

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Diseño de un dique en el río Manglaralto, en el sector próximo a la extensión universitaria UPSE para la recarga del acuífero

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Civil**

Presentado por:

Ibarra Cruz Marcelo Andrés

Vera Valencia María Johmara

GUAYAQUIL – ECUADOR

I PAO 2023

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi abuelito, aunque ya no esté físicamente entre nosotros, sus recuerdos viven en mi corazón. Su sabiduría y alegría siguen inspirándome y dándome fuerzas para enfrentar los desafíos. Cada logro es también un homenaje a su legado.

El presente proyecto se lo dedico a Dios, a mi familia, maestros y amigos.

# AGRADECIMIENTOS

En el cierre de este importante capítulo, deseo dedicar unas palabras de sincero agradecimiento a quienes han sido mis pilares inquebrantables a lo largo de este viaje.

Mi familia, con su amor incondicional y su constante apoyo, ha sido mi fuente de fortaleza. Cada paso que di fue guiado por su aliento y confianza en mí. Agradezco profundamente a mis padres por ser mis ejemplos de perseverancia y sacrificio.

A mi compañero de tesis, no tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud. Tu apoyo inquebrantable, tus consejos y tu dedicación fueron fundamentales para superar los desafíos. Juntos enfrentamos las dificultades y celebramos los logros, y por eso siempre te estaré agradecido/a.

Mis amigas y amigos, mis confidentes y mis cómplices en momentos de duda, les agradezco por ser mi red de apoyo. Su

presencia hizo que cada paso fuese más ligero y cada logro más significativo.

A mis maestros, cuyas enseñanzas modelaron mi camino, les agradezco por compartir sus conocimientos y orientarme en mi crecimiento académico y personal. Vuestra dedicación ha dejado una marca indeleble en mí.

Finalmente, a mi tutora, gracias por tu paciencia, guía y sabios consejos. Tu liderazgo y apoyo fueron fundamentales en el desarrollo de este proyecto.

Las palabras no son suficientes para expresar mi gratitud, pero espero que estas líneas reflejen mi sincero agradecimiento. Este logro es nuestro, y lo celebro con amor y gratitud hacia todos ustedes.

Agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas y su gracia para poder cumplir mis objetivos.

A mi padre Jovino Luis Ibarra Fuentes, a mi madre Mayra Jacqueline Cruz Molina, a mi hermano Luis Stalin Ibarra Cruz y a mi hermana Dayana Mayra Ibarra Cruz, quienes forman mi núcleo más cercano y han sido pilares en mi vida, gracias a su infinita comprensión y muestras de cariño; razón por la cual les debo todo lo que soy.

A mis demás familiares y parientes a quienes agradezco sus buenos deseos y apoyo.

A mi compañera y amiga María Johmara Vera Valencia, con quien he realizado múltiples proyectos de las diferentes asignaturas y ha sido importante en mi vida estudiantil.

A todas mis amistades, muchas de las cuales fueron hechas en mi alma máter ESPOL.

A la JAAPMAN, CIPAT, profesores, directivos y trabajadores de FICT, por la siempre apertura a colaborar en proyectos que beneficien a las comunidades, así como la mejora de la calidad de vida de las personas.

A mi tutora MSc. Bethy Merchán, quien fue la primera profesora en asignaturas de la carrera y desde la primera clase, supe que sería mi tutora de tesis.

Al PHD. Mijail Arias, quien nos brindó todo su apoyo con amplio conocimiento para realizar el diseño del dique.

## Declaración Expresa

---

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *María Johmara Vera Valencia* y *Marcelo Andrés Ibarra Cruz* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



---

María Johmara Vera  
Valencia



---

Marcelo Andrés Ibarra  
Cruz

## EVALUADORES

---

**M.Sc. Lenín Dender**  
PROFESOR DE LA MATERIA



---

**M.Sc. Bethy Merchán Sanmartín**  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En Manglaralto, Santa Elena, la escasez de agua debido a la sequía, aumento poblacional y turismo ha llevado a una disminución del volumen de agua del acuífero. Para abordar esto, se propone recarga del acuífero mediante la construcción de diques artesanales. El modelo lluvia-escorrentía basado en datos topográficos, de suelo e hidrológicos identificó un caudal de diseño de  $80\left[\frac{m^3}{s}\right]$  para un periodo de retorno de 100 años. Tras evaluar tres alternativas de diques propuestas considerando aspectos técnicos, sociales y económicos, se eligió el dique tipo vertedero de hormigón con agregado grueso mayor a  $30[cm]$  (Alternativa 1) debido a problemas de erosión y vida útil de las estructuras de gaviones.

El dique utilizará materiales locales e importados y se encuentra ubicado en 528798E 9796562N. Cuenta con cimentación de hormigón armado, geotextil y geomembrana. El diseño prioriza la estabilidad, la siembra y cosecha de agua, y la protección contra la salinidad. Las medidas ambientales incluyen vegetación en la cima del dique para preservar el paisaje.

El presupuesto referencial, tiene un costo estimado de USD85,841.76. Cerca de 33,000.00 habitantes (6 comunas Manglaralto, Montañita, Cadeate, San Antonio, Libertador Bolívar y Río Chico) serán beneficiarios directos, más 30,000 turistas y beneficiarios indirectos alrededor del 10% de la población total de la Provincia de Santa Elena, esto es, 30,000.00 habitantes. La implementación generará 80 empleos directos. Planos detallados creados con AutoCAD y HecRas guiarán la construcción, garantizando la coherencia entre diseño y ejecución, además de la sostenibilidad y recarga del acuífero.

**Palabras Clave:** dique, siembra y cosecha de agua, recarga acuífera, análisis ambiental.

## **ABSTRACT**

*In Manglaralto, Santa Elena, water scarcity due to drought, population growth, and tourism has led to a decrease in the aquifer's water volume. To address this, aquifer recharge through the construction of artisanal dams is proposed. The rainfall-runoff model based on topographic, soil, and hydrological data identified a design flow rate of 80 [m<sup>3</sup>/s] for a 100-year return period. After evaluating three proposed dam alternatives considering technical, social, and economic aspects, the concrete spillway dam with coarse aggregate exceeding 30 [cm] (Alternative 1) was chosen due to erosion concerns and the lifespan of gabion structures.*

*The dam will use local and imported materials and is located at 528798E 9796562N. It features a reinforced concrete foundation, geotextile, and geomembrane. The design prioritizes stability, water harvesting, and protection against salinity. Environmental measures include vegetation on the dam's crest to preserve the landscape.*

*The estimated budget is USD 85,841.76. Approximately 33,000 inhabitants from 6 communities (Manglaralto, Cadeate, Montañita, Libertador Bolívar, San Antonio, and Río Chico) will be direct beneficiaries, along with 30,000 tourists and indirect beneficiaries, roughly 10% of the total population of Santa Elena Province, totaling 30,000 individuals. The implementation will generate 80 direct jobs. Detailed plans created with AutoCAD and HecRas will guide the construction process, ensuring coherence between design and execution, as well as the sustainability and aquifer recharge of the region.*

