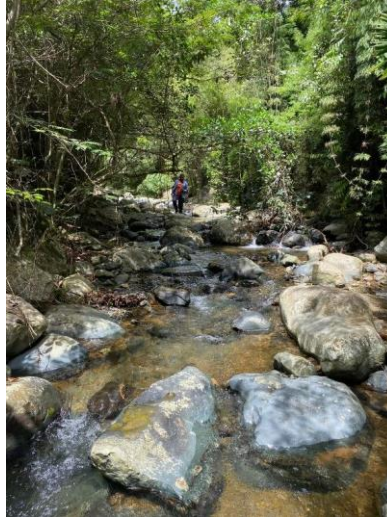


*Ilustración 31 Fotografía de la zona del pozo recreativo con el dron*

*(Fuente: propia).*

Se procedió a utilizar el dispositivo GPS para registrar los puntos con sus respectivas altitudes mientras las estudiantes Laura y Mileidy Sánchez se encargaban de realizar las pruebas de calidad de agua, pero desafortunadamente por la frondosidad del camino el dispositivo perdía la conexión satelital, por lo que no se pudieron registrar los datos ni hacer uso del GPS. Debido a este inconveniente optamos por dirigirnos hacia la bocatoma de la quebrada Bitaco, para hacer registro tanto de coordenadas como de fotografías, ambas con dispositivos móviles. El camino hacia la segunda bocatoma se hizo principalmente a través de la propia quebrada Bitaco, debido a

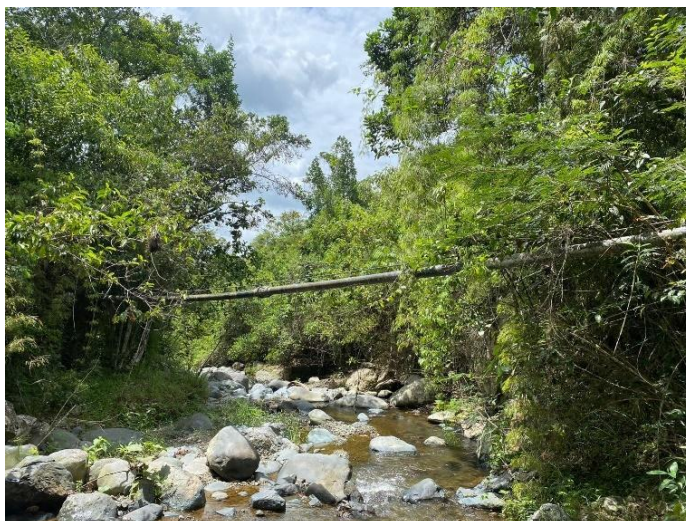
que no se cuenta con un camino completo que permita el acceso a esta, solo por tramos pequeños o ya llegando a esta.



*Ilustración 32. Camino hacia la bocatoma de la quebrada Bitaco*

*(Fuente: propia).*

Más adelante en el recorrido, nos encontramos con una tubería colgante con cable tensado. Desafortunadamente por las condiciones del terreno, y la altura que presentaba la tubería, no se pudo tomar medida de la luz.



***Ilustración 33. Tubería colgante de la quebrada Bitaco***

*(Fuente: propia).*

De lo que si se pudo tomar registro fue de algunos componentes para este tipo de diseño, además de sus materiales, como el de la tubería, que corresponde a PVC, dejando claro que el material de ambas tuberías no cambia en ninguno de sus recorridos.



***Ilustración 34. Tubería colgante de la quebrada Bitaco***

*(Fuente: propia).*

Finalmente se llegó a la bocatoma de la quebrada Bitaco, la cual se encuentra en un estado similar al de la quebrada Monserrate, la única diferencia es que esta no cuenta con la rejilla correspondiente, esto debido al desuso y falta de atención que ha recibido estos últimos meses.



***Ilustración 35. Bocatoma quebrada Bitaco***

*(Fuente: propia).*

Se procedió a ir al desarenador para observar sus condiciones.



***Ilustración 36. Desarenador quebrada Bitaco***

*(Fuente: propia).*

En el exterior se ve que no presenta mayor problema, desafortunadamente cuando se abrió para observar el interior nos encontramos con que este se encuentra completamente lleno de barro, teniendo una capa de sedimento de 30 centímetros aproximadamente



*Ilustración 37 Interior desarenador quebrada Bitaco*

*(Fuente: propia).*

Por último, antes de regresar nos dirigimos al punto donde las quebradas Bitaco y Monserrate se unen, siendo respectivamente la quebrada Bitaco la ubicada del lado izquierdo y la quebrada Monserrate la ubicada del lado derecho.



*Ilustración 38. Unión de las quebrada Bitaco y Monserrate.*

*(Fuente: propia).*

## **6.2 PRUEBAS DE CALIDAD DE AGUA**

### **6.2.1 Alcance**

El estudio de calidad del agua fue desarrollado en un punto estratégico de la bocatoma del corregimiento de Huasanó. Donde se llevó a cabo el muestreo para determinar dos parámetros importantes como lo son: Oxígeno Disuelto (OD) y Sólidos suspendidos totales (SST).

### **6.2.2 Objetivo**

Realizar un diagnóstico de la bocatoma que surte la comunidad de Huasanó a través del desarrollo de un muestreo tipo puntual en intervalos de tiempo en un punto crítico de la bocatoma del corregimiento de Huasanó determinando parámetros in situ de oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y temperatura, como también en el laboratorio sólidos suspendidos totales.

### **6.2.3 Metodología**

El trabajo de campo se realizó a través de una estrategia de trabajo consistente en las siguientes acciones:

- Ubicación de la bocatoma
- Toma de muestras, se recogieron 5 muestras en diferentes intervalos de tiempo (Cada 10 minutos) en un mismo punto de la bocatoma
- A cada muestra se le tomaron los datos para el posterior análisis.

### **6.2.4 Parámetros de monitoreo**

Durante el levantamiento de la información en campo, se analizaron los parámetros que se describen brevemente a continuación:

- Oxígeno Disuelto (OD): Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para la vida de cualquier organismo acuático. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación del agua. Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno presente en el aire que se ha disuelto en el agua. Parte del oxígeno

disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores también afectan los niveles de OD; por ejemplo, en un día soleado se producen altos niveles de OD en áreas donde hay muchas algas o plantas debido a la fotosíntesis. La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de OD debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente, disolviéndose en el agua.

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Los SST o residuos no filtrables son una medida de la cantidad de sólidos en suspensión presentes en una muestra de agua natural, residual industrial o doméstica después de un período de asentamiento de 10 minutos. Estos sólidos en suspensión incluyen productos de la erosión del suelo, detritu orgánico y plancton, y su presencia puede causar impurezas visibles en el agua, como limo, arena y virus. A diferencia de los sólidos sedimentables, estas partículas son demasiado pequeñas para ser eliminadas por deposición y, por lo tanto, se pueden identificar a través de características visibles del agua, como turbidez, claridad, color, sabor y olor.

## **6.2.5 Equipos y materiales para el muestro**

### ***6.2.5.1. Equipos empleados***

- Medidor de Oxígeno Disuelto Portátil e impermeable con Microprocesador marca HANNA Instruments.
- Medidor de SST.

### ***6.2.5.2 Materiales***

- Guantes.
- Frascos de plástico rotulados.
- Agua destilada.

### **6.2.6 Metodología para el muestreo**

- a) Identificar el lugar de muestreo y preparar los equipos e implementos necesarios.
- b) Recolectar las muestras requeridas y proceder a llenar los frascos, según el parámetro que se analizará.
- c) Medir los parámetros fisicoquímicos de campo como temperatura y oxígeno disuelto proceder a anotar los resultados.
- d) Almacenar los frascos en el cooler con refrigerante para su traslado al laboratorio.
- e) Finalmente, trasladar las muestras al laboratorio para su análisis.

### **6.2.7 Resultados del monitoreo quebrada Monserrate**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la quebrada Monserrate, la cual es la usada actualmente por el sistema, luego de realizar la caracterización de tipo puntual tanto en campo (In Situ) como en laboratorio del agua superficial tomada en el año 2023 en 1 punto en diferentes intervalos:

**6.2.7.1 Muestra #1**

- Toma de muestra: Bocatoma –Huasanó
- Fecha de muestreo: 29/04/2023
- Hora de muestreo: 10: 20a.m.
- Tipo de muestreo: Puntual

PARÁMETROS	SÍMBOLO	RESULTADOS
Temperatura	°C	25,8
OD	mg /L	5,59
% de saturación	%	77,0

**6.2.7.2 Muestra #2**

- Toma de muestra: Bocatoma - Huasanó
- Fecha de muestreo: 29/04/2023
- Hora de muestreo: 10:30 a.m.
- Tipo de muestreo: Puntual

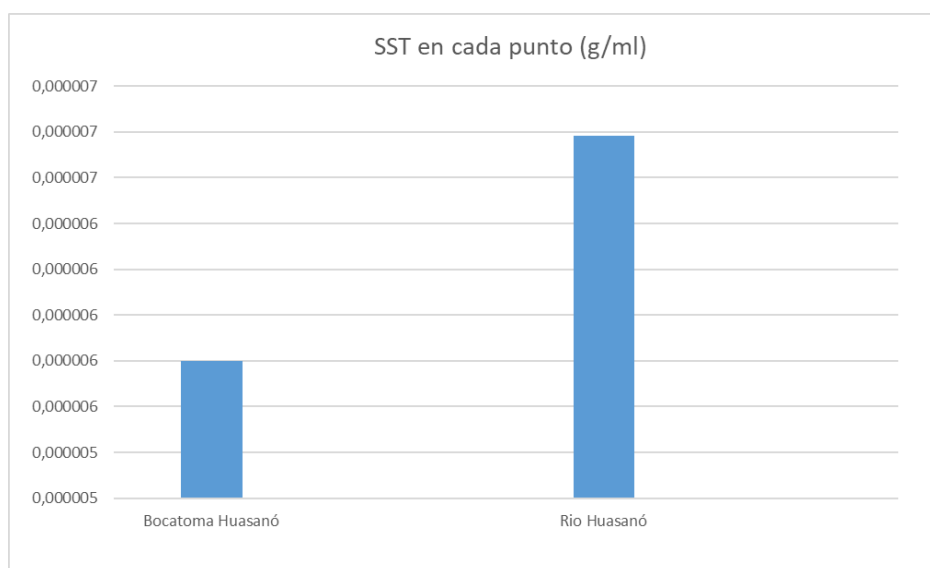
PARÁMETROS	SÍMBOLO	RESULTADOS
Temperatura	°C	24,2
OD	mg /L	6,36
% de saturación	%	85,0

Para realizar el ensayo de sólidos suspendidos se realizó un total de 4 muestras de 250 ml, donde las dos primeras se tomaron de la bocatoma y las otras dos del río. los resultados obtenidos se presentan a continuación:

CONTROL ENSAYO DE SOLIDOS				
FECHA	29/03/2023			
MUESTRA	Bocatoma Huasanó		Rio Huasanó	
CAPSULA/CRISOL	2	3	11	13
ENSAYO	SST	SST	SST	SST
VOLUMEN DE MUESTRA (ml)	250	250	250	230
PESO INICIAL CONSTANTE (g)	19,9821	19,1779	18,8193	20,2033
PESO FINAL CONSTANTE (g)	19,9838	19,1791	18,8203	20,2055
RESULTADO (g/ml)	0,000007	0,000005	0,000004	0,000010

### 6.2.8 Análisis de los resultados obtenidos

El **Oxígeno Disuelto** es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua, los valores normales varían entre los 5,0 mg/L y 8,0 mg/L, dentro de los valores obtenidos del muestreo de agua superficial se presentan concentraciones dentro de los rangos establecidos, por ende, se puede inducir que el río es saludable para mantener la supervivencia de las especies acuáticas. El análisis para los **sólidos suspendidos totales** arrojó los siguientes resultados:



En el caso colombiano, los sólidos suspendidos totales se interpretan de acuerdo con las normas establecidas para vertimientos de residuos líquidos, ya que no se ha reglamentado la valoración de la calidad de agua de las aguas continentales. Sin embargo, Ramírez y Viña (1998) establecen un valor límite de 150 mg/L de SST que al ser sobrepasado se consideraría un cuerpo de agua contaminado, por lo tanto, no se encuentra índices de contaminación en las muestras, sin embargo, en donde mayores sólidos suspendidos se encontró fue como tal en el Río y no en el agua que se encuentra dentro de la bocatoma. Sin embargo, en un estudio hecho por la Organización Mundial de la Salud OMS, menciona la recomendación de los niveles de sólidos disueltos totales TDS en el agua potable (en mg/l o PPM):

- 0 – 300 Excelente
- 300 – 600 Nivel bueno
- 600 – 900 Nivel aceptable
- 900 – 1200 Nivel pobre o no recomendable
- 1,200 a más Inaceptable.

Por lo que al comparar los resultados según la clasificación se puede ver que el estado es excelente, sin embargo, se debe tener en cuenta que el estudio no se realizó en tiempos de lluvia, por lo que el río no presentaba aguas turbulentas o turbias que arrastran un mayor número de sedimentos por lo que se esperarían mayores niveles de sólidos dentro del mismo.

#### **6.2.8 Resultados del monitoreo quebrada Bitaco**

Se realizó un análisis de la calidad del agua de la quebrada Bitaco, la cual no hace parte del sistema actual pero este análisis es de gran importancia para conocer si podría ser incluida, ya que la bocatoma de esta se encuentra justo antes del desarenador del sistema actual.

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS			
Parámetro Analizado	Unidad	Resultado	Dec 1076 de 2015
AC Alcalinidad Total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	168	N/a
AC Cloruros	mg Cl /L	<10	0-250
AC Coliformes Totales	NMP/100mL	9,2e05	0- 20000
AC Color Real	UPC	<8	0-75
AC Conductividad	μS/cm	344	N/a
AC Dureza Total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	178,00	N/a
Escherichia colí	NMP/100mL	46000,0	N/a
AC Hierro Total	mg Fe /L	<0,2	N/a
Manganeso (SUB)	mg Mn /L	<0,1	N/a
Nitratos (SUB)	mg N-No <sub>3</sub> /L	<0,904	N/a
AC pH		8,29	5,0-9,0
AC Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> /L	50,48	0-400
AC Temperatura	°C	26,5	N/a
AC Turbiedad	NTU	17	N/a

*Ilustración 39 Resultados de laboratorio Quebrada Bitaco*

*(Fuente: Laboratorio Hidroambiental SAS).*

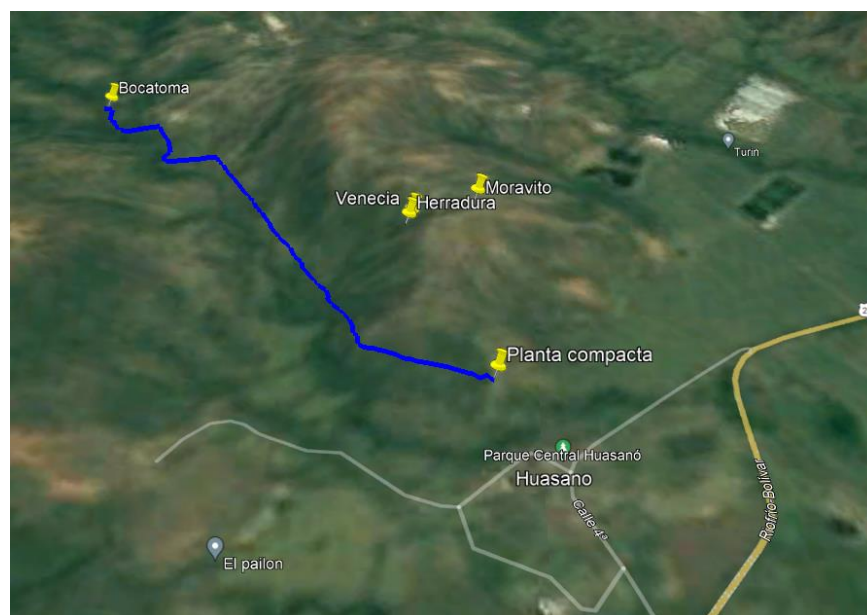
Los resultados obtenidos muestran una gran cantidad de Coliformes, teniendo en cuenta el decreto 1076 de 2015 podemos deducir que esta fuente hídrica no es apta para su potabilización en una planta de tratamiento convencional.

### **6.3 ANALISIS DE CAUDAL**

Al no haber estaciones limnigráficas cercanas asociadas con las fuentes de agua del acueducto en cuestión, se procede a estimar el caudal a partir de los datos de precipitación.

### **6.4 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS**

Para la realización del análisis de caudal se realiza una investigación en la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), para determinar qué estaciones pluviométricas se encuentran cerca al municipio de Huasanó. A continuación, se muestra la ubicación de las estaciones con sus características.



**Ilustración 40. Ubicación estaciones pluviométricas**

(Fuente Google Earth)

**Tabla 1. Características de estaciones pluviométrica**

	Venecia	Herradura	Moravito
Tiempo de registro	52 años		40 años
Código	2624000101	2624600103	5420410118
Cuenca	Riofrio	Pescador	Garrapatas
Departamento	Valle del Cauca		
Municipio	Trujillo	Bolívar	
Corregimiento	Venecia	La herradura	Los cristales
coord. este	1075153,77	1095378,99	1077182,21
coord. norte	955857,23	964977,10	967135,20
altura	1532 msnm	916 msnm	1656 msnm
Categoría	Pluviografica		

Los datos se registraron en una tabla en donde se logra ver el registro diario durante todos los meses de los años mencionados anteriormente.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA												ESTACIÓN: VENECIA		
Dirección Técnica Ambiental												CÓDIGO: 262400101		
Grupo Recursos Hídricos - Red de Monitoreo												CUENCA: Riofrio		
												DEPARTAMENTO: Valle del Cauca		
												MUNICIPIO: TRUJILLO		
												CORREGIMIENTO: Venecia		
												COORD. ESTE: 1075153,77		
												COORD. NORTE: 855857,23		
												ALTURA: 1532		
												CATEGORÍA: Pluviográfica		
												ENTIDAD: CVC		
												FECHA INICIO: 01/08/1971		
PRECIPITACIÓN TOTAL DIARIA (mm)												AÑO 1971		
DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
1	***	***	***	***	***	***	9	1	12	10	9	0		
2	***	***	***	***	***	***	0	0	17	29	0	0		
3	***	***	***	***	***	***	0	25	1	10	18	0		
4	***	***	***	***	***	***	0	3	49	0	0	0		
5	***	***	***	***	***	***	0	8	0	0	9	0		
6	***	***	***	***	***	***	0	16	2	5	1	0		
7	***	***	***	***	***	***	0	17	31	9	0	5		
8	***	***	***	***	***	***	0	1	2	0	21	0		
9	***	***	***	***	***	***	4	25	13	0	5	0		
10	***	***	***	***	***	***	0	12	0	10	1	0		
11	***	***	***	***	***	***	27	0	25	0	1	0		
12	***	***	***	***	***	***	20	10	0	10	2	0		
13	***	***	***	***	***	***	0	0	0	31	2	0		
14	***	***	***	***	***	***	25	1	0	8	30	15		
15	***	***	***	***	***	***	0	21	19	3	0	1		
16	***	***	***	***	***	***	20	1	25	7	16	28		
17	***	***	***	***	***	***	0	0	1	17	58	5		
18	***	***	***	***	***	***	0	0	2	31	1	7		
19	***	***	***	***	***	***	0	0	1	0	2	1		
20	***	***	***	***	***	***	0	17	2	1	30	40		
21	***	***	***	***	***	***	0	4	8	33	6	4	35	
22	***	***	***	***	***	***	10	6	0	0	30	5	16	
23	***	***	***	***	***	***	0	3	71	3	6	6	3	
24	***	***	***	***	***	***	17	0	6	0	1	4	3	
25	***	***	***	***	***	***	5	1	0	0	21	8	33	
26	***	***	***	***	***	***	5	0	0	0	10	3	16	
27	***	***	***	***	***	***	6	0	0	0	1	1	18	
28	***	***	***	***	***	***	10	0	0	27	10	1	4	
29	***	***	***	***	***	***	41	0	0	6	5	1	12	
30	***	***	***	***	***	***	10	15	0	30	0	0	1	
31	***	***	***	***	***	***		37	2		31		0	
MÁXIMA						41<	37	71	49	31	58	40		
N.D.	0<	0<	0<	0<	0<	8<	12	18	20	24	25	18		
PROMEDIOS						10<	6	8	10	10	8	8		
TOTAL						104<	171	245	301	302	239	243		
TOTAL ANUAL	1695													
MÁXIMA DIARIO	71													
PROMEDIO ANUAL	8													
TOTAL N.D.	125													

\*\*\* = No Hay Dato      Vaso = No Aplica Dato  
 < = Dato Incompleto      N.D. = Número Días de Lluvia  
 \* = Dato Asumido

#### Ilustración 41. Precipitación total diaria en mm

(Fuente: CVC).