*Keywords: dam, rainwater harvesting, aquifer recharge, environmental analysis.*

# ÍNDICE GENERAL

## Contenido

ABREVIATURAS	XIV
SIMBOLOGÍA	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
1. Introducción	- 20 -
1.1. Antecedentes	- 20 -
1.2. Presentación general del problema	- 21 -
1.3. Justificación del problema	- 22 -
1.4. Objetivo	- 22 -
1.4.1. Objetivo General	- 22 -
1.4.2. Objetivos específicos	- 23 -
1.5. Área de estudio	- 24 -
1.5.1. Información relacionada al área de estudio	- 24 -
1.5.2. Ubicación geográfica	- 25 -
1.5.3. Demarcación política	- 26 -
1.5.4. Población	- 26 -
1.5.5. Actividad Productiva	- 26 -
1.5.6. Topografía	- 26 -
1.5.7. Acuífero	- 28 -
1.5.8. Clima	- 28 -
1.5.9. Flora y fauna	- 28 -
1.5.10. Marea	- 29 -
1.5.11. Datos Sísmicos	- 29 -
2. Materiales y métodos	- 30 -
2.1. Revisión de literatura	- 30 -
2.2. Siembra y cosecha de agua	- 30 -
2.3. Tapes o diques	- 32 -
2.4. Análisis de frecuencia	- 37 -
2.5. Prueba de bondad de ajuste y Kolmogorov- Smirnov	- 37 -
2.6. Diagrama Unitario del Sistemas de conservación de suelos (SCS)	- 38 -
2.7. Método de abstracción del Servicio de Conservación del Suelo (SCS)	- 38 -
2.8. Criterios de modelación	- 39 -

2.9.	Diseño estructural	- 48 -
2.10.	Otros criterios por considerar	- 48 -
2.11.	Ensayos	- 50 -
2.12.	Trabajos de campo y laboratorio	- 51 -
2.13.	Análisis de datos	- 86 -
2.13.1.	Datos meteorológicos	- 86 -
2.13.2.	Modelo hidrológico	- 91 -
2.14.	Análisis de alternativas	- 94 -
<b>CAPÍTULO 3</b>		<b>110</b>
<b>3.</b>	<b>Geometría del dique</b>	<b>110</b>
3.1.	Definición de la geometría	110
3.2.	Vida útil de la estructura	116
3.3.	Determinación de las fuerzas	117
3.4.	Análisis de estabilidad del dique	123
3.5.	Estabilidad de taludes	128
3.6.	Diseño de pantalla de hormigón	128
3.7.	Diseño de cimentación	130
3.8.	Diseño de recubrimiento de hormigón	137
3.9.	Modelado en Hec-Ras	137
<b>CAPÍTULO 4</b>		<b>147</b>
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS AMBIENTAL</b>	<b>147</b>
4.1.	Descripción del proyecto	147
4.2.	Línea base ambiental	148
4.3.	Actividades del proyecto	149
4.4.	Identificación de impactos ambientales	152
4.5.	Valoración de impactos ambientales	154
4.6.	Medidas de prevención/mitigación	156
<b>CAPÍTULO 5</b>		<b>159</b>
<b>5.</b>	<b>PRESUPUESTO</b>	<b>159</b>
5.1.	Estructura Desglosada de Trabajo	159
5.2.	Rubros y análisis de precios unitarios	165
5.3.	Descripción de cantidades de obra	169
5.4.	Valoración integral del costo del proyecto	171
5.5.	Cronograma de obra	172
<b>CAPÍTULO 6</b>		<b>176</b>

<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	176
6.1. Conclusiones	176
6.2. Recomendaciones	178
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	179
<b>ANEXOS</b>	184

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SCS	Sistemas de Conservación del Suelo
JAPMAN	Junta de Agua Potable de Manglaralto
UPSE	Universidad Estatal de la Península Santa Elena

## SIMBOLOGÍA

gr	Gramos
Kg	Kilogramos
°C	Grados Celsius
mm	Milímetros
cm	Centímetros
cm <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
m	Metros
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
Km	Kilómetros
Km <sup>2</sup>	Kilómetros cuadrados
in (")	Pulgadas
lt	Litros
rpm	Revoluciones por minuto
MPa	Megapascuales
Ton	Toneladas

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Ilustración 1-1.</b> Mapa del área de estudio del acuífero Manglaralto.	- 24 -
Ilustración 1-2. Mapa de área del acuífero Manglaralto.	- 25 -
Ilustración 1-3. Mapa de curvas de nivel cada 3 metros.	- 27 -
Ilustración 1-4. Mapa de acuífero en la parroquia Manglaralto.	- 28 -
Ilustración 2-1 Niveles de agua en un dique	- 40 -
Ilustración 2-2 Fuerzas ejercidas sobre un dique	- 45 -
Ilustración 2-3. Fotografías tomadas en campo mientras se realizaba el levantamiento topográfico.	- 51 -
Ilustración 2-4. Orto mosaico del levantamiento topográfico en la parroquia Manglaralto.	- 52 -
Ilustración 2-5. DEM procesado del levantamiento topográfico con el acuífero Manglaralto.	- 53 -
Ilustración 2-6 Ubicación de la toma de muestras de suelo	- 54 -
Ilustración 2-7 Curva granulométrica A1	- 61 -
Ilustración 2-8 Curva granulométrica A2	- 62 -
Ilustración 2-9 Curva granulométrica A3	- 63 -
Ilustración 2-10 Curva granulométrica B1	- 64 -
Ilustración 2-11 Curva granulométrica C1	- 65 -
Ilustración 2-12 Curva granulométrica C2	- 66 -
Ilustración 2-13 Curva granulométrica C3	- 67 -
Ilustración 2-14. Mapa de las estaciones meteorológicas donde se extrajeron los datos de las precipitaciones.	- 86 -
Ilustración 2-15. Gráfico Intensidad vs duración.	- 89 -
Ilustración 2-16. Gráfico precipitación vs duración.	- 90 -
Ilustración 2-17. Cuenca Manglaralto obtenida de Hec-HMS.	- 92 -
Ilustración 2-18. Mapa de llanura de inundación de la alternativa 1	- 94 -
Ilustración 2-19 Mapa de la llanura de inundación alternativa 2	- 95 -
Ilustración 2-20. Mapa de llanura de inundación de la segunda propuesta.	- 95 -
Ilustración 2-21 Mapa de la llanura de inundación de la alternativa 3	- 97 -
Ilustración 3-1 El Cuerpo de Bomberos realizó trabajos para drenar el agua. Foto: Enrique Pesantes / EL COMERCIO año 2020	110
Ilustración 3-2 Fuerzas aplicadas al dique	125
Ilustración 3-3 Pantalla de hormigón	129
Ilustración 3-4 Cimentación	136
Ilustración 3-5 Puente aguas abajo del río Manglaralto	137
Ilustración 3-6 Simulación del puente	138
Ilustración 3-7 Simulación de puente con ancho de taludes	139
Ilustración 3-8 Estimación de caudal máximo en el puente	140
Ilustración 3-9 Llanura de inundación del dique actual	141
Ilustración 3-10 Zona afectada en caso de rotura del dique	141
Ilustración 3-11 Simulación del dique existente	142
Ilustración 3-12 Simulación del dique propuesto	143
Ilustración 3-13 Simulación del dique con los vertederos	144

Ilustración 3-14 Simulación del nivel de agua en el puente con el dique propuesto.	145
Ilustración 3-15 Simulación del dique existente.	146