Como bien se presenta anteriormente, se puede apreciar el total de lluvia mensual, anual, la máxima diaria, el promedio anual y el total N.D. Estos datos son muy importantes para determinar cantidades, volúmenes y caudales. Con el pasar del tiempo no permanecen constantes, por ejemplo, de un mes a otro puede haber cambios drásticos en los registros de lluvia por lo que llevar el

registro de estos nos da una idea de cómo puede ser el comportamiento de la lluvia, mas no asegurarlo.

## **6.5 CÁLCULO DE VOLUMEN**

Para los cálculos de los volúmenes de caudal se toma el total de lámina de precipitación de cada mes durante los años en de registro. Este valor se multiplica por el área de la microcuenca abastecedora.

Los datos fueron organizados para cada estación, donde además se le realizó el estudio para cada una, estos se organizan de mayor a menor.

### **6.5.1 Organización**

Organizar los datos de caudales de mayor a menor permite identificar los valores extremos del conjunto de datos y considerarlos en la toma de decisiones para la gestión de recursos hídricos y la planificación de infraestructuras hidráulicas.

Además, la identificación de los valores extremos también puede ser importante para la gestión de recursos hídricos, ya que los caudales máximos pueden afectar la calidad de esta.

### **6.5.2 Análisis probabilístico**

#### **6.5.2.1 Balance anual**

Con base en los registros de lluvia acumulada a lo largo de los años y la separación geográfica entre estas estaciones, procedimos a calcular la precipitación multianual.

La precipitación multianual implica la recopilación y suma de datos de precipitación registrados durante varios años, lo que permite analizar patrones climáticos a largo plazo. Estos

datos son fundamentales para comprender variaciones climáticas a lo largo del tiempo y respaldar decisiones en áreas como agricultura, gestión de recursos hídricos y planificación urbana.

Utilizando los datos mensuales proporcionados por las estaciones pluviométricas, disponemos de una mayor cantidad de datos para realizar un cálculo más preciso.

En primer lugar, se realiza un promedio de la precipitación anual, dado que estamos considerando datos de tres estaciones pluviométricas. Luego, utilizando la cantidad de años en los registros, calculamos lo que denominamos la probabilidad de excedencia y, a partir de este cálculo, obtenemos el valor que se acerca más al percentil 95. Con esta información, determinamos un caudal, que representa el promedio anual, y al ser el valor más bajo, podemos afirmar que se trata de uno de los niveles más críticos.

La fórmula utilizada para el cálculo fue la fórmula de ponderación.

$$P = \frac{\frac{Pm}{Lm} + \frac{Pv}{Lv} + \frac{PH}{LH}}{\frac{1}{Lm} + \frac{1}{Lv} + \frac{1}{Lh}}$$

Donde:

P: Precipitación anual promedio

L: Distancia de las estaciones pluviométricas a Huasanó

Es importante considerar que, en ciertos meses, no contaremos con datos de caudal disponibles en la estación. En estos casos, no podemos simplemente asignar un valor de cero. En cambio, aplicamos la fórmula anterior para eliminar los caudales faltantes y conservamos los dos restantes. Si solo tenemos un dato de caudal disponible en ese mes, lo utilizamos como nuestro valor de caudal para ese período.

Se calculó la probabilidad de excedencia, la cual es la posición de caudal dividido la cantidad de datos recopilados en la estación.

**Tabla 2. Calculo probabilidad de excedencia percentil 95**

(Fuente: propia).

	Ponderacion(mm)	mayor a menor	Posicion	Percentil
1971(junio)	50,84708738	395,8461205	1	0,002237136
1971(julio)	120,461165	262,1875373	2	0,004474273
1971(agosto)	120,3956311	252,0159561	3	0,006711409
1971(septiembre)	106,6868932	244,4757282	4	0,008948546
1971(octubre)	148,6407767	243,2616822	5	0,011185682
1971(noviembre)	123,1092233	240,6209304	6	0,013422819
1971(diciembre)	77,44174757	240,4275238	7	0,015659955
1972(enero)	217,6432039	239,3857238	8	0,017897092
1972(febrero)	3,835969106	233,7354369	9	0,020134228
1972(marzo)	105,407767	230,5966448	10	0,022371365
1972(abril)	62,22087379	230,1991588	11	0,024608501
1972(mayo)	114,4053398	226,3567961	12	0,026845638
1972(junio)	101,3713592	225,5596129	13	0,029082774
1972(julio)	20,90533981	223,6308411	14	0,031319911
1972(agosto)	38,88106796	222,6868932	15	0,033557047
1972(septiembre)	129,473301	222,3543689	16	0,035794183
1972(octubre)	74,63592233	217,6432039	17	0,03803132
1972(noviembre)	110,8519417	216,7457913	18	0,040268456

2006(noviembre)	181,2211952	48,48984876	424	0,948545861	
2006(diciembre)	89,23981068	47,7657892	425	0,950782998	PERCENTIL 95
2007(enero)	80,19077074	47,5768226	426	0,953020134	
2007(febrero)	101,4509191	46,73625511	427	0,955257271	

Con esto se halla el percentil 95.

Una vez que hemos calculado el promedio de las lluvias anuales, continuamos de la siguiente manera:

Como el valor que estaba más cerca al percentil 95 fue 47.76mm calculamos el caudal multiplicándose por el área de la cuenca y la cobertura.

Después la dividimos entre dos porque es la mitad del P95: 23.88mm

$$\begin{aligned}
 &23.88.\text{mm} * 520\text{ha} * 10 \\
 &= 124,176\text{m}^3/\text{año} \\
 &= 340.2\text{m}^3/\text{día} \\
 &= 3.93\text{l/s}
 \end{aligned}$$

Este es un caudal promedio y, de acuerdo con la normativa RAS (Reglamento de Aprovechamiento de Aguas Superficiales), Este caudal debe saciar el doble del consumo de la población.

Optamos por realizar el análisis a nivel anual debido a que la lluvia presenta una correlación positiva con el caudal a lo largo del año.

### 6.5.2.2 Consumo por habitante

Utilizando la tabla B.2.3 del RAS estimamos la cantidad de volumen requerido por habitante al día, encontrándonos en un clima cálido y teniendo en cuenta un coeficiente de consumo máximo diario se determinó un consumo de:

$$=100 \text{ L/hab} \cdot \text{día} * 750 \text{ habitantes} \cdot \text{k1}$$

$$=97,500 \text{ L/día}$$

$$=1.128 \text{ L/s}$$

Este valor nos indica que el sistema tiene un adecuado volumen de entrega pues el caudal de entrega a la planta compacta es mas del doble del requerido por la comunidad.

*Tabla 3 Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema*

*(Fuente: RAS Titulo B).*

**Tabla B.2.3 Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema**

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab·día ) climas templado y frío	Dotación neta (L/hab·día ) clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Este consumo presenta variación a lo largo del día, esta información fue obtenida a través de reuniones con líderes de la comunidad

El uso del agua por parte de la comunidad se distribuye de la siguiente manera:

- 6:00 AM: Inicio de actividades (Duchas, desayunos)
- 10:00 AM: Preparación de almuerzo y aseo general
- 1:00 PM: Limpieza de cocina, aseo personal
- 6:00 PM: Preparación de cenas y cierre del día.

En Temporada de verano se establece un consumo del 2% adicional durante todo el día.



*Ilustración 42 Nivel de consumo diario*

*(Fuente: propia).*

El caudal máximo diario se determina mediante el consumo máximo de la población y el caudal de consumo por habitante.

Caudal máximo diario

$$= 1.13 \text{ L/s} * 28\%$$

$$= 0.3164 \text{ L/s}$$

### 6.5.2.3 Balance - Método de Thornthwaite

Fueron utilizados datos de precipitación mensual a lo largo de varios años y una temperatura promedio derivada de tres estaciones climáticas (HUASANÓ, VENECIA, MORAVITO).

El cálculo de la evapotranspiración potencial representa la cantidad de agua de lluvia que se evapora. Esta evapotranspiración potencial está vinculada con el índice de calor, el cual guarda una relación directa con la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, el índice de calor también se incrementa en ese punto específico. Este se calcula de manera mensual y posteriormente se suman los valores para obtener el índice de calor anual. Con este índice,

podemos calcular la evaporación potencial utilizando un coeficiente que depende tanto del índice de calor como de la temperatura.

Para el índice de calor se utilizó la siguiente fórmula:

$$i = (t/5)^{1.514}$$

Por otra parte, se investigaron las temperaturas durante los meses y años trabajados, luego se calculó el promedio:

**Tabla 4. datos de precipitación mensual**

	moravito	herradura	promedio
Octubre	22	25.8	22.10
Noviembre	20	20.8	21.17
Diciembre	27.1	20.1	22.03
Enero	21	23.7	22.07
Febrero	18.3	25.8	21.07
Marzo	19.6	22.2	20.37
Abril	22.5	21.7	21.43
Mayo	26.7	21	24.10
Junio	24.1	21.1	22.23
Julio	19.7	28	22.07
Agosto	19.2	25.5	21.47
septiembre	18	27.7	21.90

Además, para este cálculo, es importante tener en cuenta el número de días de radiación al mes. Este valor se obtiene de una tabla que se basa únicamente en la latitud de la región en cuestión. En el caso de Huasanó, la latitud es de 4°, lo que nos proporciona información sobre la cantidad de luz solar esperada para cada mes.

Luego organizamos los días de cada mes, con el mes de febrero como se tienen una gran cantidad entonces se ve reflejado como 28.25 porque es el promedio de los (veintiocho días \* tres años), con estos meses calculamos un valor F, ya con este F y la evaporación potencial calculamos la evapotranspiración potencial (Lo que se evapora de agua cada mes).



Conociendo el valor de la lámina de agua que se convierte en caudal en cada mes se multiplica por el área de la cuenca y esto nos dio el caudal mensual.

$$Q = 146.7\text{mm} * 520\text{Ha} * 10$$

$$762,840\text{m}^3/\text{año}$$

### 6.5.3 Cálculo de pérdidas

Se deben calcular las pérdidas que tiene la tubería para garantizar un funcionamiento seguro del sistema. Las pérdidas en una tubería se calculan mediante la aplicación de ecuaciones hidráulicas que tienen en cuenta factores como la longitud de la tubería, el diámetro, la rugosidad de la superficie interna, el caudal del fluido entre otras. La omisión del cálculo de las pérdidas en la tubería puede tener serias consecuencias, como un funcionamiento ineficiente del sistema, aumento de los costos operativos debido al desperdicio de energía, posibles daños en la tubería debido a presiones no controladas, pérdida de fluido o fugas, y la falta de capacidad para identificar y abordar problemas potenciales de manera oportuna, lo que podría resultar en un funcionamiento no seguro y un mantenimiento costoso.

El método utilizado para el cálculo de pérdidas corresponde a la longitud equivalente, este fue escogido debido a que los ángulos correspondientes a los nodos calculados a partir de la línea estimada de la tubería no arrojaban valores lógicos, por lo que se tuvo que optar por otro método. Para este procedimiento se utilizaron las altitudes correspondientes a cada punto recolectado, y a partir de la georreferenciación de cada uno de estos y su posterior ingreso en una nube de puntos, fue posible calcular las distancias entre cada uno. Para cada uno de los tramos seleccionados, se estima la longitud equivalente, asumiendo que esta corresponde al 15% de la longitud neta de cada tramo debido a las pérdidas menores generadas por accesorios, tales como, codos, yees y tees. Este

método consiste en estimar cuántos metros de tubería recta del mismo diámetro producen una pérdida de carga continua que equivale a la pérdida que se produce en un tramo.

Cuando se realiza una captación de una fuente superficial HEC-RAS especifica que la captación debe de ser dos veces el QMD. Por lo que la cuenca al tener caudal aproximado de 48.48 L/S, se procede a utilizar un caudal para diseño de 24.24 L/S.

COMPONENTE	CAUDAL DE DISEÑO
Captación fuente superficial	Hasta 2 veces QMD
Captación fuente subterránea	QMD
Desarenador	QMD
Aducción	QMD
Conducción	QMD
Tanque	QMD
Red de Distribución	QMH

Se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo del diámetro de la tubería:

$$D_{T-1} = \sqrt{\frac{4 * Q_D}{\pi V} * 1,55}$$

El resultado da un valor aproximado de 5.64 pulgadas, el cual deberá de aproximarse a 6 pulgadas debido a que este será el diámetro comercial más cercano. Este valor calculado corresponde al valor que presenta la tubería realmente.

Seguidamente se realizó el cálculo de la velocidad real, en donde se utilizó la siguiente ecuación:

$$V = \frac{4 * Q_D}{\pi D^2} * 1,55$$

Ya con todos estos datos calculados se procede a calcular las pérdidas unitarias. Para esto se utilizó la ecuación de Hazen Williams

$$h_{fs} = s * L = \left( \frac{Q^{1.85}}{0,0178 * C * D^{2,63}} \right)^{1,85} * L$$

Por último, a partir de las cotas de terreno y las cotas piezométricas se procede a calcular la presión de servicio, permitiéndonos conocer el comportamiento de ésta a través de todo el recorrido de la tubería.

## 6.6 RECOLECCIÓN DE COORDENADAS Y CREACIÓN DEL PERFIL

Para la recolección de las coordenadas que comprenden el recorrido de la tubería, se utilizó mediante el dispositivo móvil la aplicación de Google Maps, con la cual se envía la ubicación para así poder registrar las coordenadas correspondientes al punto exacto donde estaba localizado. Se recogieron un total de 165 puntos (véase Anexo 1), a continuación, se mostrará una tabla con las coordenadas correspondientes a los puntos de interés principales:

**Tabla 5. Coordenadas puntos de interés**

Punto de interés	Coordenadas
Planta compacta	4°14'52.2"N 76°14'46.2"W
Bocatoma	4°15'26.0"N 76°15'26.5"W

Pozo de almacenamiento recreativo	4°15'24.3"N 76°15'23.9"W
-----------------------------------	-----------------------------

Con los puntos ya relacionados con su respectiva coordenada, se procedió a realizar la creación del perfil. Para poder crear el perfil se necesita de antemano conocer las altitudes de cada punto, ya que con Google Maps se encuentran coordenadas N y W, es decir, X y Y, por lo que para hacer una representación se necesita el componente Z. Se siguieron dos caminos para poder realizar este procedimiento, los cuales son:

- Google Earth Pro:

Las coordenadas de interés en formato UTM arrojadas por Google Earth con su respectiva altitud quedan de la siguiente forma:

A	B	C	D
utm_easting	utm_northing	altitude (m)	name
360459.5	470673.3	1033.2	Bocatoma
361840.2	469348.2	941.9	Huasano
361700.4	469633.3	976.6	Planta compacta
360539.6	470621	1022.6	Pozo recreativo

***Ilustración 43. Coordenadas UTM arrojadas por Google Earth***

*(Fuente: propia).*

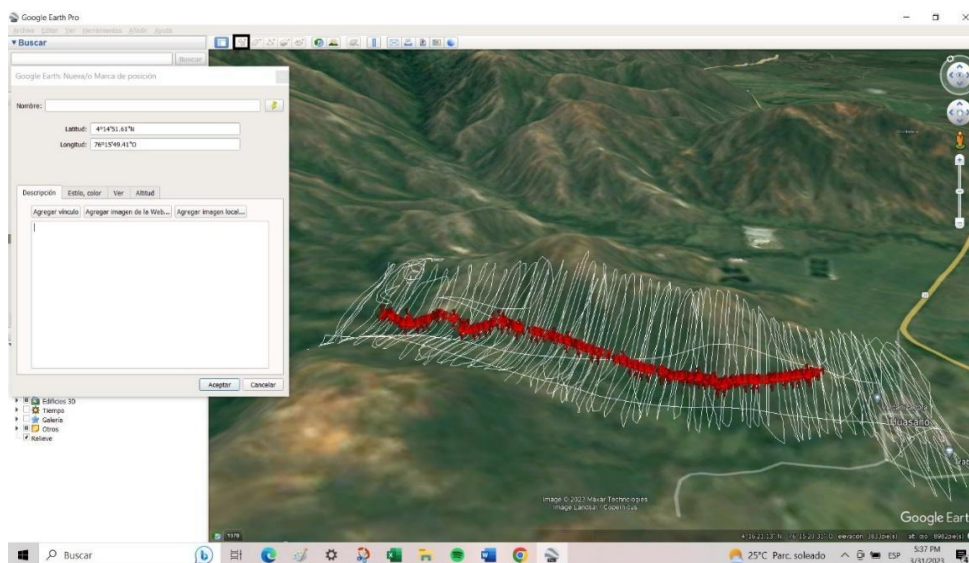
Dichas coordenadas quedan marcadas en el programa Google Earth de la siguiente manera:



***Ilustración 44. Puntos de interés en Google Earth***

*(Fuente: propia).*

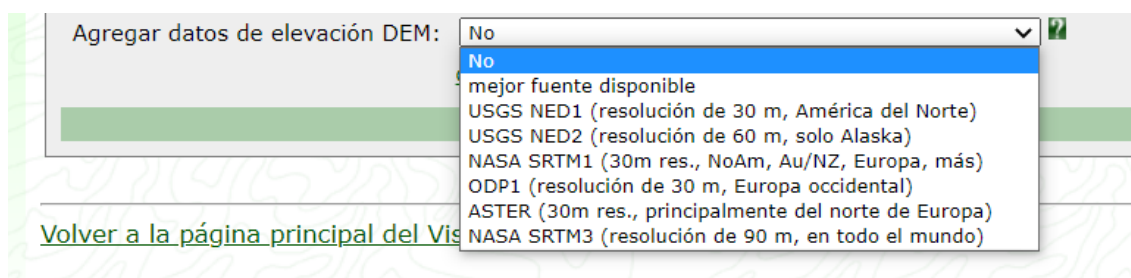
1. Mediante el programa Google Earth Pro, utilizando el comando “Agregar ruta” se traza una “ruta”, la cual será utilizada como la nube de puntos para crear la superficie con sus respectivas curvas de nivel.
2. Con el comando marcado en la ilustración, “Agregar marca de posición” se ingresaron las 165 coordenadas en el programa, marcando y dándonos una ubicación precisa de cada uno de los puntos. Estos se guardan como en formato Kml (\*.kml).



*Ilustración 45* Coordenadas ingresadas en Google Earth

(Fuente: propia).

- Utilizando la página web GPS Visualizer (*GPS Visualizer: Convert GPS Files to Plain Text or GPX*, n.d.) se convierte el formato Kml a texto sin formato. Adicionalmente se le agregan datos de elevación DEM.

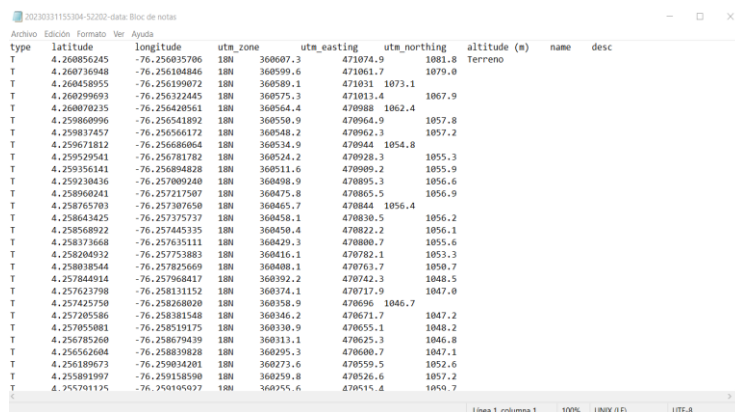


*Ilustración 46.* Comando usado en GPS Visualizer

(Fuente: propia).

Como lo muestra la imagen anterior, se selecciona la opción mejor fuente disponible, con esto se registran las coordenadas en formato UTM junto con su elevación.