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Ilustración 1-1.</b> Mapa del área de estudio del acuífero Manglaralto.	- 24 -
Ilustración 1-2. Mapa de área del acuífero Manglaralto.	- 25 -
Ilustración 1-3. Mapa de curvas de nivel cada 3 metros.	- 27 -
Ilustración 1-4. Mapa de acuífero en la parroquia Manglaralto.	- 28 -
Ilustración 2-1 Niveles de agua en un dique	- 40 -
Ilustración 2-2 Fuerzas ejercidas sobre un dique	- 45 -
Ilustración 2-3. Fotografías tomadas en campo mientras se realizaba el levantamiento topográfico.	- 51 -
Ilustración 2-4. Orto mosaico del levantamiento topográfico en la parroquia Manglaralto.	- 52 -
Ilustración 2-5. DEM procesado del levantamiento topográfico con el acuífero Manglaralto.	- 53 -
Ilustración 2-6 Ubicación de la toma de muestras de suelo	- 54 -
Ilustración 2-7 Curva granulométrica A1	- 61 -
Ilustración 2-8 Curva granulométrica A2	- 62 -
Ilustración 2-9 Curva granulométrica A3	- 63 -
Ilustración 2-10 Curva granulométrica B1	- 64 -
Ilustración 2-11 Curva granulométrica C1	- 65 -
Ilustración 2-12 Curva granulométrica C2	- 66 -
Ilustración 2-13 Curva granulométrica C3	- 67 -
Ilustración 2-14. Mapa de las estaciones meteorológicas donde se extrajeron los datos de las precipitaciones.	- 86 -
Ilustración 2-15. Gráfico Intensidad vs duración.	- 89 -
Ilustración 2-16. Gráfico precipitación vs duración.	- 90 -
Ilustración 2-17. Cuenca Manglaralto obtenida de Hec-HMS.	- 92 -
Ilustración 2-18. Mapa de llanura de inundación de la alternativa 1	- 94 -
Ilustración 2-19 Mapa de la llanura de inundación alternativa 2	- 95 -
Ilustración 2-20. Mapa de llanura de inundación de la segunda propuesta.	- 95 -
Ilustración 2-21 Mapa de la llanura de inundación de la alternativa 3	- 97 -
Ilustración 3-1 El Cuerpo de Bomberos realizó trabajos para drenar el agua. Foto: Enrique Pesantes / EL COMERCIO año 2020	110
Ilustración 3-2 Fuerzas aplicadas al dique	125
Ilustración 3-3 Pantalla de hormigón	129
Ilustración 3-4 Cimentación	136
Ilustración 3-5 Puente aguas abajo del río Manglaralto	137
Ilustración 3-6 Simulación del puente	138
Ilustración 3-7 Simulación de puente con ancho de taludes	139
Ilustración 3-8 Estimación de caudal máximo en el puente	140
Ilustración 3-9 Llanura de inundación del dique actual	141
Ilustración 3-10 Zona afectada en caso de rotura del dique	141
Ilustración 3-11 Simulación del dique existente	142
Ilustración 3-12 Simulación del dique propuesto	143
Ilustración 3-13 Simulación del dique con los vertederos	144
Ilustración 3-14 Simulación del nivel de agua en el puente con el dique propuesto.	145
Ilustración 3-15 Simulación del dique existente.	146

## ÍNDICE DE PLANOS

1. Viga longitudinal del dique, detalles y columna.
2. Vistas 3D y protección de talud
3. Vista en planta, elevación de terreno natural y protección de talud

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes

Los diques se encuentran entre las obras más antiguas y fundamentales de la ingeniería civil. La mayoría de las civilizaciones han surgido debido a la expansión de la agricultura organizada, producto de esto, se vieron en la necesidad de construir depósitos de almacenamiento de agua (Novak et al., 2018)

La historia de la construcción de diques se adjudica a los egipcios, quienes crearon estos sistemas para embalsar agua y luego, por medio de canales llevarla a zonas alejadas (Wang et al., 2014). En épocas de lluvia y otoño, llenaban los canales y cerraban los diques para proveer de agua el resto del año a los cultivos.

Actualmente los diques son una solución para la gestión hídrica, pueden ser una herramienta efectiva por varias razones: controlan y regulan el flujo de agua en ríos, lagos y embalses, recargan acuíferos, siendo así útil en áreas donde hay variabilidad estacional en la disponibilidad de agua.

En Ecuador, se cuenta con diversos diques y sistemas de control de agua para diferentes propósitos, como la protección contra inundaciones, la regulación del flujo de ríos y la retención de agua para riego. Adicionalmente, se están uniendo la parte técnica y el conocimiento ancestral, diseñando y ejecutando las llamadas “presas colinares” (Mullo-Sinaluisa et al., 2022) con el objetivo de recargar los acuíferos en proyectos denominados “siembra y cosecha de agua”, tal como sucede en el sector de la Parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena.

La Provincia de Santa Elena (PSE), en la costa ecuatoriana, tiene un clima semiárido con precipitaciones anuales debajo de los 250 mm, concentrados entre febrero y abril (Peel et al., 2007). En estos sectores los ríos son intermitentes (solo tienen agua en época lluviosa). En esta provincia se sitúa la parroquia de Manglaralto, donde por medio de la Junta de Agua Potable Manglaralto (Jaapman), se abastece de agua a 6 comunidades con alta

afluencia turística, las cuales son: Cadeate, Libertador Bolívar, Manglaralto, Montañita, Río Chico y San Antonio.

La comunidad de Manglaralto en época de verano experimenta sequía y sufre de escasez de agua. En el año 2017, se reportó en periódicos nacionales que se declaró en emergencia debido a la falta de agua; otro ejemplo se dio en 2020, cuando en plena emergencia sanitario por el COVID-19, también experimentaron escasez de agua complicando más la situación precaria de los habitantes.

## **1.2. Presentación general del problema**

En verano Manglaralto sufre de escasez de agua. Aunque la comunidad cuenta con un sistema de abastecimiento por pozos, la disponibilidad de agua dulce es limitada, lo que afecta la calidad de vida de los habitantes. La sequía estacional impide que los pozos puedan suministrar la cantidad suficiente de agua para satisfacer las necesidades básicas de la comunidad.

La falta de acceso a agua de calidad puede tener efectos adversos en la salud de los habitantes. La escasez de agua puede dificultar la higiene personal y el saneamiento adecuado, lo que aumenta el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, como diarreas, infecciones cutáneas y enfermedades relacionadas con la falta de higiene.

Esta escasez afecta negativamente al sector turístico, el cual es uno de los sectores económicos más importantes en Manglaralto. En el sector turístico puede resultar en la disminución en la calidad de los servicios, restricciones en las actividades recreativas, impacto en los recursos naturales y posibles aumentos de precios locales.

### **1.3. Justificación del problema**

La escasez de agua en Manglaralto durante el verano es un problema que afecta directamente la calidad de vida de los habitantes de la comunidad. Aunque cuentan con un sistema de abastecimiento de agua a través de pozos, la disponibilidad de agua dulce es limitada debido a la sequía estacional y a la contaminación existente en los pozos más cercanos al mar. Esta situación dificulta la capacidad de los pozos para suministrar la cantidad suficiente de agua necesaria para cubrir las necesidades básicas de la comunidad.

En este contexto, el diseño de un dique se presenta como una posible solución para abordar esta problemática. Al construir un dique para almacenar el agua dulce que se descarga durante las lluvias, se puede aumentar significativamente la recarga del acuífero subyacente, además de crear una barrera que evite la contaminación de los pozos aguas arriba. La retención de agua en el dique permitiría que una mayor cantidad de agua se infiltre y recargue el acuífero, reponiendo así las reservas subterráneas de agua.

Al incrementar la recarga del acuífero, se puede mejorar la producción de los pozos de agua. Esto significa que los pozos podrían bombear agua durante un tiempo prolongado, incluso durante períodos de sequía, asegurando un suministro más constante y adecuado para la comunidad de Manglaralto. Además, el almacenamiento en el dique también proporcionaría una reserva estratégica de agua para enfrentar períodos de escasez más agudos.

Implementar un dique como solución a la escasez de agua en Manglaralto no solo beneficiaría a los residentes al garantizar un suministro más confiable y suficiente de agua potable, sino que también tendría un impacto positivo en la turismo, economía, la seguridad alimentaria y la preservación del medio ambiente local.

### **1.4. Objetivo**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar un dique en el río Manglaralto aplicando criterios técnicos y de sostenibilidad, para el almacenamiento de agua que permita la recarga del acuífero en un proceso de siembra y cosecha de agua.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

1. Elaborar el modelo de lluvia-escorrentía mediante el procesamiento de los datos topográficos, de suelo e hidrológicos obtenidos en campo, para la selección del lugar y de materiales idóneos donde se ubicará y construirá el dique.
2. Diseñar el dique mediante la consideración de aspectos técnicos y de sostenibilidad, para la siembra y cosecha de agua obteniendo los planos hidráulicos, estructurales y de cimentación de la estructura.
3. Realizar el análisis ambiental identificando los posibles impactos generados para la propuesta de medidas de mitigación que permitan la ejecución del proyecto.
4. Estimar el presupuesto referencial, mediante el análisis de precios unitarios de cada rubro para la construcción del dique, así como los planos y especificaciones técnicas, de tal forma que el proyecto sea económicamente viable y pueda ejecutarse.