4. Al abrir el documento que nos arroja la página, se abre en el bloc de notas de la siguiente forma:

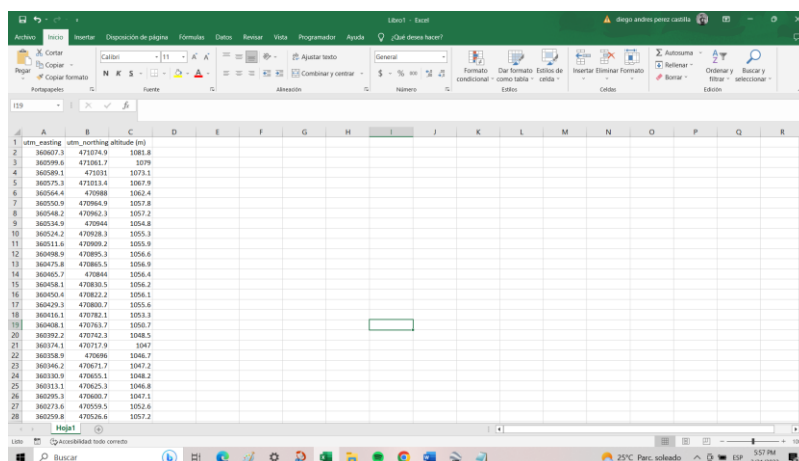


type	latitudo	longitudo	utm_zone	utm_easting	utm_northing	altitudo (m)	name	desc
T	4.260856245	-76.256035706	18N	360607.3	471074.9	1081.8	Terreno	
T	4.260736048	-76.256104846	18N	360599.6	471061.7	1079.0		
T	4.260458955	-76.256199072	18N	360589.1	471031	1073.1		
T	4.260299693	-76.256322445	18N	360575.3	471013.4	1067.9		
T	4.260070235	-76.256420561	18N	360564.4	470988	1062.4		
T	4.259860996	-76.256541892	18N	360550.9	470964.9	1057.8		
T	4.259817457	-76.256566172	18N	360548.2	470962.3	1057.2		
T	4.259671812	-76.256686064	18N	360534.0	470944	1054.8		
T	4.259529541	-76.256781782	18N	360524.2	470928.3	1055.3		
T	4.259356141	-76.256894828	18N	360511.6	470909.2	1055.9		
T	4.259238436	-76.257009240	18N	360498.9	470895.3	1056.6		
T	4.258960241	-76.257217507	18N	360475.8	470865.5	1056.9		
T	4.258765703	-76.257307650	18N	360465.7	470844	1056.4		
T	4.258643425	-76.257375737	18N	360458.1	470830.5	1056.2		
T	4.258568922	-76.257445135	18N	360450.4	470822.2	1056.1		
T	4.258373668	-76.257639111	18N	360429.3	470800.7	1055.6		
T	4.258204932	-76.257753883	18N	360416.1	470782.1	1053.3		
T	4.258038544	-76.257825669	18N	360408.1	470763.7	1050.7		
T	4.257844914	-76.257968417	18N	360392.2	470742.3	1048.5		
T	4.257623790	-76.258131152	18N	360374.1	470717.9	1047.0		
T	4.257425750	-76.258268020	18N	360358.9	470696	1046.7		
T	4.257205586	-76.258381548	18N	360346.2	470671.7	1047.2		
T	4.257059081	-76.258519175	18N	360330.9	470655.1	1048.2		
T	4.256878260	-76.258679439	18N	360313.1	470625.3	1046.8		
T	4.256562604	-76.258839828	18N	360295.3	470600.7	1047.1		
T	4.256189673	-76.259034201	18N	360273.6	470559.5	1052.6		
T	4.255891997	-76.259158590	18N	360259.8	470526.6	1057.2		
T	4.255701135	-76.259195927	18N	360255.6	470515.4	1049.7		

#### Ilustración 47. Formato de texto de las coordenadas con sus altitudes

(Fuente: propia).

Este debe de copiarse y pegarse en Excel para editarlo, ya que no es necesaria toda la información arrojada por el programa. Esto se ve representado de la siguiente forma:



	utm_easting	utm_northing	altitudo (m)
1	360607.3	471074.9	1081.8
2	360599.6	471061.7	1079.0
3	360589.1	471031	1073.1
4	360575.3	471013.4	1067.9
5	360564.4	470988	1062.4
6	360554.9	470964.9	1057.8
7	360548.2	470962.3	1057.2
8	360534.0	470944	1054.8
9	360524.2	470928.3	1055.3
10	360511.6	470909.2	1055.9
11	360498.9	470895.3	1056.6
12	360475.8	470865.5	1056.9
13	360458.1	470830.5	1056.2
14	360450.4	470822.2	1056.1
15	360429.3	470800.7	1055.6
16	360416.1	470782.1	1053.3
17	360408.1	470763.7	1050.7
18	360392.2	470742.3	1048.5
19	360374.1	470717.9	1047.0
20	360358.9	470696	1046.7
21	360346.2	470671.7	1047.2
22	360330.9	470655.1	1048.2
23	360313.1	470625.3	1046.8
24	360295.3	470600.7	1047.1
25	360273.6	470559.5	1052.6
26	360259.8	470526.6	1057.2
27	360255.6	470515.4	1049.7

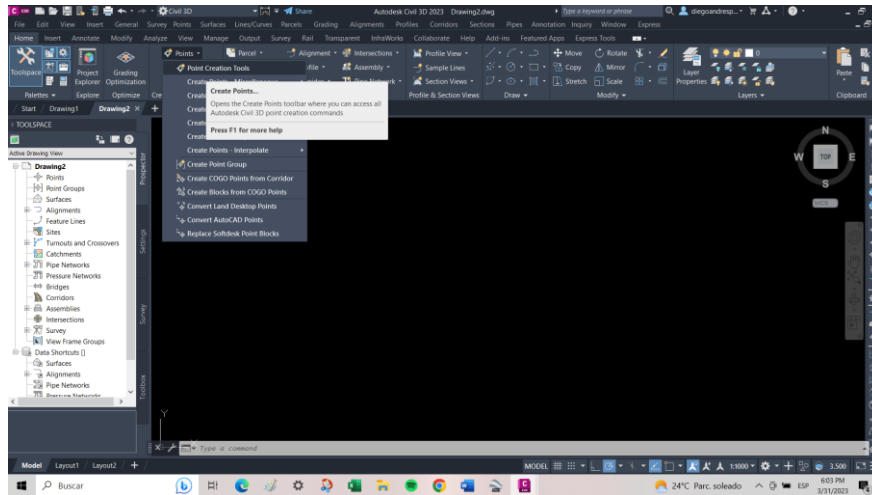
#### Ilustración 48. Datos ingresados Excel

(Fuente: propia).

Solo deberán quedar las columnas “utm\_easting”, “utm\_northing” y “altitudo (m)”, adicionalmente se deberán de borrar los nombres de estas columnas, solo deben de quedar

números para que el programa Civil 3D sea capaz de leer el archivo. Antes de ingresarlo a este programa, se debe de guardar como “Texto (delimitado por tabulaciones)”.

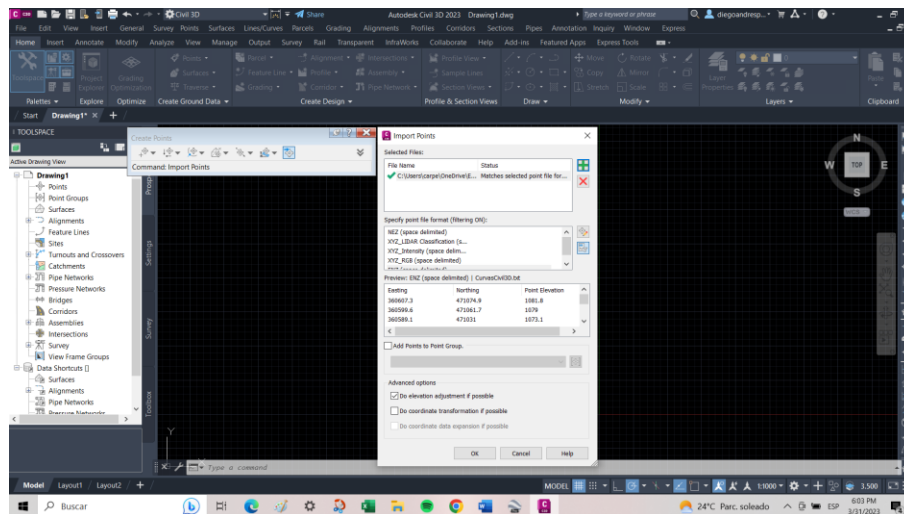
5. Para importar los datos a Civil 3D se debe de utilizar el siguiente comando:



**Ilustración 49. Comando "Point Creation Tools" para ingresar puntos**

(Fuente: propia).

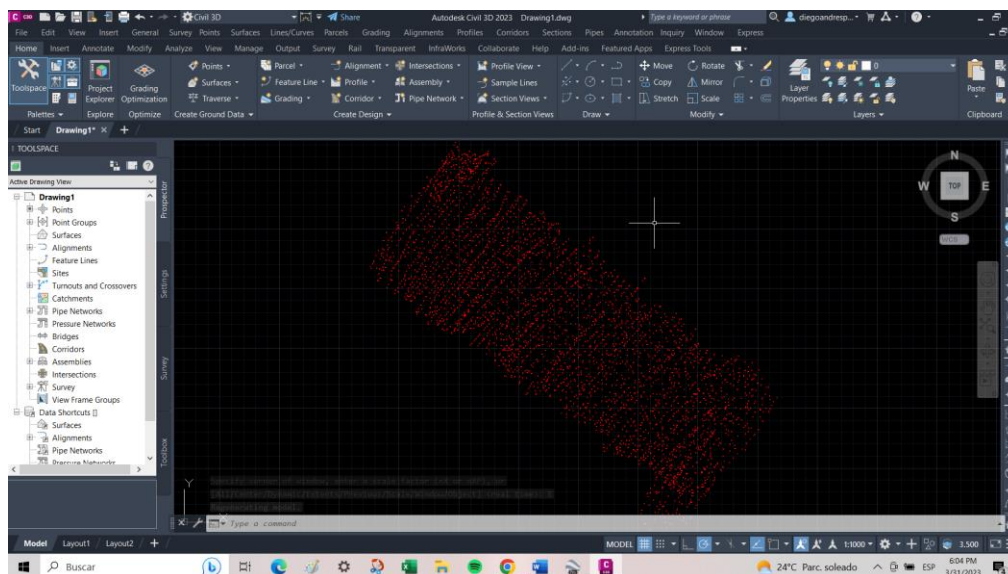
Se abre la siguiente ventana. Se selecciona la opción “ENZ (space delimited)” y se ingresa el archivo de las coordenadas.



**Ilustración 50. Importación de datos en Civil 3D**

(Fuente: propia).

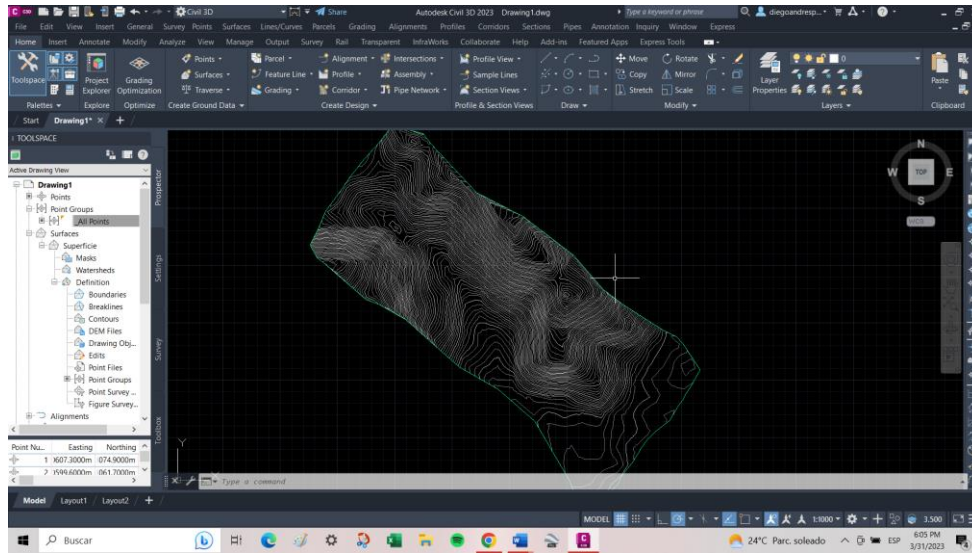
Luego de realizar este procedimiento se crea la siguiente nube de puntos:



***Ilustración 51. Nube de puntos importada desde Google Earth***

(Fuente: propia).

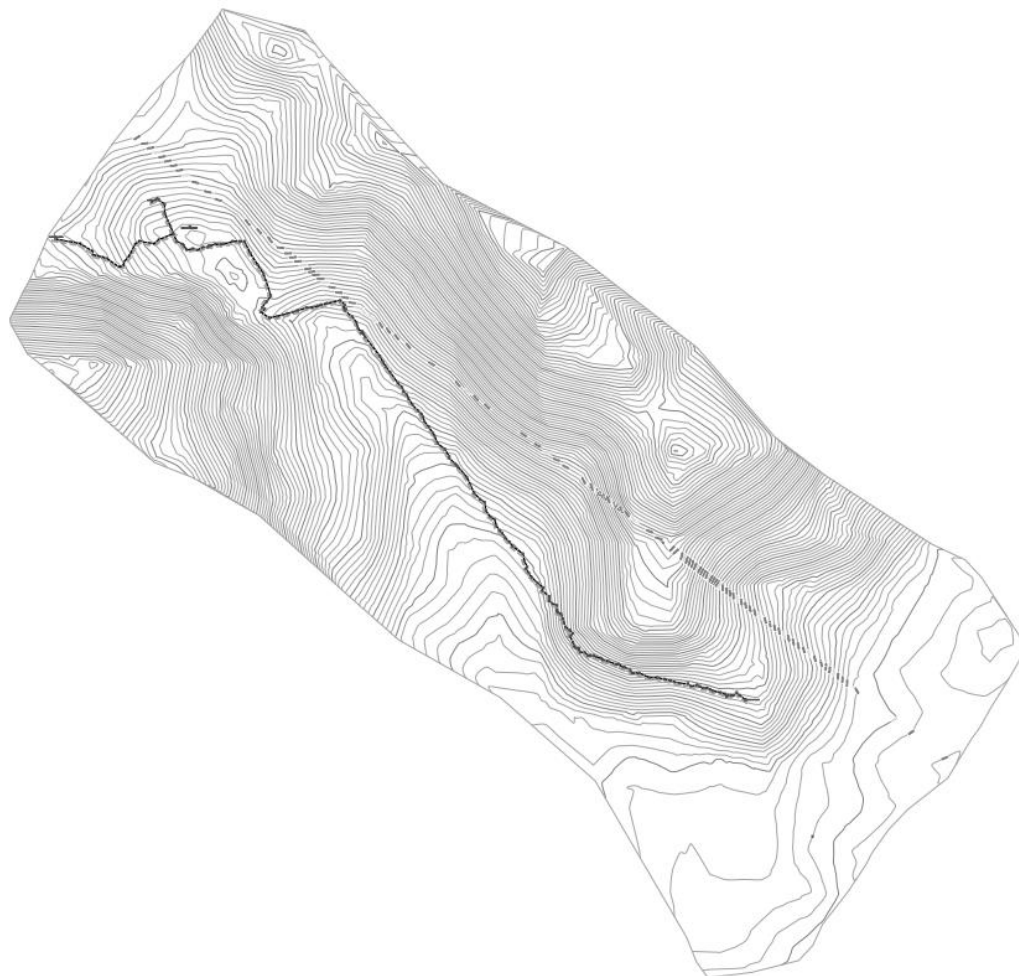
6. Se debe crear la superficie para que se creen en el programa las curvas de nivel. El resultado es el siguiente:



**Ilustración 52. Superficie con curvas de nivel creada**

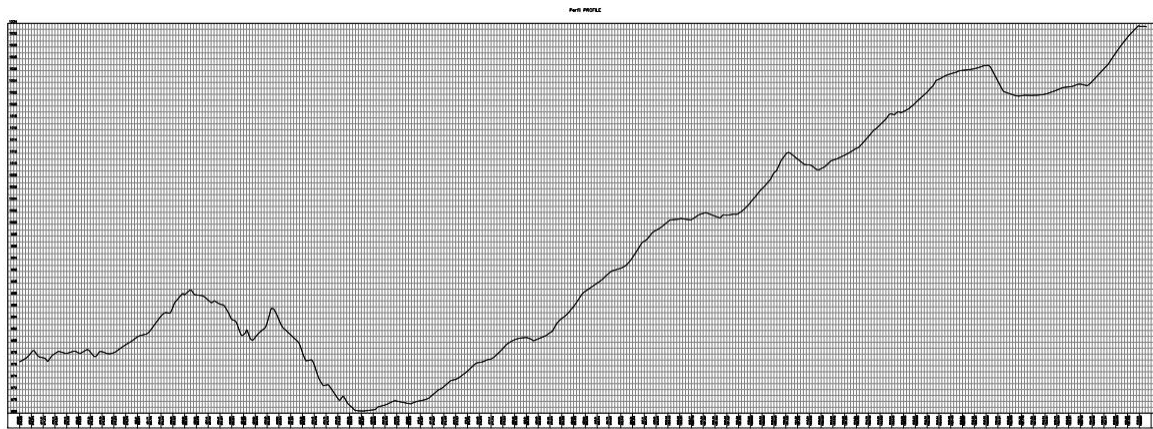
(Fuente: propia).

- Por último, se repite el mismo procedimiento, pero esta vez se utilizarán los puntos de las coordenadas de la tubería. Estos se mostrarán en las curvas de nivel de manera independiente, se unirán por medio de una polilínea y posteriormente se creará su perfil. El resultado final es el siguiente:



***Ilustración 53. Delimitación del trayecto de la tubería en la superficie***

*(Fuente: propia).*



**Ilustración 54. Perfil de la tubería Monserrate**

(Fuente: propia).

- QGIS:

Para este programa se utilizó un DEM, el cual es una representación de ráster de una superficie continua, que hace referencia a la superficie de la tierra, en este caso del del Valle del Cauca. Este DEM fue suministrado por el profesor Cesar Camilo Cañón Barriga y tiene una resolución de 12.5m. Con este se pudieron determinar las altitudes correspondientes a cada coordenada.

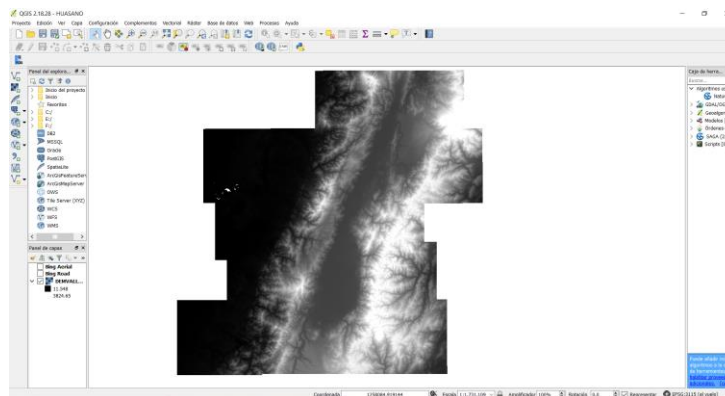
El paso a paso para desarrollar la revisión de este tema se realiza como se explica a continuación:

1. El documento de Excel debe guardarse en formato CSV y ubicarse de la siguiente manera:

	A	B	C	D
1	PUNTO	LATITUD (N)	LONGITUD (W)	
2	1	4°14'52.2"N	76°14'46.2"W	
3	2	4°14'52.5"N	76°14'46.6"W	
4	3	4°14'52.7"N	76°14'46.8"W	
5	4	4°14'52.5"N	76°14'47.0"W	
6	5	4°14'52.5"N	76°14'47.2"W	
7	6	4°14'52.5"N	76°14'47.4"W	
8	7	4°14'52.6"N	76°14'47.6"W	
9	8	4°14'52.4"N	76°14'47.5"W	
10	9	4°14'52.7"N	76°14'47.9"W	
11	10	4°14'52.8"N	76°14'48.4"W	
12	11	4°14'52.9"N	76°14'48.6"W	
13	12	4°14'53.0"N	76°14'48.8"W	
14	13	4°14'53.0"N	76°14'49.1"W	
15	14	4°14'53.1"N	76°14'49.3"W	
16	15	4°14'53.2"N	76°14'49.5"W	
17	16	4°14'53.1"N	76°14'49.9"W	
18	17	4°14'53.3"N	76°14'50.1"W	
19	18	4°14'53.3"N	76°14'50.6"W	
20	19	4°14'53.5"N	76°14'51.3"W	

QGIS solo acepta que se importen un máximo de 20 datos a la vez, por lo que se debieron de dividir por grupos las coordenadas.

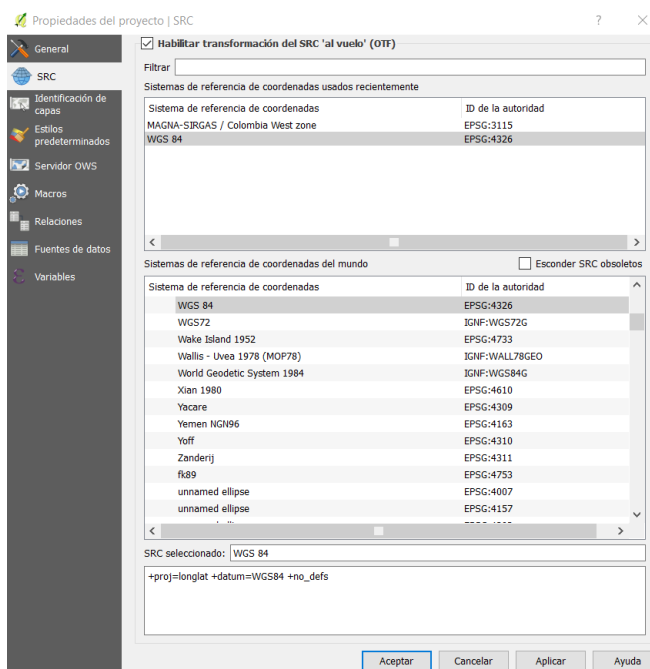
2. En la siguiente imagen se observa la pantalla principal del programa QGIS con el DEM ingresado.



**Ilustración 55. QGIS con el DEM**

(Fuente: propia).

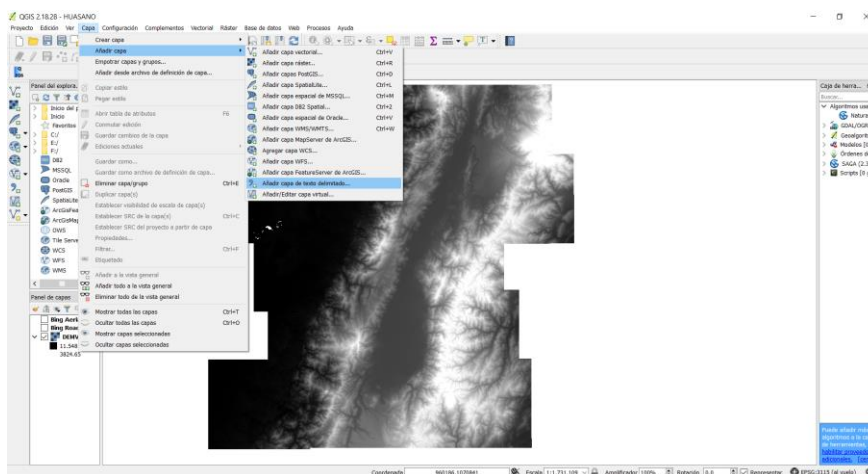
- Se debe de configurar la proyección a la que utiliza Google Maps, la cual es WGS 1984. Si se utiliza MAGNA-SIRGAS 3115 las coordenadas aparecerán en un lugar distinto.



### ***Ilustración 56. Modificación de la proyección***

*(Fuente: propia).*

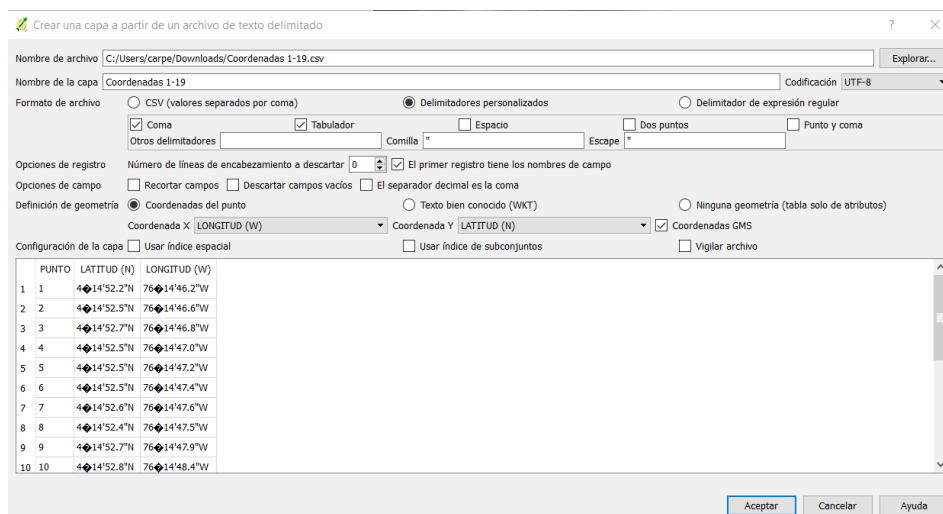
- Para ingresar las coordenadas, se debe de utilizar el siguiente comando:



**Ilustración 57. Añadir capa de texto delimitado**

(Fuente: propia).

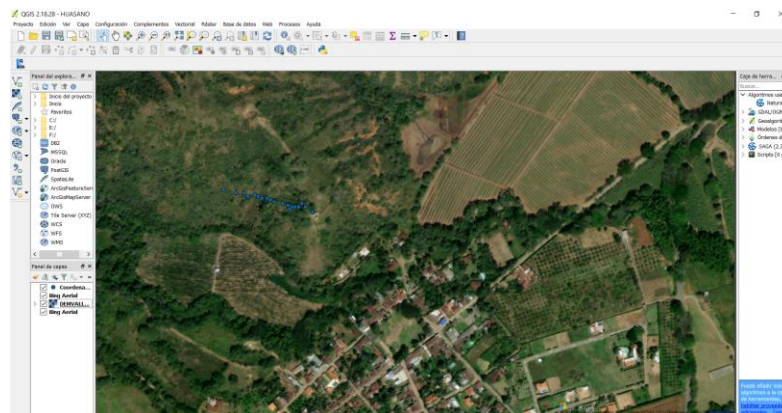
Aparece la siguiente ventana. En esta se ingresó el archivo de Excel y se seleccionaron las opciones que se muestran en la siguiente ilustración:



**Ilustración 58. Coordenadas importadas**

(Fuente: propia).

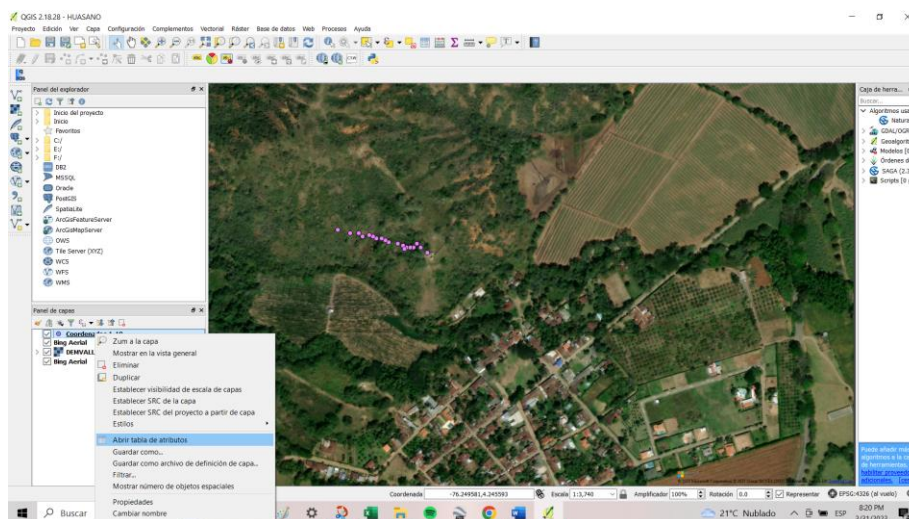
- Al darle aceptar ya quedaran ingresadas las coordenadas, y al activar cualquiera de los mapas en OpenLayers plugin se tendría la siguiente imagen:



**Ilustración 59. Visualización de las coordenadas importadas**

(Fuente: propia).

6. Con esto ya se tendrían las coordenadas importadas en el QGIS y ubicadas en el DEM. Se debe repetir el procedimiento para todos los grupos de coordenadas.
7. Una vez ingresados todos los grupos de coordenadas, se debe de ingresar a la tabla de atributos, en esta aparecen los valores de altitud correspondientes a cada coordenada.



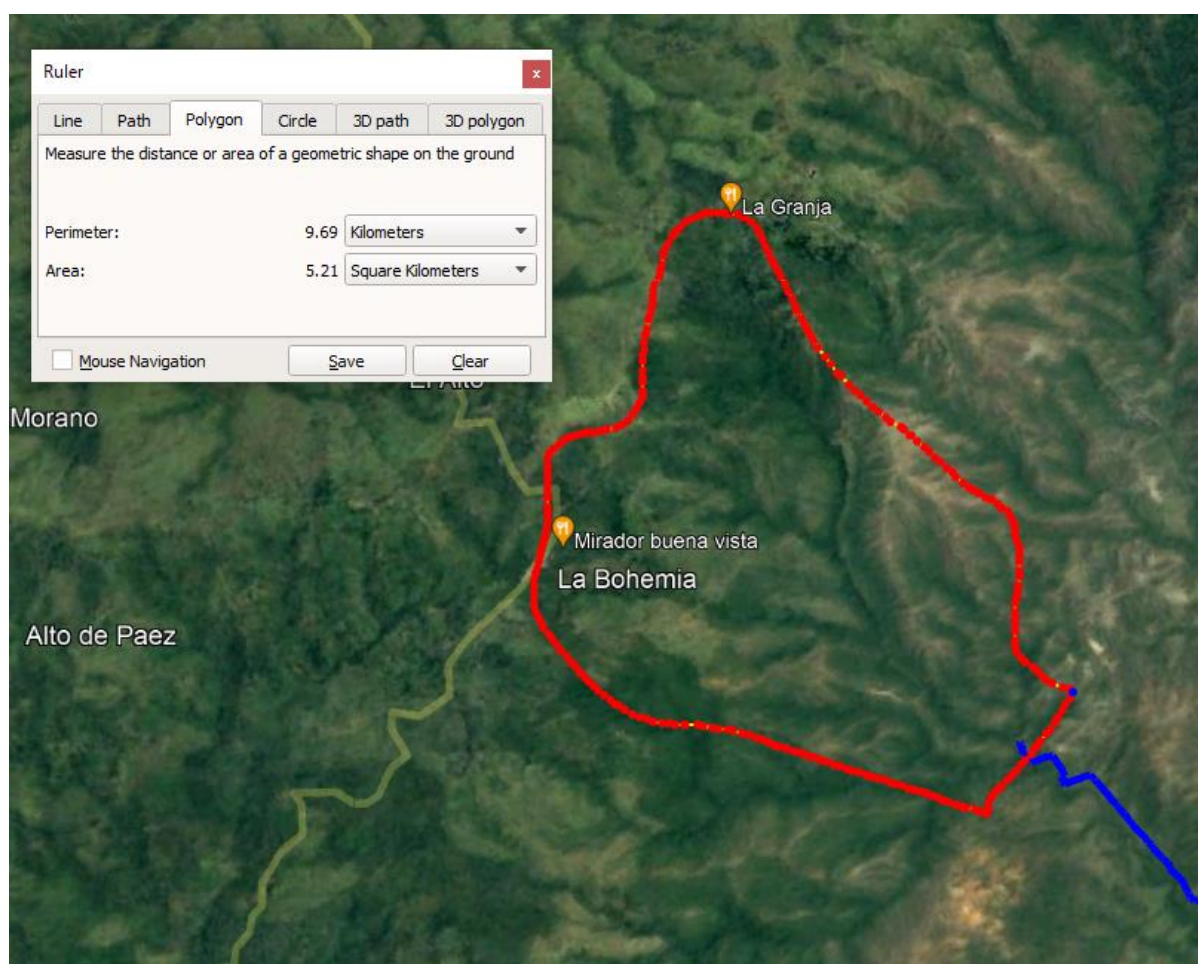
**Ilustración 60. Tabla de atributos**

(Fuente: propia).

8. Registramos los valores en un Excel y se repite el mismo procedimiento que para Civil 3D.

Se realizó el perfil del terreno con ambas altitudes, dándonos el mismo perfil para ambos casos, con lo que podremos concluir que los valores arrojados por este y la imagen que se presenta corresponden a la realidad.

9. Para halla el Area de la cuenca relacionada con la quebrada Monserrate se utilizó el software Googlea Earth pro y se obtuvo un área de 5.2km<sup>2</sup>



*Ilustración 61 Area de la cuenca Qbada Monserrate*

*(Fuente: Google Earth pro).*

## **7. PROPUESTAS DE DISEÑO**

### **7.1 ALMACENAMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL**

En diálogos con la comunidad acerca del proyecto del acueducto, encontramos en sus intereses la construcción de un pozo de almacenamiento de agua superficial multipropósito, es decir, que sea usado no solamente para almacenar agua para épocas de escasez, sino para actividades recreativas, a manera de una piscina natural. Atendiendo los deseos de la comunidad, se empezó una labor investigativa para poder conocer cuáles son las opciones que nos ofrece la ingeniería civil para la construcción de uno, o en dado caso de que no sea viable, poder ofrecerle a la comunidad una justificación competente del por qué este no puede construirse.

De esta forma, se plantea la siguiente alternativa:

#### **7.1.1 Embalse**

Según la Real Academia Española (RAE), un embalse se define como una acumulación de agua producida artificialmente mediante una presa o muro que detiene el curso de un río o arroyo y permite regular el caudal para usos diversos, como el abastecimiento, la producción de energía eléctrica, el riego, la recreación o la prevención de inundaciones.

Esta definición destaca que el embalse es una acumulación de agua que se produce de forma artificial mediante una presa o muro que retiene el curso de un río o arroyo. Los embalses tienen una gran importancia en el mundo, especialmente en zonas con escasez de agua o con necesidades de regulación del caudal, y su uso se ha extendido a múltiples ámbitos.

Debido a la diversidad de usos que puede tener un embalse se centrara su construcción debido a que representa una opción efectiva para almacenar agua de uso doméstico. Esto se debe por varias razones:

1. Capacidad de almacenamiento: Un embalse puede almacenar grandes cantidades de agua, lo que permite almacenar agua suficiente para abastecer a una población durante períodos de sequía o escasez de agua.
2. Control de calidad del agua: Almacenar agua en un embalse permite que se asiente, lo que puede ayudar a eliminar los sedimentos y otros contaminantes del agua. Además, los embalses pueden estar equipados con tecnología de tratamiento de agua para garantizar que el agua almacenada sea segura para su uso doméstico.
3. Distribución del agua: Al tener un embalse, es posible distribuir el agua de manera más efectiva y equitativa a la población, evitando que se derroche agua y asegurando que todas las personas tengan acceso al agua.

Considerando las variables presentes y los requerimientos necesarios para la construcción de un embalse pequeño para almacenar agua potable, podemos decir que es una buena opción ya que se tiene acceso directo a suministro de agua limitado, por lo que se puede usar para almacenar agua para su uso futuro.

### **7.1.2 Análisis de propuesta**

La idea de realizar el embalse para el almacenamiento de agua surge por parte de Vicente Galeano, un miembro de la comunidad de Huasanó que trabaja en el servicio de acueducto del barrio Ciudad Jardín. ÉL sugirió esta propuesta debido a que vio que se estaba utilizando este mecanismo en la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la vía la vorágine, por lo que

pensó que al existir condiciones en el terreno y en la fuente hídrica similares se podría realizar en el punto que indica la ilustración, pero a una escala menor. Para esto el día 10/05/2023 se realizó una visita a esta planta, en donde nos recibió el señor Jorge Aguirre. Este se encargó de explicarnos cómo funciona la planta y como se utiliza el agua del río Pance en el sistema de acueducto. Al comentarle lo que se quería hacer para la comunidad en el municipio de Huasanó, fue muy directo y concreto al decir que para poder tener un pozo de almacenamiento de agua potable este no debe de tener ningún contacto externo que pueda llegar a contaminarlo, ya sea por humanos o animales, es decir, que en este no pueden ingresar ni realizar ningún tipo de actividad, debido a que por más pequeño que sea el contacto siempre se va a generar una contaminación. Siendo que, por el contrario, el problema de contaminación es causado por la excreta de animales y humanos.



***Ilustración 62. Ubicación pozo recreativo***

*(Fuente: propia).*

Esta propuesta de diseño no ha sido aceptada debido a los riesgos potenciales de contaminación. La propuesta de combinar el almacenamiento de agua potable, y utilizar esta para recreación incluso antes de ser tratada, aumenta considerablemente el riesgo de introducir contaminantes en el sistema, comprometiendo la seguridad y la calidad del agua. La principal prioridad de esta propuesta es que el recurso se pueda almacenar para tiempos de sequía, pero se debe garantizar un suministro limpio y libre de riesgos. Por esto, con el fin de preservar la integridad del suministro se tomó la decisión de no aceptar la propuesta. Sin embargo, se realizará el diseño del tanque y el uso que se le dé dependerá de la comunidad en sí.

## **7.2 TUBERÍA AÉREA**

Observando la situación real debido a que se presenta una falla de taludes que dejó expuesta y suspendida la tubería como se muestra en la ilustración 68, poniendo en gran riesgo su funcionamiento se tiene como primera opción la construcción de una tubería suspendida, ya que ésta ofrece mayor seguridad, menor costo de reparación y facilidad de acceso que la opción de una tubería enterrada. Por medio del proceso investigativo, obtuvimos las siguientes ventajas de este tipo de tuberías con respecto a falla de taludes:

1. Mayor seguridad: En caso de una falla en el talud, una tubería enterrada puede verse afectada y dañada por el movimiento del suelo, lo que puede resultar en una interrupción del suministro y posibles riesgos para la seguridad pública. Una tubería suspendida, por otro lado, no se verá afectada por la falla del talud y seguirá funcionando normalmente.
2. Menor costo de reparación: En caso de una falla en el talud, reparar una tubería enterrada puede requerir excavación y reconstrucción de una sección del talud. En comparación, la

reparación de una tubería suspendida generalmente implica la sustitución de una sección de la tubería y/o la fijación de los soportes de la tubería.

3. **Facilidad de acceso:** La tubería suspendida es más fácil de acceder para inspección y mantenimiento que una tubería enterrada. Esto puede permitir la detección temprana de posibles problemas y, por lo tanto, reducir la posibilidad de fallas inesperadas. Además, el acceso más fácil a la tubería suspendida puede acelerar el tiempo de respuesta en caso de emergencias.



***Ilustración 63. Tubería sobre talud en falla***

*(Fuente: propia).*

### **7.2.1 Análisis de propuesta**

Esta propuesta de diseño se considera viable debido a que ofrece soluciones seguras, óptimas y eficientes en relación con la problemática existente, la falla de taludes en un segmento de tubería. Al suspender la tubería, se evita la necesidad de intervenir la ladera del

talud o realizar excavaciones, lo que reduce considerablemente el esfuerzo requerido y evita perturbar el deslizamiento natural del terreno, preservando la estabilidad de la pendiente. Esto no solo minimiza el riesgo de deslizamientos adicionales y daños a la tubería, sino que también ahorra tiempo y recursos al evitar trabajos de mitigación complejos y costosos. Además, la tubería suspendida brinda la ventaja de un acceso más fácil y directo para llevar a cabo tareas de mantenimiento y reparaciones, lo que facilita la operación y reduce los tiempos de inactividad.

Con esta solución se garantiza una mayor seguridad operativa y una respuesta correcta ante deslizamientos, por esto el diseño de la tubería suspendida corresponde a una elección óptima para superar los desafíos asociados con los fallos de taludes.

### **7.3 MEDIDORES DE CONSUMO DE AGUA**

Una de las falencias más notables de la comunidad con respecto al servicio de acueducto es la falta de medidores para registrar el consumo de agua de cada vivienda (micromedidores), lo que representa un obstáculo crucial en la gestión óptima del recurso de agua potable. El objetivo principal de esta propuesta es lograr la instalación de medidores de consumo de agua para todas las viviendas del corregimiento. El agua potable es suministrada a la comunidad por medio del acueducto, pero no se lleva registro alguno del consumo de cada vivienda debido a la falta de medidores, lo que podría estar permitiendo una sobreutilización del recurso por parte de la comunidad. Esto dificulta un manejo óptimo del recurso hídrico, así como la identificación de patrones de uso, posibles fugas, malgasto por parte de los usuarios o problemas en la red de distribución. Con esta propuesta se busca obtener los siguientes beneficios:

- Gestión eficiente del recurso hídrico.
- Concientización del volumen utilizado por los usuarios.
- Uso responsable del recurso por parte de los usuarios.
- Facturación en función del consumo real de cada vivienda.