#### **Preguntas de investigación**

- ¿Qué factores hidrológicos deben analizarse al momento de diseñar un dique?
- ¿Cuál es la importancia de evaluar la topografía del terreno al diseñar un dique?
- ¿Qué consideraciones se deben tomar en cuenta para garantizar la estabilidad del dique?
- ¿Cuáles son los principales aspectos por considerar en términos de seguridad al diseñar un dique?
- ¿Cómo se realizaría el análisis ambiental, de tal forma, que permita identificar los impactos para la propuesta de medidas de mitigación durante la ejecución de la obra?
- ¿Cuál es la capacidad de almacenamiento requerida en el diseño del dique?

## 1.5. Área de estudio

### 1.5.1. Información relacionada al área de estudio

Manglaralto es reconocido por su rica biodiversidad y sus valiosos ecosistemas costeros. Es un lugar de gran interés para los científicos, los conservacionistas y los turistas debido a su belleza natural y su importancia ecológica (Herrera-Franco et al., 2018). Es una localidad situada en la costa del océano Pacífico. Limita al norte con Olón, al sur con Montañita y al este con la Sierra. Es conocido por sus hermosas playas y su ambiente tranquilo, que atrae a turistas nacionales e internacionales.

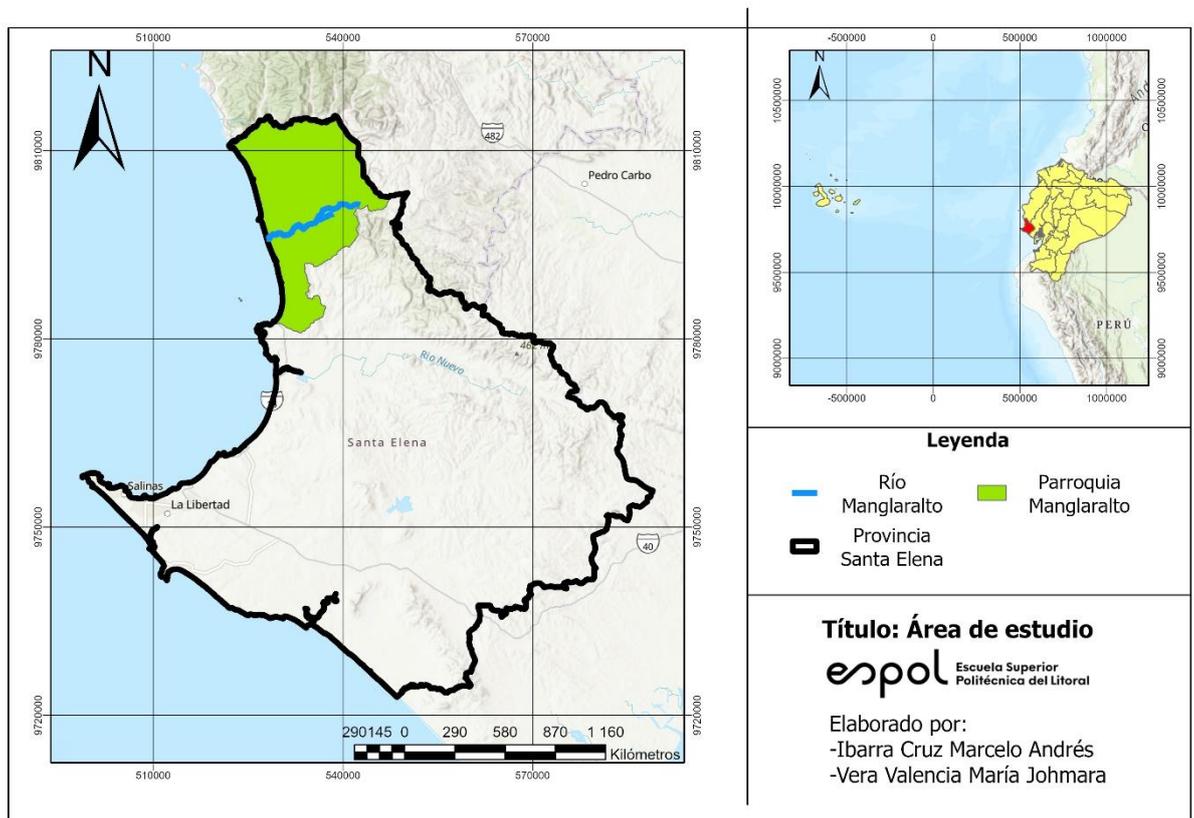


Ilustración 1-1. Mapa del área de estudio del acuífero Manglaralto.

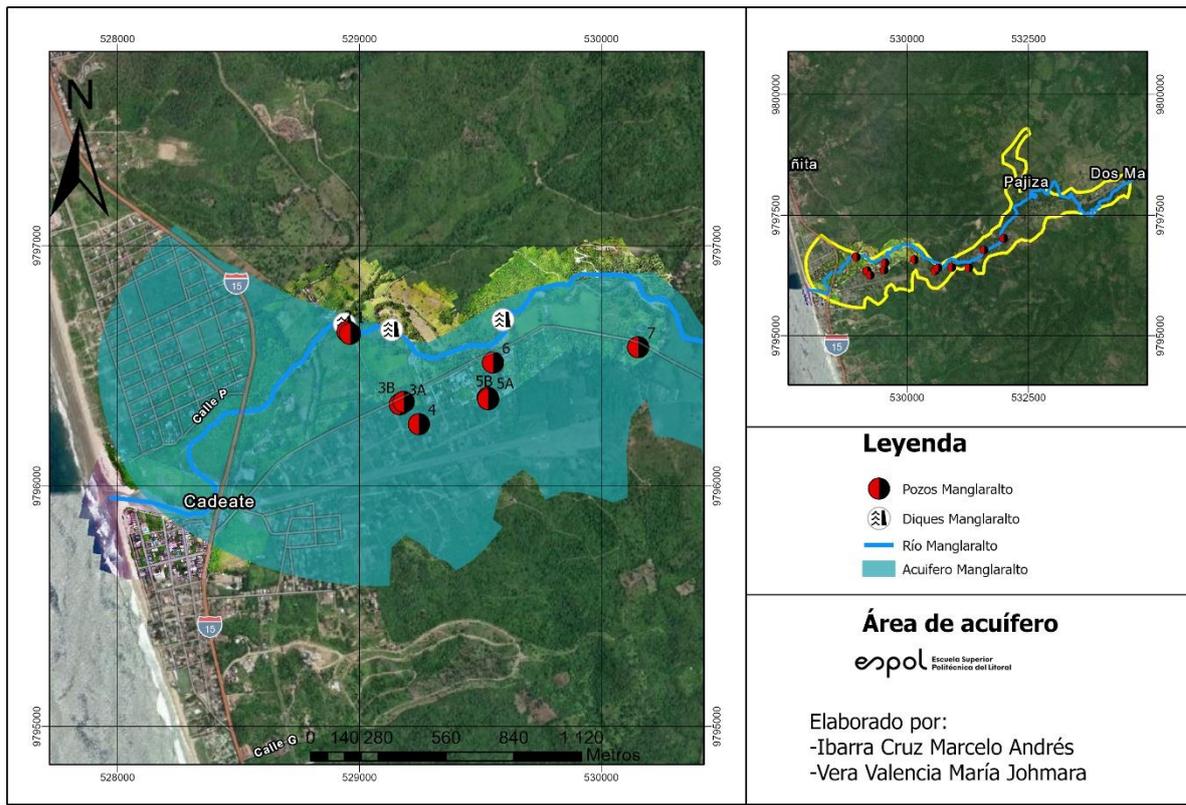


Ilustración 1-2. Mapa de área del acuífero Manglaralto.

### 1.5.2. Ubicación geográfica

La parroquia de Manglaralto se encuentra ubicado en la provincia de Santa Elena, en el suroeste de Ecuador. Está cerca de Salinas y a unos 150 kilómetros de Guayaquil, la ciudad más grande del país. Está rodeada de mucha vegetación, incluyendo manglares y bosques tropicales.

### **1.5.3. Demarcación política**

Manglaralto es una parroquia rural perteneciente al cantón de Santa Elena. Se encuentra bajo la administración del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Elena. La parroquia tiene su propia junta parroquial que se encarga de gestionar los asuntos locales y velar por el bienestar de la comunidad (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Elena, s.f.).

### **1.5.4. Población**

Ocupa un área de 425.07 kilómetros cuadrados y cuenta con una población estimada de 33.633 habitantes, según la proyección del Censo 2010 realizado por el INEC en 2022. Se designó parroquia oficialmente el 31 de mayo de 1861 y está compuesta por 18 comunidades cuyas actividades principales son la agricultura, el comercio y el turismo (Mendoza Tarabó et al., 2022).

### **1.5.5. Actividad Productiva**

La actividad productiva en Manglaralto está centrada principalmente en el turismo, la agricultura y la pesca (Drouet Candell et al., 2021). El turismo ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, atrayendo a visitantes que buscan disfrutar de las hermosas playas y la naturaleza exuberante. La pesca también es una actividad importante, ya que la zona cuenta con una gran variedad de especies marinas (Herrera Gricelda, 2018).

### **1.5.6. Topografía**

La información topográfica utilizada para el área de estudio es la siguiente:

- Curvas de nivel, cada 3 metros
- Topografía de la zona del proyecto usando una imagen DEM de la cuenca del Río Manglaralto, obtenido durante la investigación de campo.
- Batimetría del río Manglaralto (longitud = 3.3 km).

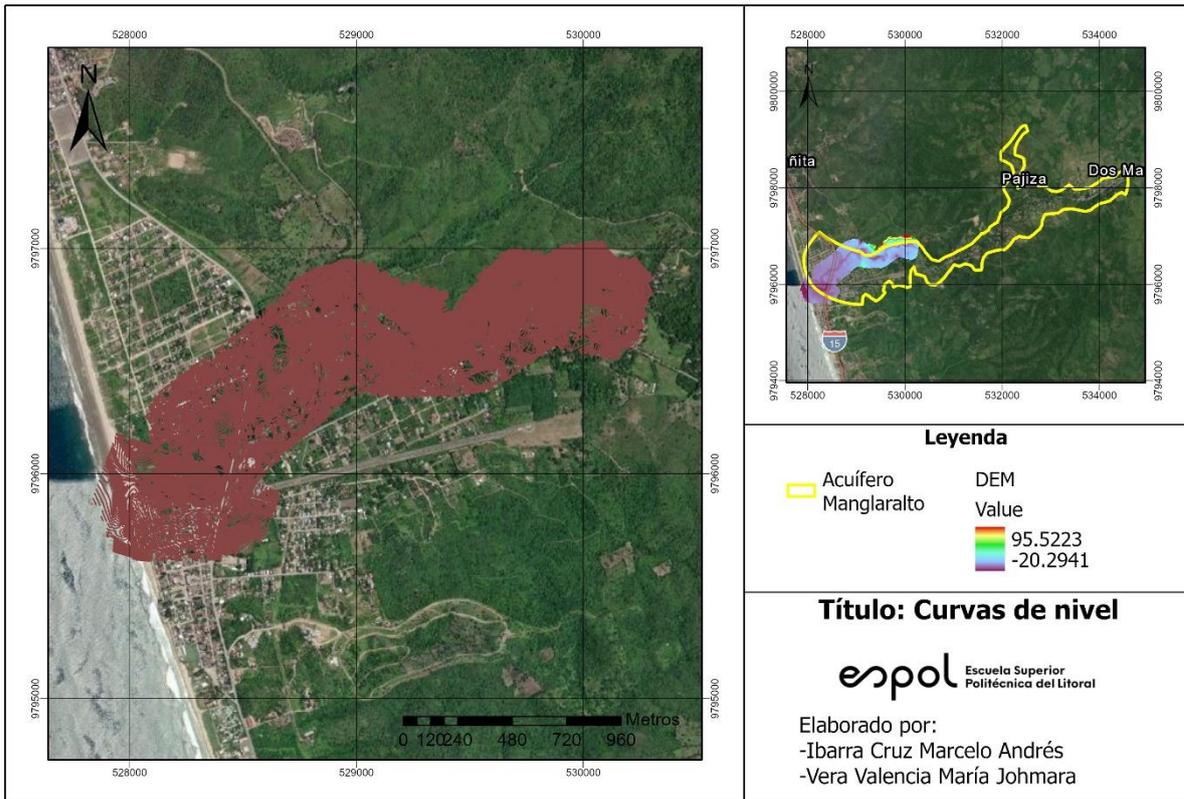


Ilustración 1-3. Mapa de curvas de nivel cada 3 metros.

### 1.5.7. Acuífero

La ubicación del acuífero dentro del área de estudio

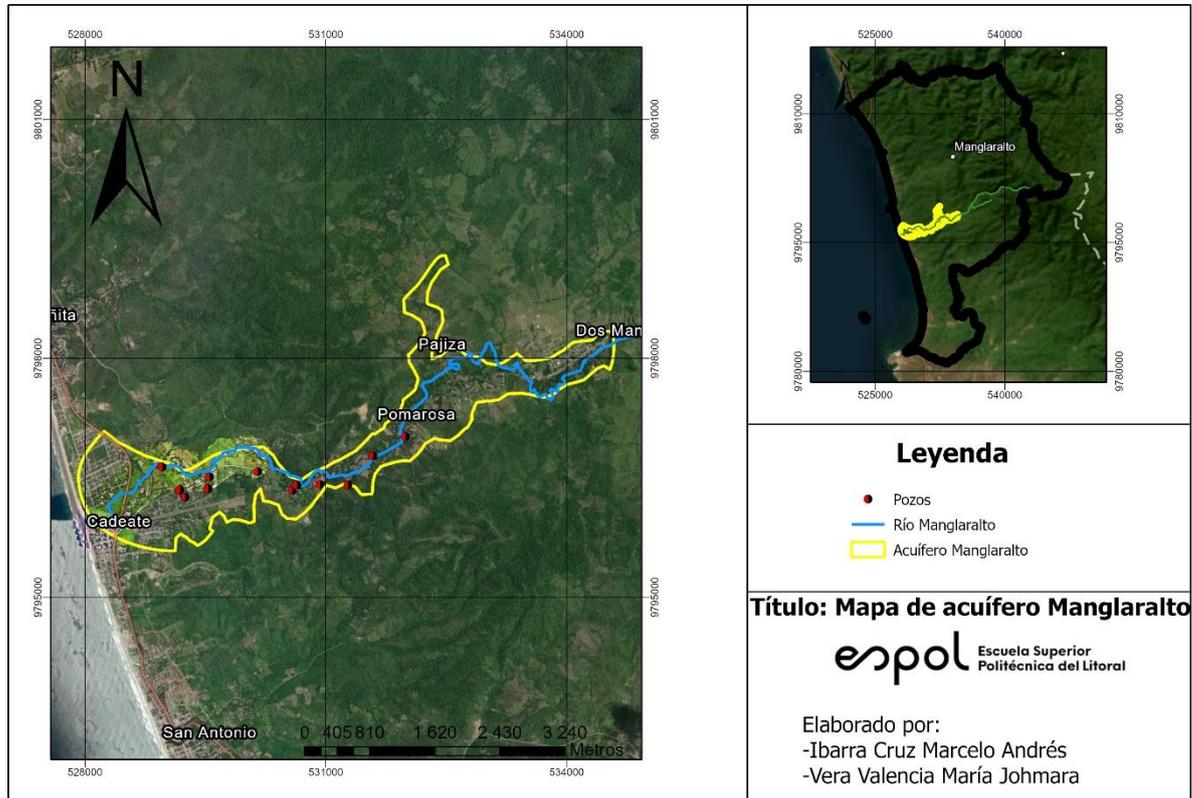


Ilustración 1-4. Mapa de acuífero Manglaralto.