### **7.3.1 Análisis de propuesta**

Esta propuesta ha sido aceptada debido a que la instalación de los medidores permitirá un registro de consumo preciso, facilitando una distribución justa y equitativa del recurso hídrico. Esto tendrá una influencia directa en la comunidad, ya que fomentará el uso responsable del agua y ayudará a evitar desperdicios y pérdidas innecesarias. Además, con la información suministrada por los medidores se podrán realizar patrones de consumo, permitiendo tomar decisiones con respecto a la gestión del consumo y medidas de cuidado y preservación. De igual manera, al tener registros de consumo se permite un sistema de facturación y cobro precios, por lo que cada hogar pagara por lo consumido, evitando la sobrefacturación. Para ello se realizará el presupuesto de material e instalación requerido para cada vivienda de la población.

## 8. PROPUESTAS DE DISEÑO

### 8.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El proyecto a desarrollar se plantea en un área urbana con una población estimada de 750 personas, repartidas en 250 casas a las cuales el agua potable les llega a través de un sistema compacto de dimensiones estimadas de 3m de alto, 2.5m de largo y 1.88m de ancho que trabaja mediante la gravedad, ya que este se encuentra situado a 31.6m por encima del nivel del municipio. Este sistema se ha vuelto deficiente dado a que en presencia de lluvias torrenciales presenta estancamiento y deja a la comunidad sin agua por un cierto tiempo.

Es por esto que se presenta una alternativa para solucionar esta problemática, la cual consta de un tanque de almacenamiento el cual evite el estancamiento de este sistema.

1. **Selección de datos:** Se utiliza la media de lluvias históricas en la zona a lo largo de 54 años de medición, siendo el valor correspondiente a 2.61 L/s.
2. **Elección de dimensiones** Tomando en cuenta el caudal que va a recibir y que se requiere que este tanque no se sature tras un estimado de 2 días de lluvias intensas se procede estimar sus dimensiones de la siguiente manera:

$$\frac{8 L}{s} = \frac{3600 s}{1 h}$$

$$\frac{28,800 L}{h} = \frac{24 h}{1 d}$$

C diseño: 691,200 L/d

3. **Reducción por transporte del sistema** Dado a que el sistema compacto se mantendrá y que este transporta cantidad del agua que llega directamente se estima una reducción del 15% del C diseño obteniendo un resultado de:

$$C_f: 587,000 \text{ L/d} = 587.52 \text{ m}^3/\text{d}$$

Se toma en consideración que se eligió un caso crítico.

Con esta capacidad requerida y buscando mantener simetría con el diseño anterior se elige una altura de 3m. El ancho y largo se estiman de la siguiente manera considerando que se tomara largo y ancho de la misma dimensión:

$$L = A = \sqrt{\frac{587.52}{3}} \cong 14\text{m}$$

Este tanque se pre diseñará en concreto de 24.5 MPa con un espesor de 10cm de espesor buscando optimización de recursos y el menor impacto ambiental posible

4. **Elección diámetro tubo:** La elección de los tubos que se encargará tanto de la recolección de aguas como de su traslado tienen una dependencia del caudal de diseño, esto ha sido estudiado mediante modelos matemáticos donde se han obtenido tablas que relacionan el caudal la velocidad a la cual se recibirá el agua y el diámetro del tubo por lo que se procede a usar una de estas tablas y elegir las dimensiones que cumplan con el caudal de diseño y optimicen recursos.

5. **Elección posición de tubería:** Dadas las condiciones del tanque de almacenamiento siendo un sistema de apoyo se toma en consideración que su intervención no tenga un efecto negativo sobre el transporte normal del sistema compacto existente, por lo cual se decide poner el tubo de suministro a una altura de 25cm sobre el nivel del terreno, y como una medida de control si es que tanto el sistema compacto como el tanque que se está diseñando se encuentran a punto de llenarse y/o tienen aguas sin movimiento se plantea poner un tubo de transporte de aguas hacia el exterior a 2.8m de altura sobre el nivel del terreno, esto impidiendo posibles obstrucciones de llegar una lluvia torrencial que rebase el diseño o si existen problemas en el sistema compacto que haga tener aguas excesivas en el sistema y que este no colapse bajo ninguna circunstancia.

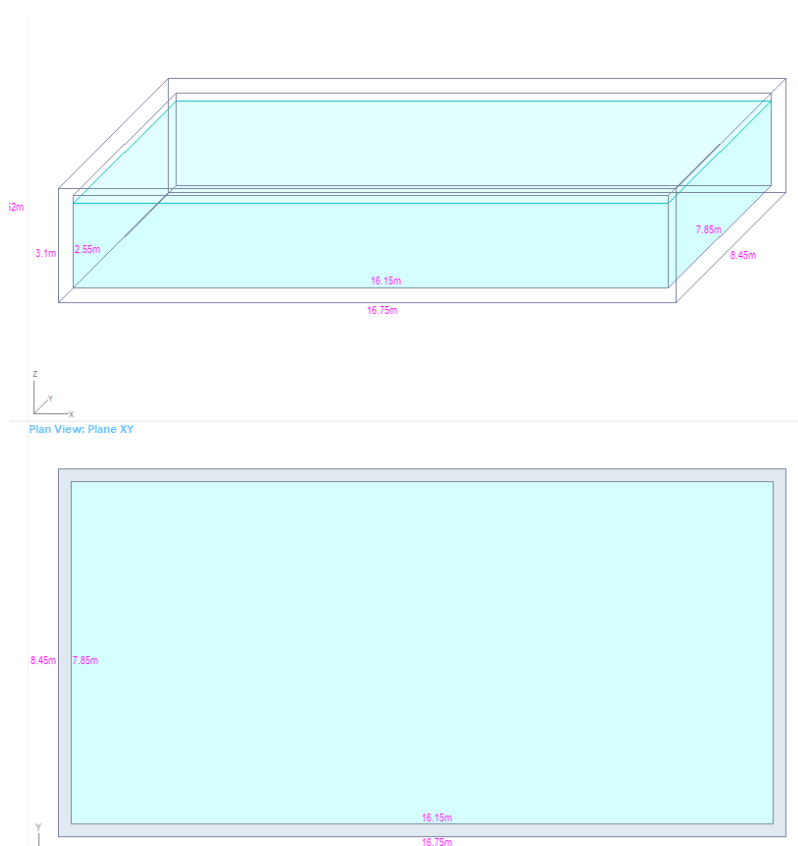
6. **Diseño tapa tanque:** Un punto a tomar en cuenta para el diseño de este tanque es que será un sistema cerrado, por tanto, se debe poner una tapa de concreto con un espesor de 10cm. Esta contendrá una tapa móvil que permita el acceso a personal de mantenimiento al interior del mismo para poder realizar obras de supervisión, adecuación, mantenimiento, entre otras. Debido a esto se propone una tapa de 1m x 0.1m en acero permite un sencillo acceso a su mantenimiento. Dada el área del tanque se considera necesario la implementación de 2 tapas a los extremos de esta para abarcar mejor su área y tener accesos sencillos a problemas específicos que se presenten

7. **Sistema desarenador:** Teniendo en cuenta que este tanque se presenta como un soporte que evite obstrucciones en el sistema dotador de agua actual el mismo no presenta un flujo de agua ya que el agua que llegue al mismo se mantendrá estática hasta el momento que el nivel de agua descienda y no haya lluvias, por lo mismo los sedimentos se irán al fondo sin necesidad de un sistema adicional. Aun así, es importante diseñar con una pendiente de 1%, con el fin de crear un área de sedimentos. Dicha área contará con una llave puesta en el fondo del tanque, donde cuando exista gran presencia de sedimentos estos a partir de un vaciado se limpie el tanque.

## 8. Tanque de almacenamiento

Con base en las especificaciones de diseño, se procedió con un cálculo estructural para determinar las dimensiones óptimas y la cantidad necesaria de acero para la conformación de la estructura. Este análisis se realizó considerando la distribución del volumen requerido en dos tanques separados, estrategia adoptada con el propósito de minimizar costos y optimizar la eficiencia en los procesos constructivos. Esta decisión se fundamentó en la identificación de que un tanque de dimensiones duplicadas implicaría la instalación de columnas adicionales para soportar las cargas previstas.

El programa utilizado es un software creado por el Ingeniero Fernando Medina, este es especializado para el diseño de tanques y aplica la norma NSR-10 c23.



*Ilustración 64 Vista del tanque en planta y 3d*

Dado la ausencia de información detallada proveniente de estudios geotécnicos, se optó por un enfoque conservador, al emplear un tipo de suelo crítico en los cálculos estructurales. Esta medida

se adoptó para garantizar el desempeño adecuado de la estructura, dada la limitación en datos específicos del subsuelo. Adicionalmente, en concordancia con las disposiciones normativas de la NSR-10, se categorizó la zona de ubicación del proyecto como una región de alta amenaza sísmica.

Definición de las Constantes Sísmicas y de Exposición Ambiental

Microzonificación Sísmica de Bogotá D.E. • NSR-10 Nacional (Colombia)

**NSR-10 Nacional (Colombia)**

Ciudad de ubicación del proyecto  CAMBIAR CIUDAD

Departamento

Categoría de Análisis Sísmico Normal

Coeficiente de Aceleración Pico Efectiva, $A_a$	0.4
Coeficiente de Velocidad Pico Efectiva, $A_v$	0.3
Zona de Amenaza Sísmica	Alta

**PARÁMETROS BÁSICOS**

Capacidad de Disipación de Energía Requerida DES

Grupo de Uso III (Edif de Atención a Comunidad) I = 1.25

Tipo de Perfil del Suelo Suelo E

□ NEXT

Ilustración 65 Selección de parámetros de sismo y suelo

El software tiene en cuenta el empuje del suelo, empuje por sobrecarga superficial, empuje por presión de agua, el peso propio de la estructura y la carga viva asociada a la losa, con estos datos se realizan las envolventes de carga exigidas por la norma NRS-10 y al arrojar los resultados obtenemos las cantidades de acero necesarias para la estructura.

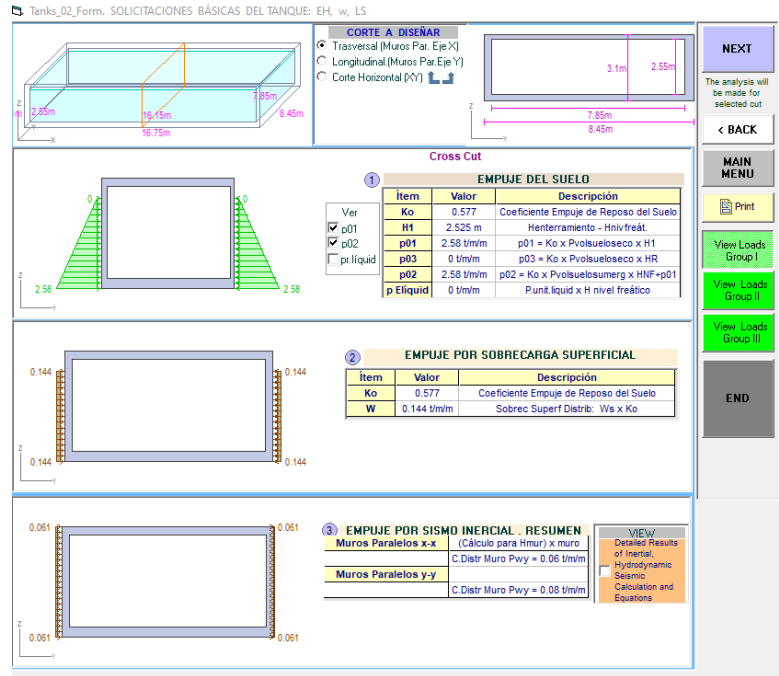


Ilustración 66 Empuje del suelo al tanque de almacenamiento

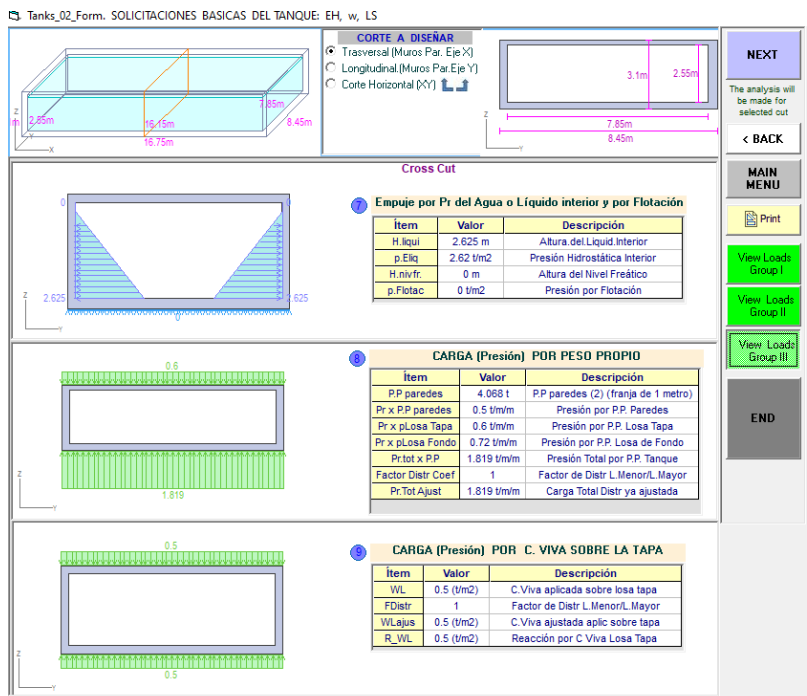


Ilustración 67 Empuje del agua y carga por peso propio

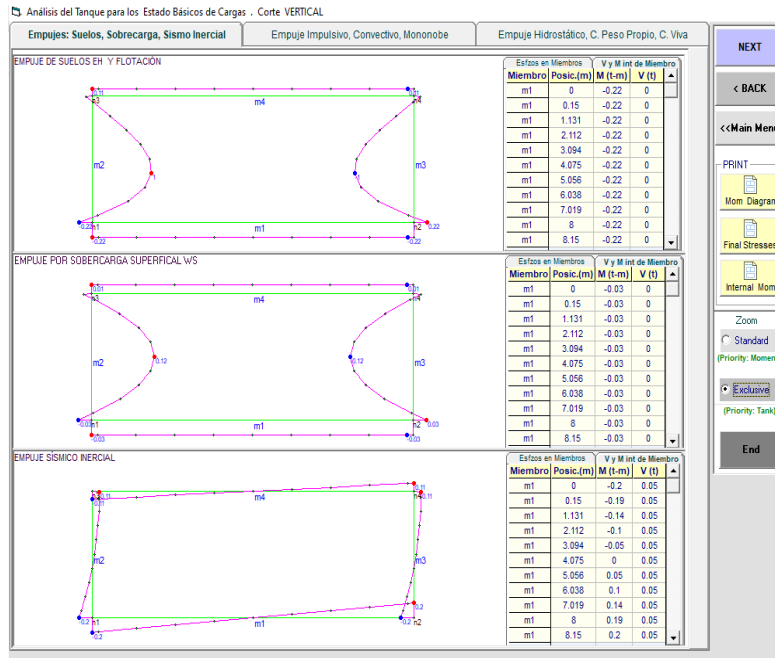


Ilustración 68 Diagramas de cargas ejercidas al tanque del almacenamiento

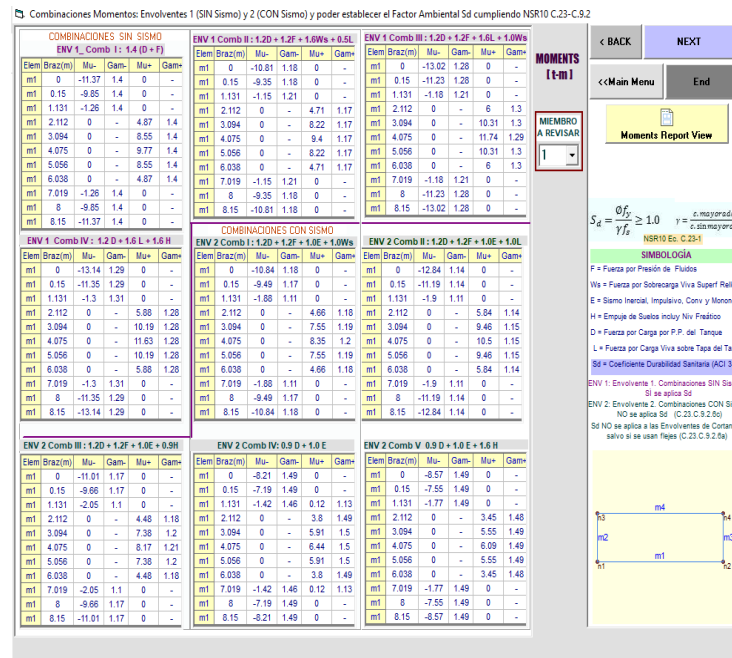


Ilustración 69 Combinaciones de carga para la estructura sobre la norma NSR 10

Calculo de Sd. Diseño a Flexión. Chequeo de Esfuerzos en el Acero

**DISEÑO PARA MÁX ENVOLVENTES . CHEQUEO ESFUERZOS EN EL ACERO**

Resistencia del Concreto  $F_c$  (kg/cm<sup>2</sup>) **280**  
 Límite de Fluencia del Acero,  $F_y$  (kg/cm<sup>2</sup>) **4200**  
 Recubrimiento AL CENTROIDE del Refuerzo Principal (cm) **5**  
 Separación Máxima Varillas Armadura Principal, (cm) **20**  
 Diámetro Mínimo a usar para Acero Principal, # **5**  
 Diámetro Mínimo a usar para Acero Secundario, # **4**

ELEMENTO A DISEÑAR **1**

Sin Sismo Cara Ext Sin Sismo Cara Int **Con Sismo Cara Ext** Con Sismo Cara Int

Elemento << 1 >> Diseño para la Env.Máx CON Sismo. Cara EXT

#	Ítem	Definición	Valor
1	Ms	Momento Máx del Elemento por Cargas de Servicio	0 t-m /b
2	Mu	Momento Máx del Elemento por Cargas Últimas	0 t-m /b
3	b	Ancho de la Sección del Elemento	100 cm
4	d	Espesor Efectivo de la Sección del Elemento	25 cm
5	As	Área Calculada de Acero a Flexión por efecto de Mu	0 cm <sup>2</sup> tot
6	Arm Sug	Armadura Sugerida para cubrir As calculado	1 # 5 @ 20
7	As Real	Área Real de Acero Colocado	9.9 cm <sup>2</sup> /m
8	Rho	Cuántía del Acero Real evaluado sobre el área b.d	0.00396
9	n	Relación de los Módulos Elast del Acero y Concreto	9
10	k	Constante de diseño (ver ecuaciones)	0.234
11	j	Constante de diseño (ver ecuaciones)	0.922
12	fs	Esfuerzo de Trabajo en Acero Refuerzo Principal	0 kg/cm <sup>2</sup>
13	Beta	Rel. dist E.N. fibr.máx.tracc y dist a centr Ref	1.35
14	Fs,máx	Esfuerzo máx admisible refuerz tracc	1490.18 kg/cm <sup>2</sup>
15	fs vs Fs,máx	0 <= 1490.18 OK	No req ajuste
16		Si fs>fsadm -> As.recal = Ms / (fs=fsadm) / j / d	
17	As (recalc)	Área Recalculada con nuevo fs	-
18	ArmSug recal	Armadura Sugerida para el As recal	-
19	Asreal recal	Área Real recalculada de Acero Colocado	-
20	k recal	Constante de diseño (ver ecuaciones)	-
21	j recal	Constante de diseño (ver ecuaciones)	-
22	fs recal	Esfuerzo Trabajo Recalc en Refuerzo Principal	-
23	Fsmáx recal	Esf máx adms recal en el refuerzo a tracción	-
24	Gamma	Relación Carga Mayorada / Carga Servicio	1
25	Sd	Coefficiente de Durabilidad Sanitario	1
26	Mu x Sd	Mu ajustado por el Factor Sanitario	0 t-m /m
27	As final	Área de Acero para el Mu ajustado por Sd	0 cm <sup>2</sup> /m
28	Arm Sug	Armadura sugerida para As final ajustado por Sd	1 # 5 @ 20

ANTERIOR SIGUIENTE

Máx Envolv SIN Sismo Elem < 1 >

Posición (m)	Mu.Cara EXT	Mu.Cara INT
0	0	0
0.15	0	0
1.131	0	0
2.112	0	0
3.094	0	0
4.075	0	0
5.056	0	0
6.038	0	0
7.019	0	0
8	0	0
8.15	0	0

Máx Envolv CON Sismo Elem < 1 >

Posición (m)	Mu.Cara EXT	Mu.Cara INT
0	0	0
0.15	0	0
1.131	0	0
2.112	0	0
3.094	0	0
4.075	0	0
5.056	0	0
6.038	0	0
7.019	0	0
8	0	0
8.15	0	0

Mu(abs) en t-m / m de losa o muro

Tanks\_07A\_Form

Ilustración 70 Aceros requeridos para la estructura

A continuación, se muestra el diseño hidráulico y estructural del tanque.