### 1.5.8. Clima

Manglaralto goza de un clima tropical. La temperatura promedio anual es de alrededor de 25°C, con pequeñas variaciones a lo largo del año (Inamhi, 2013). La temporada de lluvias suele ser de diciembre a mayo, mientras que los meses más secos son junio a noviembre. El clima cálido y soleado de la zona es ideal para los visitantes que desean disfrutar de las playas y actividades al aire libre.

### 1.5.9. Flora y fauna

Manglaralto, ubicado en Santa Elena, Ecuador, alberga una rica y variada flora y fauna costera (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Elena, s.f.). Sus manglares son hogar de especies emblemáticas como el

manglar rojo y negro, adaptados a condiciones salinas y anegadas. Además, el mangle blanco y el mangle botoncillo complementan este ecosistema único. En cuanto a la fauna, aves como garzas y pelícanos revolotean en busca de alimento, mientras que cangrejos rojos y reptiles como iguanas y tortugas marinas encuentran refugio. La biodiversidad marina se completa con peces, camarones y mamíferos como nutrias y zarigüeyas.

#### **1.5.10. Marea**

En este aspecto es importante acotar que la estación más cercana es la existente en Monteverde, por tanto, al realizar un análisis de datos disponibles desde el 2013 en esa estación se encontró que la altura promedio que alcanza la marea es de 2.8 msnm.

#### **1.5.11. Datos Sísmicos**

El factor de la zona sísmica toma en cuenta el lugar en el que se encuentra el dique. En este caso Manglaralto corresponde a la zona V, tal como se muestra en la tabla 1.1 a continuación:

*Tabla 1-1.1 Datos sísmicos*

Zona sísmica	V
Valor factor Z	0.5
Caracterización del peligro sísmico	Alta

# CAPÍTULO 2

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Revisión de literatura

La gestión de recursos hídricos es fundamental para garantizar la disponibilidad y sostenibilidad del agua a largo plazo, tanto para las necesidades humanas como para la protección de los ecosistemas acuáticos (Gárate Ríos et al., 2021). Un enfoque integral y coordinado es fundamental para enfrentar los desafíos relacionados con la escasez de agua, la degradación de la calidad del agua y los impactos del cambio climático (Pulido-Velazquez et al., 2014).

Para abordar la escasez de agua en muchas partes del mundo, su almacenamiento y la recarga de los acuíferos se han convertido en estrategias clave y forman parte de las técnicas ancestrales que actualmente se conocen como siembra y cosecha de agua.

### 2.2. Siembra y cosecha de agua

La siembra y cosecha de agua es una técnica ancestral y en Latinoamérica se conoce algunas de sus implementaciones. En Colombia, se ha practicado durante siglos, con técnicas utilizadas por diferentes comunidades indígenas (Durán et al., 2020). Por ejemplo, en la región de la gran depresión Momposina, los Zenues han cultivado la tierra de manera extensiva durante aproximadamente 2000 años. Han creado "campos elevados" para sus cultivos, construyendo canales anchos entre cada uno de ellos, que se llenan de agua durante la época de lluvias (Granda, 1994) y que conservan la humedad en los campos durante los meses secos con los diques.

En la vasta llanura del lago Titicaca, compartida por Perú y Bolivia, los agricultores desarrollaron un sistema ingenioso llamado "Suka Kollus". Consiste en levantar los campos de cultivo entre surcos anchos. Este sistema ha sido utilizado en otros altiplanos húmedos, como en Quito, Cayambe y San

Pablo en Ecuador (donde se conocen como "camellones" o "inka-wacho") y también en Bogotá, Colombia (Stadel, 2005).

En el norte de Chile, donde la escasez de agua es un grave problema en la mayoría de los pequeños poblados, existe una oportunidad de abastecimiento a través del aprovechamiento de las "camanchacas". Estas se refieren a bancos de niebla o neblinas cercanas al suelo, que, si se usan de manera eficiente, pueden generar aproximadamente 10.000 litros de agua en 8 horas. Esta podría ser una solución parcial para satisfacer la demanda de agua en dichas comunidades (Soto, 2000).

En el sitio arqueológico de Machu Picchu, en Perú, se descubrieron estructuras de recolección de agua, conocidas como "acequias". Estas consistían en canales diseñados para captar el agua de lluvia, que luego se dirigía hacia áreas de rocas con grietas en la montaña, permitiendo que se filtraran hacia los depósitos subterráneos (Machu Picchu: A Civil Engineering Marvel, 2001).



*Ilustración 1 - 1. Grupo de personas creando acequias en Perú. Obtenida: El Comercio (Perú).*

La cultura Pucará, ubicada en el altiplano peruano cerca del lago Titicaca, utilizaba un método distinto para recolectar agua de lluvia. En lugar de tanques convencionales, excavaban pozas conocidas como "qochas" en una planicie a una altitud de 3,900 metros. Estas qochas estaban interconectadas mediante pequeños canales para dirigir el exceso de agua de una a otra (Morales, 2007).

En Ecuador, se han implementado métodos tradicionales para el cuidado y la conservación del agua, especialmente en áreas rurales donde es escasa la disponibilidad de agua potable. Debido a esta situación, se han buscado diversas medidas y alternativas para obtener este recurso vital (Delgado Espinoza, 2017). Algunas de las alternativas exitosamente aplicadas son: "jaguey" (albarrada), "tape" (dique artesanal), camellones, cocha, tajamares, pata de pájaros. Ubicadas en lugares como Manglaralto, Valdivia, Olón, Libertador Bolívar, Zapotal, Catacocha, Palta y Loja (Durán et al., 2020).



*Ilustración 1 - 2. Persona parada junto a albarrada artesanal. Obtenida de: Redagrícola.*

### **2.3. Tapes o diques**

Los tapes, tapes técnico-artesanal o diques artesanales son estructuras utilizadas comúnmente para almacenar agua y permitir su infiltración hacia los acuíferos subterráneos en zonas donde existen ríos efímeros y acuíferos de manera subterránea (Herrera-Franco, 2020). Los tapes artesanales son reconocidos por utilizar materiales de la zona y los habitantes de los sectores los construyen, ya sea con un diseño obsequiado por alguna ONG o universidad para el desarrollo de la comunidad. De esta manera los diques artesanales tienen un costo bastante bajo, dado que no se considera utilidad alguna. Este precio se mantiene bajo, siempre y cuando cuenten con los planos

de construcción y las cantidades de obra exacta para evitar comprar de más o pérdidas de materiales.

Estos diques también tienen la finalidad de prevenir inundaciones, sobre todo cuando existen poblados y cultivos a los alrededores del río y ya han sufrido la creciente del río y posteriormente largas sequías. Otra finalidad de los diques es la de controlar la erosión del suelo y el control de sedimentos, dado que estos se almacenarán debajo del dique y pueden ser removidos en época seca con mayor facilidad. En las zonas costeras, en las cuales el río desemboca con el mar, se construyen tapes con la finalidad de servir como una barrera protectora y a su vez reducir la salinidad en el agua del río.

Otro uso menos común es el de actividades recreacionales o estética del paisaje, ya que los pobladores aprovechan la nueva llanura de inundación para bañarse en ella, así como disfrutar a los alrededores, lo cual incrementa el turismo y la economía de los habitantes de las zonas aledañas.