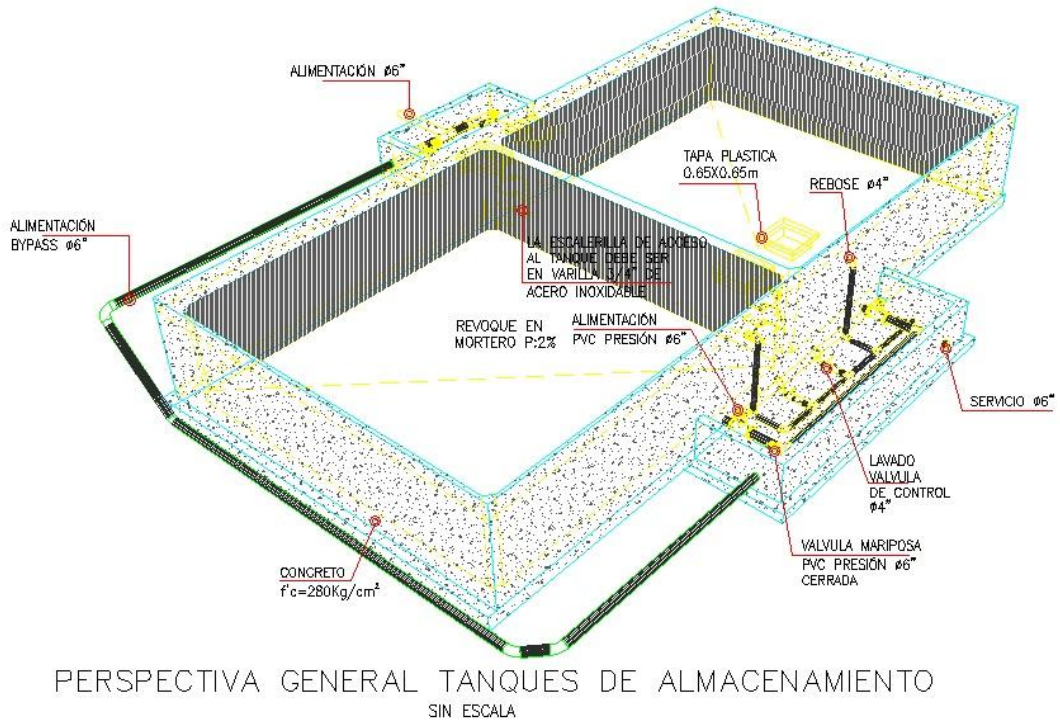


Ilustración 71 Vista isométrica del plano hidráulico del tanque de almacenamiento.

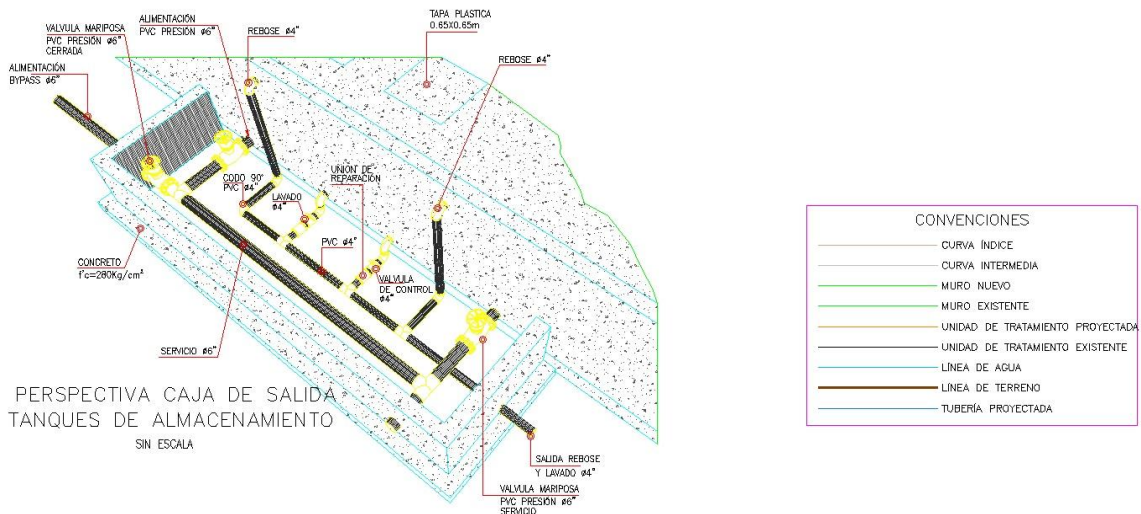


Ilustración 72 Caja de salida del tanque.

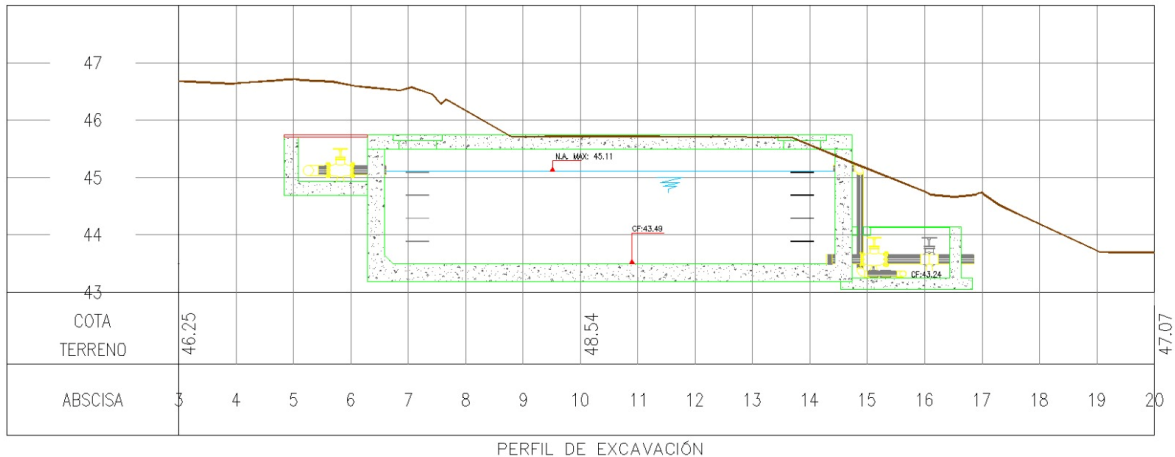


Ilustración 73 Perfil del tanque con cotas de terreno.

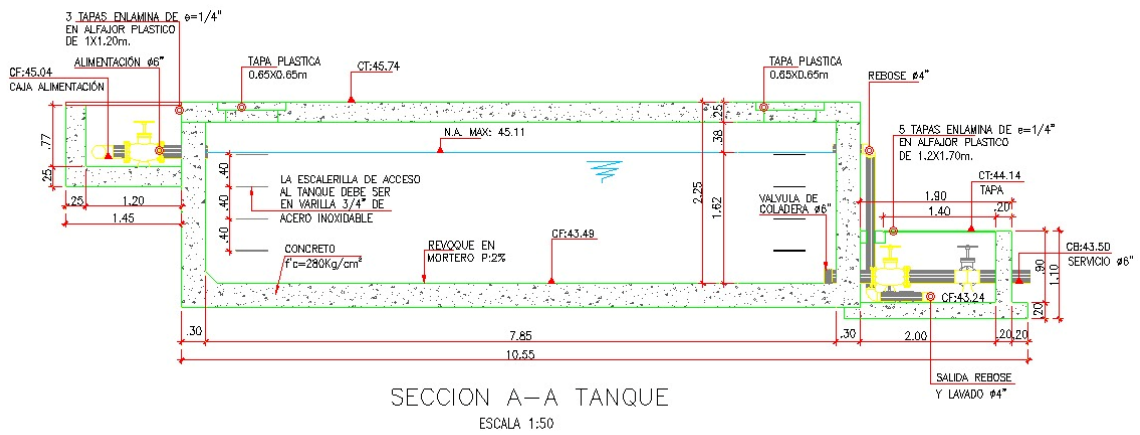


Ilustración 74 Perfil del tanque mostrando accesorios hidráulicos.

A partir del diseño estructural fue posible obtener los siguientes cortes:

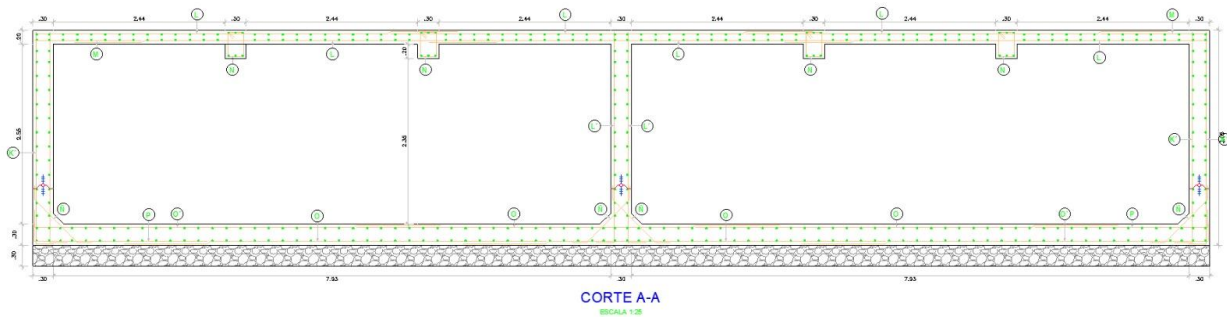


Ilustración 75 Corte A-A del plano estructural del tanque de almacenamiento.

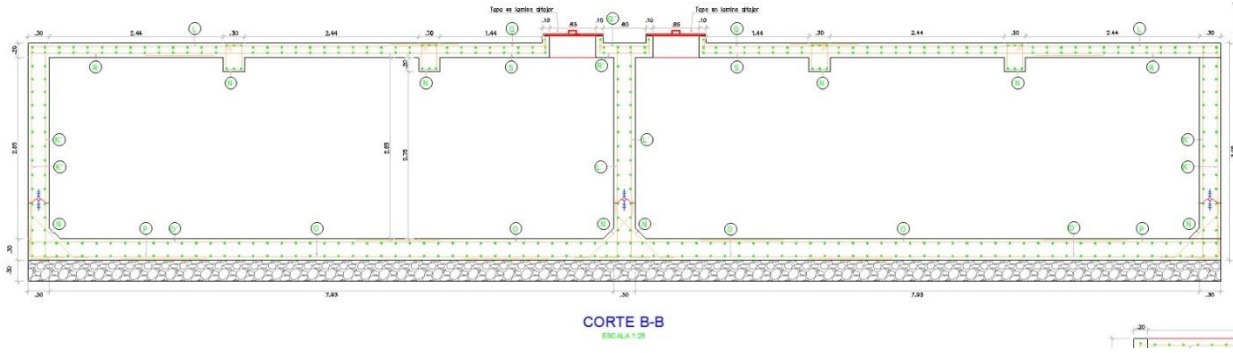
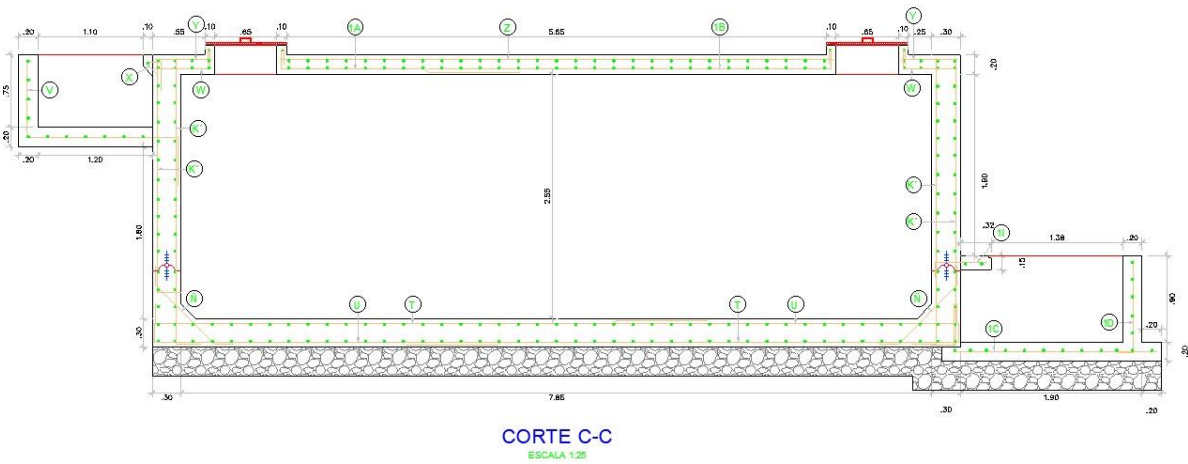


Ilustración 76 Corte B-B del plano estructural del tanque del almacenamiento.



TANQUES DE ALMACENAMIENTO No. 1

Ilustración 77 Corte C-C del plano estructural del tanque de almacenamiento.

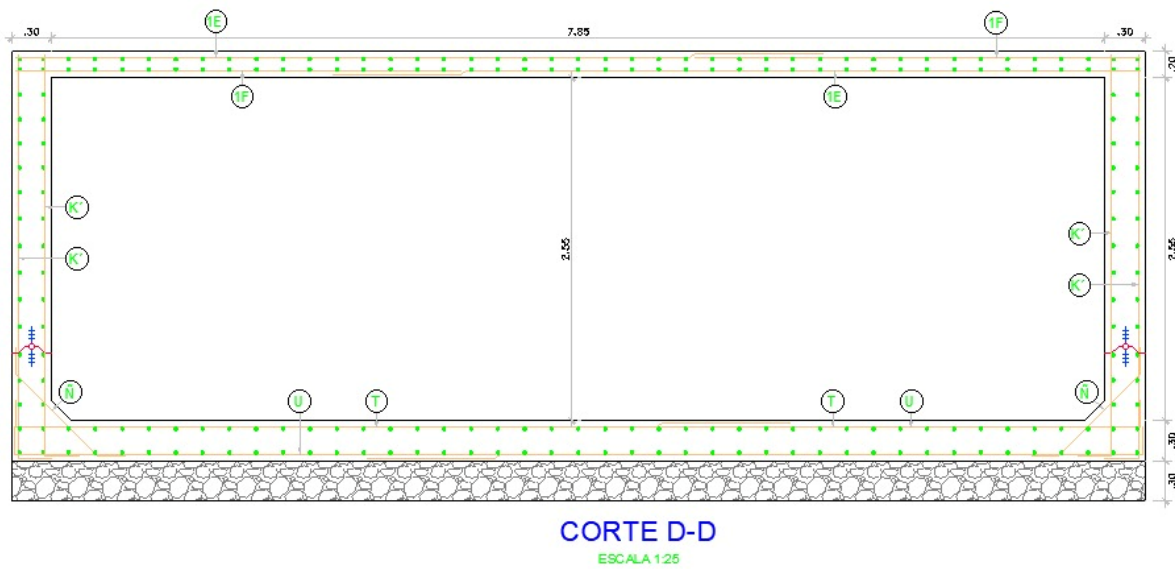
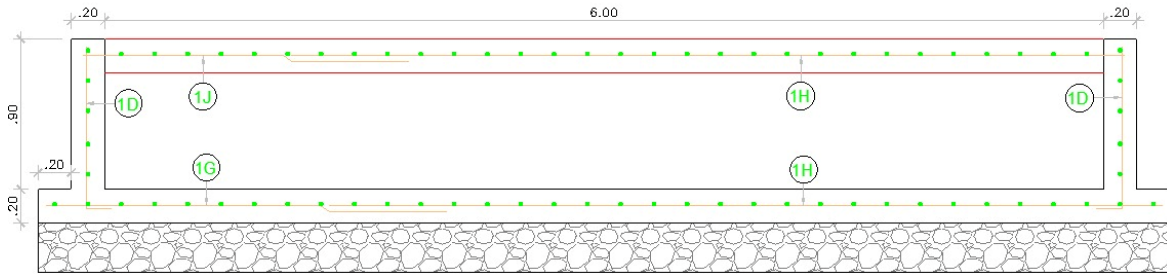


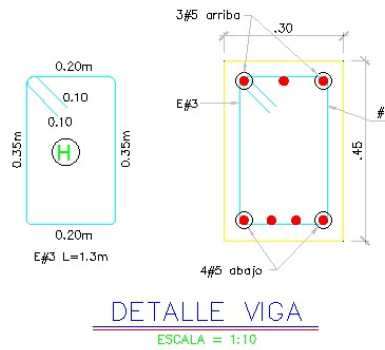
Ilustración 78 Corte D-D del plano estructural del tanque de almacenamiento.



**CORTE F-F**  
ESCALA 1:25

Ilustración 79 Corte F-F Plano estructural del tanque de almacenamiento.

A continuación, se presenta a detalle el refuerzo correspondiente a Viga:



**DETALLE VIGA**  
ESCALA = 1:10

Ilustración 80 Detalle estructural de la Viga.

Las cantidades correspondientes al diseño son las siguientes

**CANTIDADES DE OBRA TANQUE #1**

CONCRETO DE 4000 PSI MURO CORTO	18.13 M3
CONCRETO DE 4000 PSI MURO LARGO	29.11 M3
CONCRETO DE 4000 PSI LOSA DE FONDO	42.46 M3
CONCRETO DE 4000 PSI LOSA SUPERIOR	30.33 M3
CONCRETO DE 4000 PSI CAJA ENTRADA	2.48 M3
CONCRETO DE 4000 PSI CAJA SALIDA	6.13 M3
<b>TOTALES INCLUYE DESPERD. 5%</b>	<b>135.07M3</b>

**CUADRO DE GANCHOS Y TRASLAPOS**

# Barra	Db.	Ganchos	Long. desarrollo Ref. inferior	Long. desarrollo Ref. superior	TRACCION				COMPRESION
					Traslado A		Traslado B		
					Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	
3	0.95	15	42	54	42	54	54	70	30
4	1.27	20	56	73	56	73	73	95	40
5	1.59	25	70	91	70	91	91	118	50
6	1.91	30	84	109	84	109	109	142	60
7	2.22	35	121	158	121	158	158	205	70
8	2.54	40	139	181	139	181	181	235	75

**NSR-10** \* Medidas en centímetros \* Resistencia del concreto: f'c=28 MPa  
\* Resistencia del acero: Fy=420 MPa

Ilustración 81 Cantidades de concreto y Ganchos y traslapos.

## 12. Presupuesto

Para la construcción del tanque de almacenamiento se ha considerado cada componente para garantizar la calidad y eficiencia en la ejecución de la obra. Desacuerdo a esta información se realizó un detallado presupuesto:

Tabla 6 Presupuesto tanque de almacenamiento

(Fuente: propia).