*Ilustración 2-1. Caída de agua en un dique.*

Existen varios tipos de diques:

**Dique de tierra:** Es un tipo de dique construido con materiales como tierra, roca o grava, que se amontonan en una zona determinada para contener el agua. Son comunes en zonas rurales y en proyectos de irrigación (Sánchez-Martín et al., 2020). Este tipo de opción es la más económica, dado que se construye utilizando la tierra y los materiales de construcción existentes alrededor de la zona de construcción, como rocas, arcilla y grava de diferente tamaño; es muy importante una capa de impermeabilizante para evitar las filtraciones y la tierra se humedezca. La compactación de la tierra es muy importante de realizar, dado que este proceso permite consolidar la tierra y evitar que el agua entre por las partículas de espacio entre la tierra. Por esto su costo de mantenimiento será mayor y necesita mayor atención para evitar que en corrientes altas el agua vaya llevando poco a poco la tierra del dique, razón por la cual se debe inmediatamente volver a colocar tierra y compactar apenas se observe desprendimiento de material en el dique.



*Ilustración 1 - 3. Dique de tierra. Imagen obtenida de: Dreamstime.*

**Dique de enrocado:** Es un tipo de dique construido con piedras de diferentes tamaños ubicadas estratégicamente, las cuales se colocan de forma precisa para formar una barrera estructural de protección fluvial y costera. Estas rocas de gran tamaño permiten absorber la energía del agua para proteger el embalse. Son comunes en zonas costeras y en proyectos de protección contra la erosión costera o de desviación del cauce del río para evitar la sedimentación en zonas específicas (Blodgett & Mcconaughey, 1986). Pese a su forma rígida, estos diques son considerados estructuras flexibles por su capacidad de adaptación a los movimientos del agua y a su vez la resistencia al embate de las olas.

Como medida de prevención a la erosión interna pueden incluir capas de geomembrana o geotextil, de esta manera se evita la filtración del agua hacia el dique y su deterioro. El costo de mantenimiento y operación de estos diques es elevado porque de manera periódica se debe acomodar las rocas desplazadas por la fuerza del agua, olas o viento, de tal manera que refuercen las áreas debilitadas.



*Ilustración 1 - 4. Excavadora trabajando en la construcción de dique enrocado. Imagen obtenida de: Gobernación de Perú.*

**Dique de concreto:** Es una estructura sólida construida utilizando hormigón reforzado. El concreto es un material duradero y resistente que se vierte en moldes o encofrados para formar la estructura del dique. Puede ser armado con barras de acero para proporcionar mayor resistencia y estabilidad. Los diques de concreto son robustos y pueden soportar grandes presiones del agua. Son utilizados para la protección contra inundaciones, el control del flujo del agua y el almacenamiento del agua en embalses (Brown, 2017).

Estos diques se reconocen por su alta resistencia y durabilidad, los cuales pueden llegar a tener un tiempo de servicio de alrededor de 40 años si se le da el mantenimiento adecuado, retirando los sedimentos que se acumulan en los taludes.



*Ilustración 1 - 5. Dique de Manglaralto. Imagen tomada por el autor.*

Algunos otros tipos de diques son: móviles, de mampostería y de sacos. Cabe recalcar que, para lograr una recarga efectiva del acuífero, y la selección del tipo de dique es fundamental considerar tanto los criterios técnicos como los aspectos de sostenibilidad durante el diseño de este.

#### **2.4. Análisis de frecuencia**

En el campo de la hidrología, muchos fenómenos extremos no pueden predecirse con precisión y con suficiente anticipación, basándose únicamente en información determinista, lo que dificulta la toma de decisiones adecuadas frente a su ocurrencia. En tales casos, se requiere un enfoque probabilístico que permita incorporar los efectos de estos fenómenos en las decisiones (Álvarez et al., 2016).

Si asumimos que las ocurrencias son independientes en el tiempo, es decir, que el tiempo y la magnitud de un evento no están relacionados con eventos anteriores, entonces podemos utilizar el análisis de frecuencias para describir la probabilidad de cualquier evento o combinación de eventos durante el período de tiempo necesario para tomar una decisión (Cunnane & Bengtsson, 1990). Los fenómenos hidrológicos que generalmente se describen mediante el análisis de frecuencias son las precipitaciones y las crecidas anuales máximas, además se puede aplicar en diferentes variables hidro-climáticas, como: caudales, niveles, precipitaciones, etc. (Chow, 1994).

#### **2.5. Prueba de bondad de ajuste y Kolmogorov- Smirnov**

Esta prueba fue desarrollada por Andrey Kolmogorov y Nikolai Smirnov y se utiliza para evaluar la bondad de ajuste de un conjunto de datos basado en una función de distribución de probabilidad teórica. (Vance W. Berger, 2014)

La prueba consiste en convertir una lista de datos en una distribución acumulada, para luego calcular la diferencia entre dos funciones de distribución acumulada (Raul H.C. Lopes, 2007). Esto puede representarse de la siguiente manera, ver ecuación 2.1:

$$(2.1) D_{KS} = \max|F(x) - P(x)|$$

Donde:

$D_{KS}$  = Estadístico de Kolmogorov-Smirnov

$F(x)$  = conjunto de datos dado

$P(x)$  = función de distribución acumulada

Esta prueba es muy útil cuando se tienen muchas distribuciones estadísticas y se desea saber cuál es la que mejor se ajusta.

## **2.6. Diagrama Unitario del Sistemas de conservación de suelos (SCS)**

El diagrama unitario del SCS es una representación gráfica de la respuesta hidrológica de una cuenca ante una precipitación. Se basa en la idea de que la forma del hidrograma de escorrentía resultante es similar para diferentes eventos de precipitación, independientemente de su magnitud (Herrmann & Bucksch, 2014). Este demuestra la distribución temporal de la escorrentía en función del tiempo, desde el inicio de la lluvia hasta que la cuenca vuelve a su estado de equilibrio.

Se utiliza para analizar y diseñar sistemas de drenaje, control de inundaciones y manejo de recursos hídricos en una cuenca. Permite entender cómo la precipitación se convierte en escorrentía y cómo la cuenca responde hidrológicamente a diferentes eventos de lluvia (Cooley, 2013).

## **2.7. Método de abstracción del Servicio de Conservación del Suelo (SCS)**

El método de abstracción del SCS se basa en la idea de que la escorrentía generada por una lluvia tiene dos componentes principales: la escorrentía directa (direct runoff) y la escorrentía base (base flow). La escorrentía directa se produce cuando la capacidad de infiltración del suelo está saturada y el agua no puede infiltrarse, generando un flujo directo hacia los cuerpos de agua (Yin et al., 2022). La escorrentía base, por otro lado, es la contribución constante de agua proveniente de fuentes subterráneas, como acuíferos, que mantiene un flujo de agua constante en los cursos de agua, incluso en ausencia de precipitación (Cronshey et al., 1985).

El método de abstracción del SCS utiliza el concepto de "curva de abstracción" para representar la relación entre la precipitación neta (precipitación total menos la pérdida por evaporación y transpiración) y la escorrentía directa. Esta curva de abstracción se deriva de datos y observaciones empíricas; permite estimar la cantidad de escorrentía directa generada por una lluvia en función de la precipitación neta (Yin et al., 2022).

## 2.8. Criterios de modelación

Para diseñar un tape o dique, se necesitan varios datos importantes que incluyen entre otros, los siguientes:

**A.- Ubicación:** Se necesita conocer la ubicación exacta donde se construirá el tape o dique, esto incluye las condiciones climáticas de la zona, la topografía del terreno y la cercanía a cuerpos de agua.