N°	ITEM DE PAGO	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
		GENERAL	PARTICULAR					
<b>9</b>	<b>9.00</b>			<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO MUNICIPAL</b>				
<b>9.1</b>	<b>9.1</b>			<b>PRELIMINARES</b>				
9.1.01	9.1.01			LOCALIZACIÓN, TRAZADO Y REPLANTEO DE ESTRUCTURAS	M2	196	\$ 2,488.85	\$ 487,814.72
9.1.02	9.1.02			EXCAVACIONES MECANICA EN MATERIAL COMÚN SECO H < = 2.5M	M3	392.00	\$ 12,511.98	\$ 4,904,895.38
9.1.03	9.1.03			RETIRO DE MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN INCLUYE CARGUE MECANICA Y COSTOS DE DISPOSICIÓN A SITIO AUTORIZADO.	M3	392.00	\$ 29,509.57	\$ 11,567,751.44
<b>9.2</b>	<b>9.2</b>			<b>RELLENOS</b>				
9.2.01	9.2.01			MEJORAMIENTO EN CONCRETO CICLOPEO RAJON 40% CONCRETO 60%	M3	49.00	\$ 490,581.10	\$ 24,038,473.00
<b>9.3</b>	<b>9.3</b>			<b>CONCRETOS Y REFUERZO</b>				
9.3.01	9.3.01			CONCRETO IMPERMEABILIZADO PARA TANQUE MUNICIPAL 3500 PSI	M3	196.96	\$ 1,087,582.05	\$ 214,206,221.20
9.3.02	9.3.02			ACERO DE REFUERZO 6000 PSI	KG	25,823.59	\$ 8,613.41	\$ 222,429,211.38
9.3.03	9.3.03			SUMINISTRO E INSTALACION CINTA PVC V-15 PARA JUNTAS DE CONSTRUCCION.	ML	14.00	\$ 62,777.83	\$ 878,889.55
9.3.04	9.3.04			MALLA ELECTROSOLDAD D 6.54mm 5X20cm	M2	364.00	\$ 20,000.00	\$ 7,280,000.00
<b>9.4</b>	<b>9.4</b>			<b>INSTALACION VALVULAS Y ACCESORIOS</b>				
9.4.04	9.4.04			NIPLE PASAMIJROS HD EXT. BRIDA X EXT. LISO L = 0.50 M (CON ANILLO DE ANCLAJE) Ø6"	UND	1.00	\$ 1,368,924.63	\$ 1,368,924.63
9.4.07	9.4.07			CODO PVC 90° C x C Ø6"	UND	10.00	\$ 300,214.82	\$ 3,002,148.29
9.4.17	9.4.17			SUMINISTRO E INSTALACIÓN TAPA EN LAMINA ALFAJOR PERFL DE 3/16" Y MARCO EN EL MISMO PERFL CON DOS BISAGRAS Y ARGOLLAS PARA CANDADO Y CANDADO DE 60 CM X 60 CM	UND	2.00	\$ 202,478.71	\$ 404,957.41
9.4.18	9.4.18			SUMINISTRO E INSTALACIÓN TAPA EN LAMINA ALFAJOR PERFL DE 3/16" Y MARCO EN EL MISMO PERFL CON DOS BISAGRAS Y ARGOLLAS PARA CANDADO Y CANDADO DE 90 CM X 90 CM	UND	2.00	\$ 464,993.73	\$ 929,987.46
<b>9.5</b>	<b>9.5</b>			<b>INSTALACION TUBERIAS</b>				
9.5.01	9.5.01			INSTALACIÓN DE TUBERIA PVC PRESIÓN UP RDE 21 Ø6"	ML	6.00	\$ 5,842.51	\$ 35,055.04
<b>9.6</b>	<b>9.6</b>			<b>SUMINISTRO VALVULAS, TUBERIAS Y ACCESORIOS TANQUE</b>				
9.6.01	9.6.01			SUMINISTRO DE TUBERIA PVC PRESIÓN UP RDE 21 L = 27 M, Ø6"	UND	4	73716.67	\$ 294,866.67
9.6.02	9.6.02			VALVULA MARIPOSA PVC PRESIÓN 6"	UND	5	81400	\$ 407,000.00
9.6.03	9.6.03			VALVULA DE CONTROL 4"	UND	2	890000	\$ 1,780,000.00
9.6.04	9.6.04			TEE PVC PRESION 4"	UND	3	106000	\$ 318,000.00
9.6.05	9.6.05			UNION DE REPARACION PVC PRESION 4"	UND	2	35000	\$ 70,000.00

Para los costos de mano de obra se ha evaluado las habilidades requeridas por parte de albañiles, soldadores, e ingenieros ajustando según las tarifas actuales y el estimado de

las horas de trabajo requeridas. Se incluyen costos indirectos tales como pólizas, seguros, y gastos administrativos necesarios para asegurar un entorno de trabajo seguro.

TOTAL COSTO DIRECTO	\$ 494,333,997.01
TOTAL COSTO INDIRECTO	\$ 138,413,519.16
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 632,747,516.17</b>

El costo total del tanque de almacenamiento es \$632'747.516 , este costo corresponde a un tiempo de trabajo de 4 meses, donde se ha considerado todos los costos de materiales, mano de obra y equipos, se ha planificado de esta manera para garantizar que las actividades se realicen de manera ordenada y eficaz como se muestra en el diagrama de Gantt.

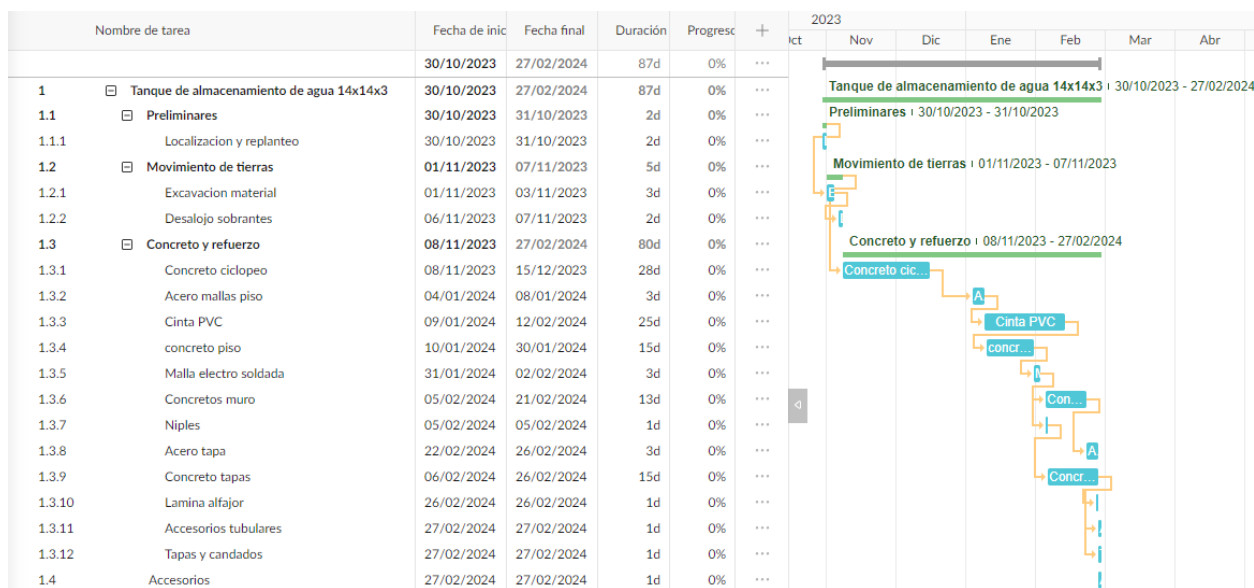


Ilustración 82 Diagrama de Gantt tanque de almacenamiento

(Fuente: propia).

## 8.2 FALLA TALUD

En nuestra primera visita se llegó a la zona donde ocurrió una falla de estabilidad en los taludes (Ilustración 70), entendiendo que cuando los esfuerzos que deben actuar sobre estos sobrepasan la resistencia debida de los materiales que lo componen, se presenta una falla.



***Ilustración 83. Tubería sobre talud en falla***

*(Fuente: propia).*

Esta clase de fallas se pueden producir por diversos factores, pero en el caso de estudio se dio por presión de poros.

Tal como se puede apreciar en la (ilustración 69), se ha identificado una preocupante falla en una sección de las tuberías cruciales que suministran agua al pueblo de Huasanó. Esta falla, que se extiende a lo largo de un tramo de 27 metros, ha estado progresivamente deteriorando la integridad de las tuberías y amenaza con interrumpir el vital abastecimiento de agua a la comunidad.

Se buscó la orientación y el asesoramiento de profesores y expertos en la materia, con el objetivo de tomar una decisión informada y estratégica. Después de un análisis meticuloso y considerando las recomendaciones de los asesores, se optó por la alternativa que se consideró la más adecuada para asegurar la resiliencia y la durabilidad del sistema de tuberías.

Las opciones que se quisieron trabajar fueron las siguientes:

#### 8.2.1 CABLE EN ACERO.

Como se observa en la (ilustración 70) la cual fue un sistema que se implementó en la zona.



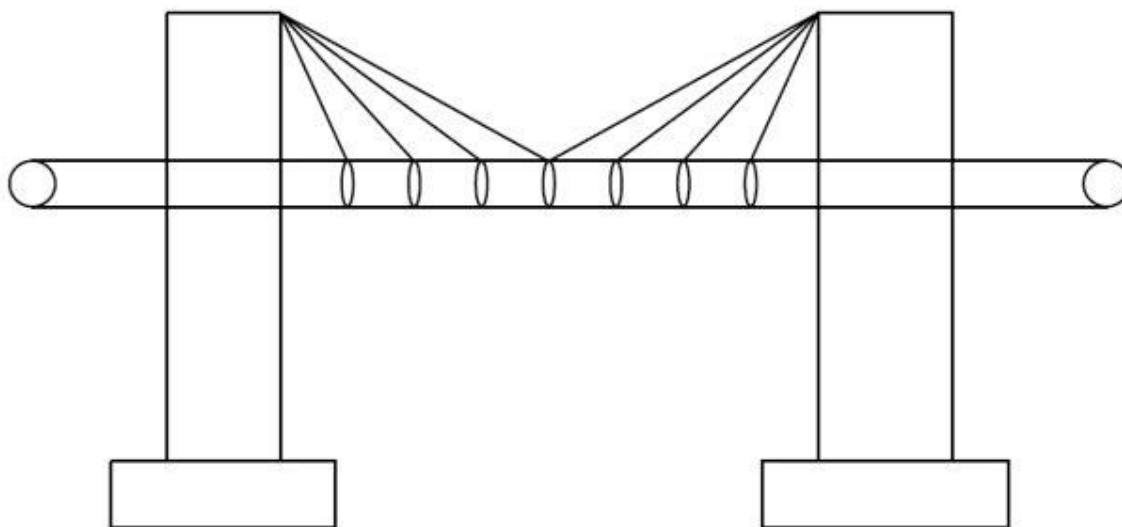
***Ilustración 84. Tubería sobre talud en falla***

*(Fuente: propia).*

La alternativa en cuestión se centraba en la reconfiguración y fortalecimiento de los agarres que sostienen las tuberías comprometidas. Inicialmente, esta propuesta parecía ofrecer una respuesta adecuada al desafío. Sin embargo, al profundizar en el análisis, se revelaron preocupaciones significativas. La disposición de los agarres existentes estaba dividida de tal manera que podría resultar en un desperdicio de fuerza en el caudal de agua. Esto significa que la presión del agua podría no ser distribuida de manera uniforme y eficiente, lo que a su vez podría dar lugar a una pérdida de potencia y recursos en el sistema.

### 8.2.2 CAISSON Y CABLES EN ACERO TENSADO

En la ilustración se muestra el sistema el cual se investigó y se quiso trabajar.



***Ilustración 85. Tubería por medio de caisson y cables en acero tensado***

*(Fuente: propia).*

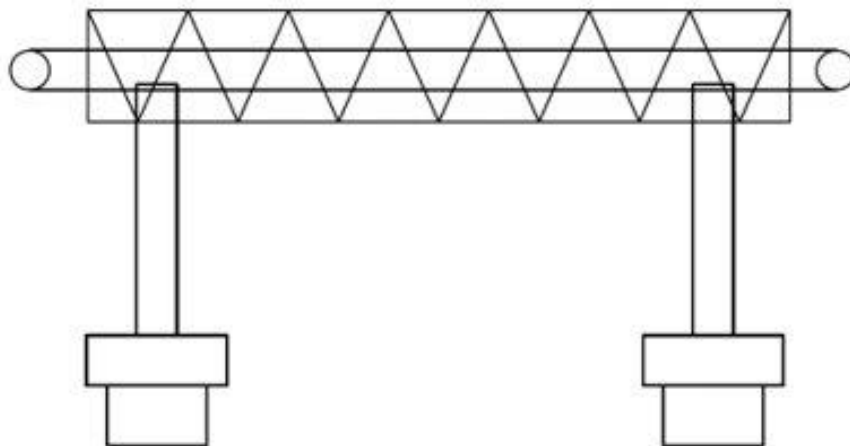
Los caissons, también conocidos como pilotes, son elementos estructurales que se empotran a profundidades significativas en el suelo. Estos pilotes se utilizan como soportes para

columnas, especialmente en terrenos inestables, con el propósito de garantizar la máxima seguridad en términos de diseño y rendimiento.

Una vez que los caissons y las columnas han sido fundidos, se contempló la idea de asegurar la tubería en la parte superior de estas estructuras mediante el uso de cables tensados, que desempeñan un papel crucial en la creación de un sistema de anclaje atirantado. Sin embargo, es esencial destacar que estos cables tienden a ser propensos a vibraciones a medida que su longitud aumenta. Están específicamente diseñados para reducir las vibraciones inducidas por factores como el viento, lo que, a su vez, contribuye a prolongar la vida útil del puente y a mejorar su nivel de seguridad.

Se consideró también la opción de asegurar la tubería utilizando collarines metálicos, una propuesta atractiva debido a la posición estratégica de los cables que promovía un flujo óptimo de caudal. No obstante, a pesar de sus ventajas potenciales, esta propuesta fue finalmente descartada debido a los costos significativamente elevados y la complejidad asociada con el transporte de la cantidad requerida de material a la zona de construcción. Además, el sistema de caissons, que opera a grandes profundidades, planteaba desafíos considerables en el proceso de implementación.

### 8.2.3 TORRES METÁLICAS ANCLADOS A PILOTES Y CANASTILLA METALICA



**Ilustración 86. Esquema de tubería por medio de canastillas metálicas.**

(Fuente: propia).

Esta opción se eligió debido a una matriz de selección la cual se evaluó por medio de tres puntos importantes (Economía, Rendimiento y Tiempo) las cuales en una escala de 1 al 5, 1 siendo el peor y 5 siendo el mejor.

*Tabla 7 Matriz de desicion alternativas de deslizamiento*

(Fuente: propia).

	Economía	Rendimiento	Tiempo	Total
Cable Acero	4	2	4	10
Caisson	2	4	2	8
Canastilla Metalica	4	5	4	13

El proyecto implica la construcción de un viaducto, el cual se completa con dos robustas torres metálicas, complementadas por una canastilla metálica.

Este enfoque se caracteriza por su factibilidad, ya que las torres metálicas se anclan a pilotes fundidos a una profundidad no excesivamente elevada. La disposición de la tubería en las canastillas metálicas garantiza un funcionamiento óptimo, permitiendo que el caudal se mantenga en condiciones ideales.

Esta elección se basa en la certeza de que proporcionará un rendimiento confiable y sostenible a largo plazo, asegurando un suministro de agua ininterrumpido y eficaz para la comunidad de Huasanó.

1. **Elección propiedades de cercha:** Al momento de elegir la mejor alternativa que brinde solución al problema planteado, se obtuvieron como factores clave tanto la separación entre cerchas horizontales y verticales, como el diámetro de la varilla y ángulo de diseño para la rampa

Teniendo esto en cuenta, a continuación, se describe el proceso para encontrar los valores óptimos de cada uno de los puntos provistos anteriormente:

**1.1 Ancho cercha:** Teniendo conocimiento previo de las dimensiones de la tubería 6" (15 cm) se ve pertinente dotar al tubo de una distancia libre de 5cm por lado para evitar cualquier tipo de daño por impacto directo a la cercha y evitar cualquier transmisión térmica excesiva puesto a la propiedad calorífica del acero por lo mismo se elige un ancho de 25cm para cercha horizontal.

**1.2 Altura cercha:** Tomando en cuenta los mismos parámetros dado a que las dimensiones del tubo por ser circular son iguales se toma el mismo criterio y se decide poner una altura de 25cm para las cerchas verticales

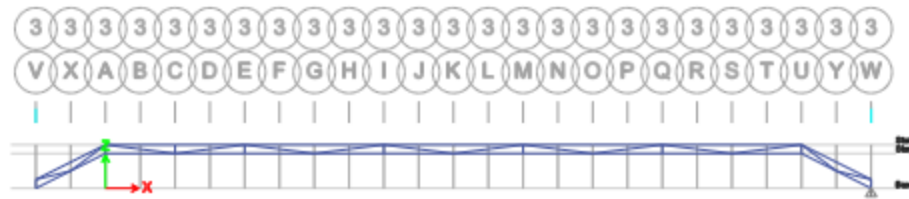
**1.3 Diámetro de la varilla:** Como cálculo preliminar, dadas las dimensiones del proyecto y la CM que debe soportar la estructura, se decide tomar una varilla #6 con un diámetro de 19.1 mm

**1.4 Separación cercha horizontal:** Dado que es esta la que recibirá la CM directamente, se decide que tenga una separación de 1m teniendo que diseñar 20 cajones horizontales donde además de esto se propone un cajón de cercha iso-estática para tener una mejor distribución de cargas

**1.5 Separación cercha vertical:** En búsqueda de optimización de materiales y tomando en cuenta que estas cerchas no tienen el mayor aporte para la recepción de carga se

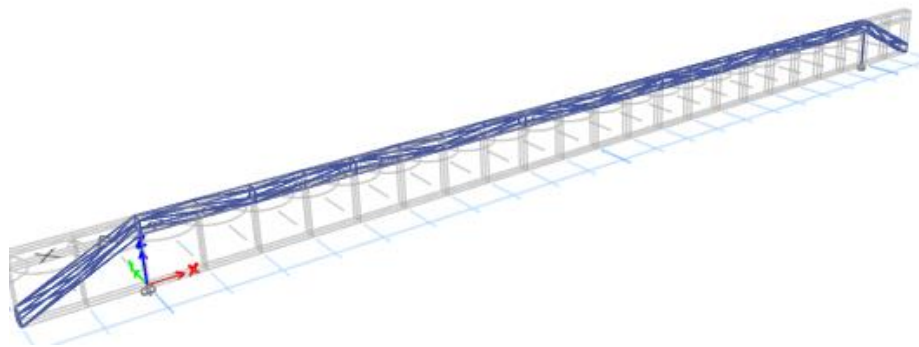
define que tengan una separación de 2m manteniendo el sistema iso-estático para mantener la distribución de cargas

2. **Modelación:** Habiendo definido los parámetros de diseño iniciales se procede a evaluar si estos son correctos y cumplen, para ello se procede a modelar la estructura en ETABS, esto usando las propiedades descritas en el numeral 1. Y considerando como combinación de carga, 1.4CM esto considerando que se presentara una carga mayor a la esperada por posibles factores externos.



*Ilustración 87 modelado 2D sistema*

*(Fuente: propia).*



*Ilustración 88 modelado 3D sistema*

*(Fuente: propia).*

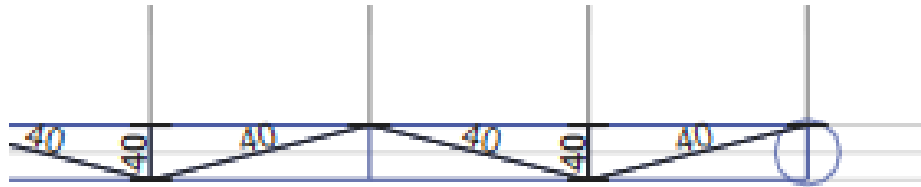


Ilustración 89 asignación de cargas

(Fuente: propia).

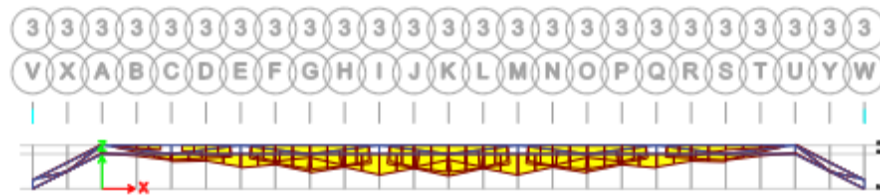


Ilustración 90 Diagrama de momento en la estructura

(Fuente: propia).

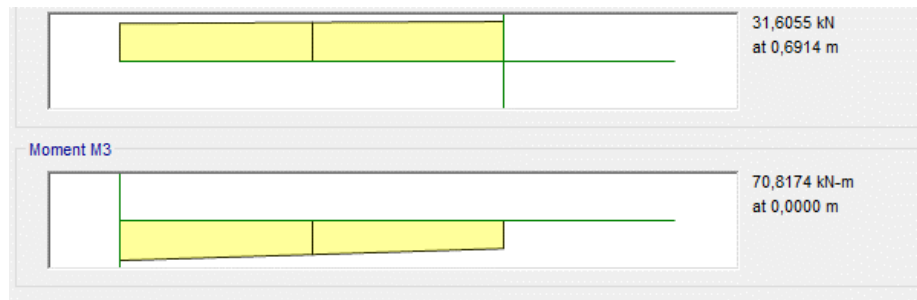


Ilustración 91 Momentos máximos en la cercha

(Fuente: propia).

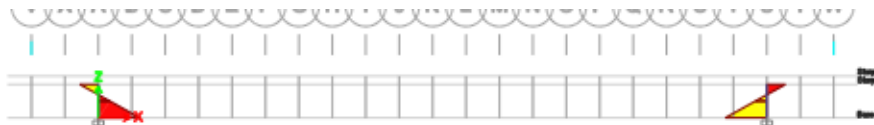


Ilustración 92 diagrama momentos en las torres metálicas

(Fuente: propia).

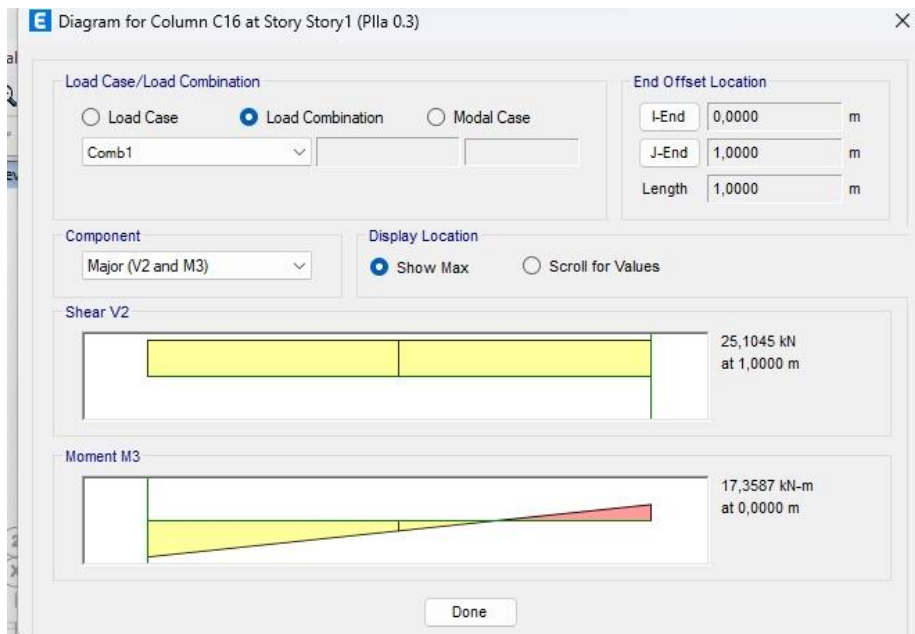


Ilustración 93 momentos máximos en torres metálicas

(Fuente: propia).



Ilustración 94 diagrama de esfuerzos axiales máximos en la cercha

(Fuente: propia).

### 3. Análisis de resultados y correcciones cercha

Tras haber determinado las cargas máximas mayoradas que habrá sobre la cercha, se determina que las dimensiones de la estructura son suficientes para soportar esta carga, esto fundamentado en:

El área de la varilla #6 la cual es de 2.9cm<sup>2</sup>, y en la resistencia de fluencia del acero (420 MPa), por lo que, despejando de la ecuación, el esfuerzo resistente es de:

$$\sigma = \frac{P_{resistente}}{A_{\#6}} \rightarrow P_{resistente} = \sigma A_{\#6}$$

$$P_{resistente} = 420 \text{ Mpa} \times \frac{1000 \text{ KPa}}{\text{MPa}} \times 2.9 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2} = 121.8 \text{ KN}$$

Como podemos ver en la figura 9, el máximo esfuerzo axial sobre la cercha es de 121.46KN, siendo este valor poco menor a 121.8KN, por lo que se demuestra que la cercha cumple.

### Torre metálica

Debido a que se considera una torre metálica de tan solo 1m de altura, no se contempla la posibilidad de que esta misma falle por momento, debido a que su longitud es muy corta y esta misma es directamente proporcional al momento, por lo que se realizara el cálculo de la sección para evitar que esta misma falle por esfuerzo cortante

Según la figura 8, el máximo esfuerzo cortante en la torre de acero es de 25KN por lo que la sección debe ser:

$$\sigma = 420\text{MPa} , F = 25\text{KN} , A = P/\sigma = 25\text{KN}/420000\text{KN/m}^2 = 5.9 \times 10^{-5} \text{m}^2 = 0.59\text{cm}^2$$

Las secciones circulares huecas de diámetro superior 5cm, espesor 1.5mm tienen un área de sección trasversal de 2.28cm<sup>2</sup>, por lo que cumplen la cortante máxima que debe soportar.

**Suelo**

Se determinaron unos parámetros del suelo, basándose en estimaciones justificadas a continuación

El suelo es cohesivo debido a la unión entre partículas al ser removido, sin embargo, como esta cohesión no puede ser determinada correctamente en un laboratorio, se determina un valor bajo 5KPa, el angulo de fricción interna suele variar entre los 0° a 45° (Llegando en casos extremos hasta los 50°) por lo que se toma 25° como un valor medio, el suelo estaba húmedo por lo que se toma un nivel freático cercano a la superficie (10cm)

Usando el método de la carga ultima propuesto por Terzaghy, y un factor de seguridad de 2.5, se encontró que el suelo puede soportar una cimentación con un área de 30cm x 30cm

Tabla 8 Diseño cimentacion de la estructura

(Fuente: propia).

Determinacion de la cimentacion para la estructura								
<b>Datos de entrada</b>		<b>Factores</b>		B	qu	quadm	Qadm	
c'	5 Kpa	Nc	Nq	NY	0.1	244.9612	97.98448	9.80
φ'	25 °	25.13	12.72	8.34	0.2	247.7134	99.08536	19.82
γ	18 KN/m <sup>3</sup>				0.3	250.4656	100.18624	30.06
γ'	21 KN/m <sup>3</sup>				0.4	253.2178	101.28712	40.51
NF	0.1 m	D1	0.1 m		0.5	255.97	102.388	51.19
Qdiseño	25.1 KN	D2	0.4 m		0.6	258.7222	103.48888	62.09
Df	0.5	q	6.2 Kpa		0.7	261.4744	104.58976	73.21
					0.8	264.2266	105.69064	84.55
					0.9	266.9788	106.79152	96.11
					1	269.731	107.8924	107.89

Para realizar el calculo de la estructura de la zapata, se trabajo con la hoja de calculo facilitada por el Ing Civil Jose Javier Martinez en el curso de Diseño de estructuras de concreto reforzado, introduciendo los valores respectivos se tiene la cuantia de acero de refuerzo de las zapatas

Tabla 9 Consideraciones diseño de la cimentación

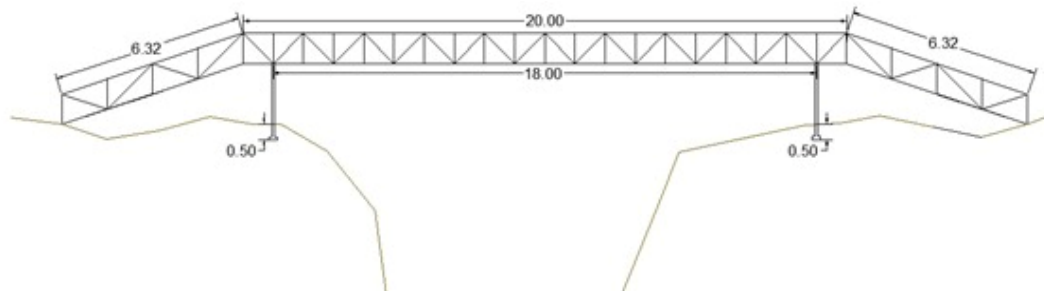
(Fuente: propia).

Espesor asumido de zapata :	
Hz (m) =	0.10
CARGA Servicio (kN):	25.1
CARGA Ultima (kN):	32.63
MOMENTO Servicio Dir 1 (kN-m):	17.35
MOMENTO Ultimo Dir 1 (kN-m):	0
MOMENTO Servicio Dir 2 (kN-m):	0
MOMENTO Ultimo Dir 2 (kN-m):	0
Dimension C1 columna (m) =	0.1
Dimension C2 columna (m) =	0.1
FACTOR DE MAYORACIÓN	1.3
NIVEL INFERIOR DE LA ZAPATA (m)	0.5
PESO DEL CONCRETO (kN/m <sup>3</sup> )	24.0
MATERIALES:	
f'c (Mpa)	21
fy (Mpa)	420
DATOS DEL SUELO:	
PESO DE LA TIERRA (kN/m <sup>3</sup> )	21.0
PRESION ADM DEL SUELO (Kn/m <sup>2</sup> )	250.0

Tabla 10 Cuantia de Refuerzo por zapata

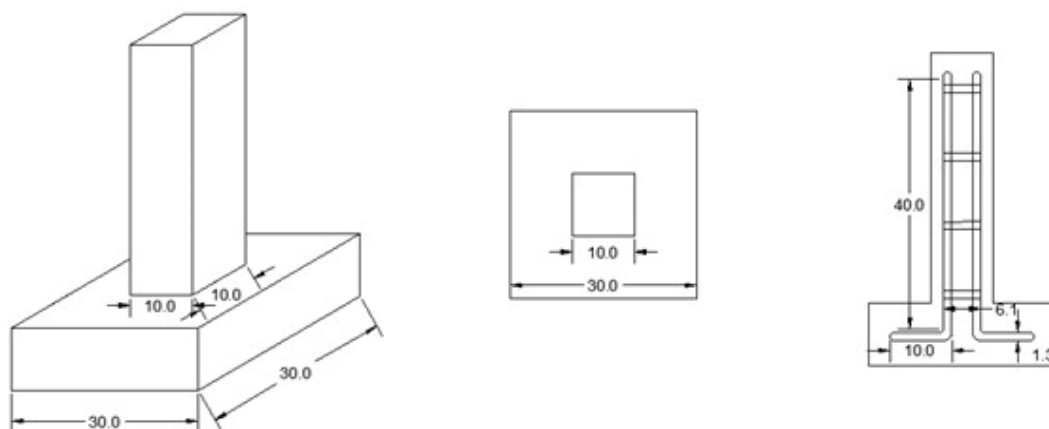
(Fuente: propia).

acero #	# barras		
#4	4	@	0.3609
#5	3	@	0.70
#6	2	@	1.39
#7	1	@	3.72



*Ilustración 95 Vista en perfil cercha*

*(Fuente: propia).*



*Ilustración 96 Detalle de la cimentación*

*(Fuente: propia).*

## **Presupuesto**

En la fase de elaboración del presupuesto, se llevaron a cabo consideraciones minuciosas respecto a dos categorías fundamentales de costos: los directos y los indirectos. Los costos directos, focalizados en elementos esenciales para el desarrollo de la obra, engloban materiales, herramientas, equipos y la mano de obra. Estos constituyen la columna vertebral del proyecto, siendo imprescindibles para su ejecución y culminación con éxito.

Por otra parte, se identifican los costos indirectos, que representan factores externos a los elementos directos, emergiendo ante posibles complicaciones en la obra o la carencia de algún insumo. Esta categoría se subdivide en tres aspectos clave: administrativo, imprevisto y utilidades. Los costos administrativos contemplan los gastos asociados a la gestión y dirección del proyecto, mientras que los costos imprevistos se refieren a aquellos imprevistos o contratiempos que pueden surgir durante la ejecución. Finalmente, los costos de utilidades abarcan los beneficios económicos buscados en la realización del proyecto.

Esta estructura proporciona una visión integral de los elementos cruciales directos e indirectos que inciden en el presupuesto, permitiendo una planificación financiera más precisa y una gestión efectiva de recursos para garantizar el éxito del proyecto.

Tabla 11 Presupuesto cercha

(Fuente: propia).

Costos Directos		
Materiales		\$2.670.607,60
Herramientas menores		\$323.200,00
Equipos		\$518.892,00
Mano de obra		\$2.395.414,40
SubTotal		\$5.908.114,00
Costos Indirectos		
Administracion	20,00%	\$1.181.622,80
Imprevistos	5,00%	\$295.405,70
Utilidad	5,00%	\$295.405,70
Subtotal		\$1.772.434,20
Relacion AIU/CD		30,00%
<b>Costo Total Obra</b>		<b>\$7.680.548,20</b>

### 8.3 MICROMEDIDORES

#### Proceso de instalación

1. Cerrar el paso de agua, en caso de ser necesario desinstalar el antiguo contador.
2. Drenar la conducción vieja para filtrar todo tipo de partículas existentes, antes de la implementación del nuevo dispositivo
3. Instalar el contador con la flecha apuntando al sentido de la circulación del agua.
4. Los contadores deben funcionar siempre llenos de agua (con una presión mínima de 0,3 bar a la salida del mismo). Por eso, hay que instalarlo a un nivel inferior respecto a la pendiente del resto de la conducción.
5. Es recomendable instalar una válvula de compuerta para hacer más fácil el mantenimiento y reparación.

Medidores de chorro múltiple tienen turbinas radiales que rodean una cámara interna para crear un flujo de agua contra la turbina. Debido a que la carga se coloca uniformemente a través del impulsor, los medidores de chorro múltiple retienen la precisión de caudales aún más bajos y brindan una vida útil mucho más larga. Debido a su diseño, los medidores de chorro múltiple son ideales para diámetros entre 1-1 / 2" a 3" de diámetro, para grandes usuarios de agua, servicios públicos de agua, así como para instalaciones industriales de agua.

A continuación, se presenta el presupuesto realizado por cada instalación de micromedidores, donde están incluidos micromedidores, válvulas, herramienta menor y mano de obra

NOMBRE	Unidad	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Parcial
<b>Materiales</b>	Ud	Medidor de agua potable fría de lectura directa, de chorro múltiple 2".	1	\$ 1,820,000.00	\$ 1,820,000.00
	Ud	Valvula de compuerta 2"	1	\$ 282,500.00	\$ 282,500.00
	Ud	Material auxiliar para instalaciones de calefacción y A.C.S.	1	\$ 11,329.51	\$ 11,329.51
<b>Mano de obra</b>	h	Fontanero	0.5	\$ 6,982.00	\$ 3,491.00
<b>Herramienta menor</b>	%	Herramienta menor	1	\$ 113,378.37	\$ 113,378.37
<b>Costos directos:</b>					<b>\$ 2,230,698.88</b>

*Ilustración 97 Presupuesto Instalación micromedidores*

*(Fuente: propia).*

El total de instalación de los micromedidores para las 250 viviendas de la comunidad tiene un valor de \$557'674,500

## REFERENCIAS

Alcaldía Municipal de Trujillo Valle del Cauca (2001). Esquema de Ordenamiento Territorial Trujillo Valle del Cauca 2001: EOT Trujillo Valle del Cauca 2001. <https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/123456789/11227>

Cuartas, J. (2018). Estudio de conservación y uso adecuado de las microcuencas Bitaco y Monserrate, corregimiento de Huasanó, municipio de Trujillo, Valle del Cauca. [Tesis de grado para optar por el título de ingeniero ambiental]. Unidad Central del Valle.

Fernández, E. (2015). Estudio sobre la génesis y la realización de una estructura urbana: la construcción de la red de alcantarillado de Santiago de Chile (1887-1910). *Historia (Santiago)*, 48(1), 119-193. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-71942015000100005>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021). Microcuencas. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/microcuencas/>

Sutorius, M., & Rodríguez, S. (2015). La fundamentalidad del derecho al agua en Colombia. *Revista Derecho del Estado*, (35), 243-265. <https://doi.org/10.18601/01229893.n35.09>

Microcuencas. (2021b, junio 19). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/microcuencas/>

Captación de ríos, lagos y embalses (reservorios). (s. f.). 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,-lagos-y-embalses-\(reservorios\)](https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captacion/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos,-lagos-y-embalses-(reservorios))

Conoce las diferencias entre las válvulas de admisión / expulsión y las válvulas eliminadoras de aire | Rudmex. (s. f.). <https://www.rudmex.com/blog/conoce-las-diferencias-entre-las-valvulas-de-admision-expulsion-y-las-valvulas-eliminadoras-de-aire>.

S.A.S., C. D. N. F. Y. (2021, 30 julio). Sistemas de Acueducto. TÉRMINOS Y DEFINICIONES. <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/acueducto/>.

Sena, Colombia. Ministerio de Desarrollo Economico, Sena (Servicio Nacional de Aprendizaje), & Colombia. Ministerio de Desarrollo Economico. (1999). Operacion y mantenimiento de redes de acueducto y alcantarillado: curso básico. Sena (Servicio Nacional de Aprendizaje).

Gestión Integral del Recurso Hídrico - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022, November 16). Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/>

Planificación de cuencas Hidrográficas y acuíferos - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022, November 16). Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas-y-acuiferos/>

GPS Visualizer: Convert GPS files to plain text or GPX. (n.d.). [https://www.gpsvisualizer.com/convert\\_input?convert\\_format=gpx](https://www.gpsvisualizer.com/convert_input?convert_format=gpx)

Calderón Sáenz, E. (2006). Libro rojo de plantas de Colombia. Vol. 6. Orquídeas, primera parte.

Nhora, Helena & Ospina-Calderón, Nhora & Torres-Torres, Gabriela & Flanagan, Nicola. (2022). Advances in orchid species conservation management in Colombia.

Ortiz, P. (2000). Las orquídeas de Colombia. Pérez-Arbelaezia, 5(11), 73-78.

Reina-Rodríguez, G. A., & OSPINA-CALDERÓN, N. H. (2013). Plan de manejo para la conservación de *Cattleya quadricolor* Lindl. en el Valle del Cauca, Colombia. *Lankesteriana*, 13, 1-2.

## ANEXOS

### ANEXO 1

Listado de puntos georreferenciados que fueron tomados para la realización de esta investigación.

Véase a continuación:

### ANEXO 2

Curvas de nivel y perfil de la tubería. Véase a continuación:

### ANEXO 3

Análisis de caudal.

### ANEXO 4

Investigación de Espinosa, D., sobre la presencia de *Cattleya quadricolor* y *Encyclia* sp. en el Municipio de Huasano, Valle del Cauca. Esta investigación fue realizada en paralelo en campo con el levantamiento de información realizado para esta tesis.

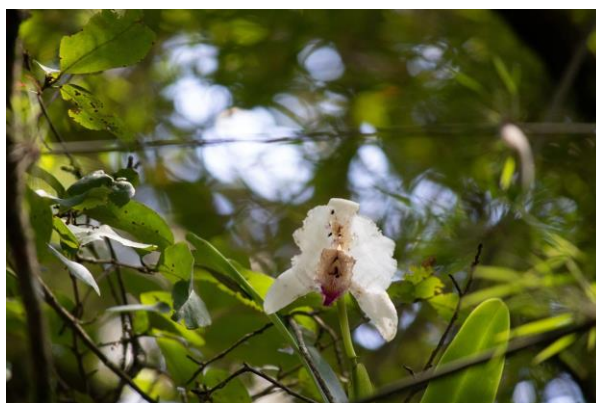
### **Presencia de *Cattleya quadricolor* y *Encyclia* sp. en el Municipio de Huasanó, Valle del Cauca**

\*Daniela Alejandra Espinosa Salazar

Colombia es un país con una gran biodiversidad tanto en flora como en fauna. Y dado a las condiciones geográficas y la variedad de ecosistemas, posee un aproximado de 3000 especies de orquídeas registradas; conocidas y apreciadas principalmente por su valor comercial (Ortiz, 2000). Sabiendo esto, se hizo una breve salida de reconocimiento en el Municipio de Husanó, Valle del Cauca para identificar las especies de orquídeas presentes en el área. Por lo que se pudieron registrar 4 individuos de *Cattleya quadricolor* y 1 individuo de *Encyclia* sp (Imagen 1, 2 y 3)



*Imagen 1: Cattleya quadricolor sin florecer*



*Imagen 2: Cattleya quadricolor florecida*



*Imagen 3: Encyclia sp. sin florecer. Se pueden ver los bulbos característicos en la base de la planta.*

En el caso de *Cattleya quadricolor*, cuyo nombre común es azucen, es una especie de orquídea endémica de Colombia, encontrada únicamente en los departamentos del Valle del

Cauca, Cauca, Quindío y Risaralda (Reina-Rodríguez & Ospina Calderón, 2013). Además, dado su endemismo es una especie que se encuentra en peligro dada la categoría global del libro rojo de plantas de Colombia.

En el caso de *Encyclia* sp. es un género de orquídeas epífitas (planta que necesita de un hospedero que le provea sostén para poder crecer) que se caracteriza por bulbos en forma de pera.

Para realizar un censo satisfactorio es necesario determinar la cantidad de individuos en el área. Teniendo en cuenta el estado reproductivo en el que se encuentra, el número de pseudobulbos, altura sobre el forofito (Hospedero en el cuál crecen las epífitas) , ángulo, posición del forofito, entre otros.

Para la adecuada conservación, monitoreo y manejo de *Cattleya quadricolor* se usarán las especificaciones dadas por Ospina-Calderón et al, 2022. Primeramente, es importante realizar monitoreos continuos que permitan identificar la estructura poblacional que se encuentra en Huasanó. De igual manera es importante entender las interacciones que hay de micorrizas asociadas a esta especie, de esta manera se pueden plantear manejos de conservación ex situ para germinar más individuos y de ser el caso restaurar la población local.

De igual manera es importante promover una educación ambiental que involucre a la comunidad asociada al área, y de esta manera se empleen planes de conservación in situ de los individuos ya existentes. Cabe mencionar que es importante realizar una nueva salida de reconocimiento en donde se pueda revisar si existe presencia de más especies de orquídeas en el área.