**B.- Altura del nivel de agua:** Es importante conocer la altura del nivel de agua que se espera en el lugar donde se construirá el tape o dique (Santos et al., 2008). Esto es fundamental para determinar la altura y la capacidad de retención que debe tener el tape o dique. Las abreviaciones utilizadas en relación con los diferentes niveles de referencia en un dique o estructura hidráulica se indican a continuación y se pueden observar en la ilustración 2.1:

- a. Nivel de Desplante (**ND**): Corresponde al nivel de la superficie de contacto de la cimentación de la estructura con el suelo o roca. En el caso de superficies de contacto inclinadas, corresponde al nivel mínimo.
- b. Nivel de la Solera del Cauce (**NSC**): Es el nivel natural del fondo del río determinado en el período de diseño o construcción, y puede ser variable debido a las condiciones de lecho móvil.
- c. Nivel Muerto (**NVM**), (**NAMIN**): Corresponde al nivel más bajo de una posible descarga de agua del dique. Limita el volumen muerto del embalse, destinado a la acumulación de sedimentos durante la vida del dique.
- d. Nivel Mínimo de Operación (**NMinO**), (**NAMINO**): Es la superficie más baja que garantiza el funcionamiento normal de las estructuras de servicio construidas en el dique, como la toma de agua para una central hidroeléctrica. Es el límite inferior del volumen útil u operativo.

e. Nivel Máximo Normal de Operación (**NMN**), (**NAMO**): Corresponde a la superficie en la cual el embalse está lleno. Es el nivel máximo que puede alcanzar el embalse en su condición de operación normal y también se le llama Nivel de Aguas Máximas de Operación.

f. Nivel Máximo de Proyecto (**NMP**): Corresponde al nivel máximo del embalse determinado por un caudal máximo establecido en el estudio hidrológico para un período de retorno específico. Se utiliza para el diseño de las obras de excedencia y el dimensionamiento de las estructuras de crecidas.

g. Nivel Máximo Extraordinario (**NAE**), (**NAME**): En condiciones hidrológicas extremas, puede presentarse una avenida igual o superior a la del proyecto. El nivel alcanzado por esta crecida se utiliza para comprobar el funcionamiento de las estructuras de descarga en condiciones excepcionales.

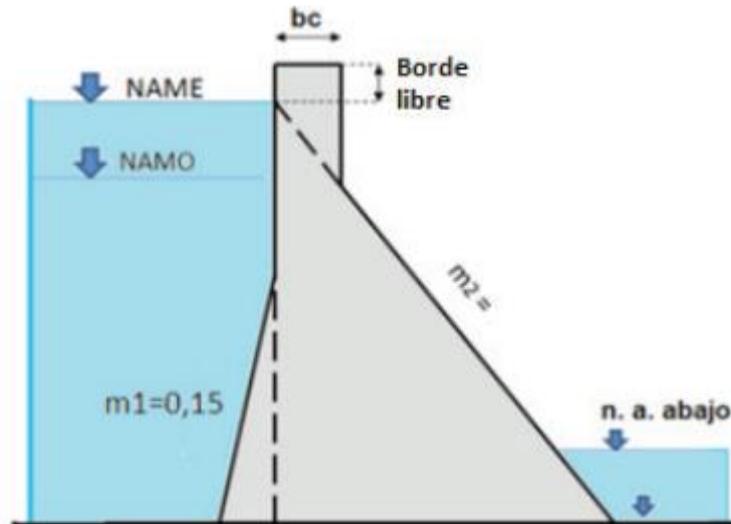


Ilustración 2-2 Niveles de agua en un dique

**C.- Tipo de suelo:** Es importante conocer el tipo de suelo en el que se construirá el tape o dique, ya que esto afectará la estabilidad de la estructura. Se debe determinar la capacidad portante del suelo y la posible presencia de agua subterránea (Flores Berenguer et al., 2022).

**D.- Caudal del río:** la función del dique es contener un río, entonces, es necesario conocer su caudal, porque afectará la capacidad de retención del tape o dique (Lonin, 2001).

**E.- Viento:** Se debe investigar si es una zona propensa a fuertes vientos, ya que es importante tener en cuenta la resistencia del tape o dique a las fuerzas del viento.

**F.- Materiales:** Se deben seleccionar los materiales adecuados para construir el tape o dique, según las condiciones específicas del lugar y las necesidades del proyecto.

**G.- Geometría del dique:** se refiere a las características físicas que describen la forma, estructura y disposición del dique en un proyecto de ingeniería hidráulica. Esto incluye elementos como: corona, talud, bermas, etc. Para establecer la geometría del dique, se emplearán las fórmulas presentadas en el texto "Diseño de Obras Hidro-técnicas" (Sandoval, W. 2018). Las pautas esenciales para el diseño de diques de hormigón a gravedad se encuentran especificadas en los documentos EM 1110-2-2200 del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US ARMY CORPS) de 1995, así como en la norma rusa SP 40.13330.2no012 publicada en 20121, incluyen entre otras las siguientes:

**a.- Cota de base:** Es la elevación o altura del nivel del suelo sobre el cual se construye el dique.

**b.- Cota de corona:** Es la elevación o altura de la parte superior del dique, la cresta o cima.

**c.- Ancho de corona:** Es la medida horizontal entre las partes más exteriores de la parte superior del dique.

Al examinar la dimensión del ancho en la parte superior de varios diques construidos con hormigón en todo el mundo, se ha observado que el ancho de esta sección, representado como  $B_c$ , generalmente oscila entre el 6% y el 12% de la altura total del dique ( $H$ ). Sin embargo, en situaciones donde los diques se construyen en áreas propensas a terremotos, en ocasiones se recomienda un porcentaje mayor de ancho de corona. Para facilitar una estimación preliminar, se puede emplear la siguiente ecuación para calcular el ancho de la corona de un dique de hormigón:

$$\text{Ecuación 2.2 } B_c = 1,6H^{0,315}$$

**d.- Talud aguas arriba y aguas abajo:** Son las inclinaciones de las superficies del dique, expresadas como la relación entre la distancia vertical y la horizontal. El talud aguas abajo generalmente es más empinado que el talud aguas arriba. (Nedrigi, 1983) propone la tabla 2.1 en función de la altura del dique para establecer la inclinación de los taludes

*Tabla 2-1 Tabla para establecer la inclinación de los taludes*

<b>ALTURA DEL DIQUE</b>	<b>TALUD AGUAS ARRIBA</b>	<b>TALUD AGUAS ABAJO</b>
H < 5	2.0 – 2.5	1.5 – 1.75
5 < H < 10	2.25 – 2.75	1.75 – 2.25
10 < H < 15	2.5 – 3.0	2.0 – 2.25
15 < H < 50	3.0 – 4.0	2.5 – 4.0
H > 50	4.0 – 5.0	4.0 – 4.5

**e. Altura del dique**

La altura de un dique se establece según los volúmenes del embalse y la altura de la ola que puede generarse con niveles operativos y extremos. Esta altura de ola se relaciona con la velocidad del viento y la distancia de recorrido crítico llamada "Fetch". Para calcularla se necesita conocer la forma del espejo del embalse y evaluar diferentes recorridos del viento (D1, D2 y D3) con sus respectivas velocidades (w1, w2 y w3) basadas en la rosa de los vientos. Esta velocidad se estima a una altura de 10 metros. El borde libre, que establece la altura del dique, se determina mediante la ecuación:

$$(2.3) \quad bl = h + a$$

Donde:

h: es la altura de la ola sobre el lado aguas arriba

a: es la altura mínima de seguridad, según la categoría del dique.

Para presas de hormigón, los valores típicos son: I categoría = 0,8 m; II categoría = 0,6 m; III y IV categoría = 0,4 m.

Para calcular "h", la ecuación de Seville (1957) se recomienda:

$$(2.4)h = 0.005124 * D^{0.47} * W^{1.06}$$

Para la construcción de estructuras con taludes verticales, especialmente presas de hormigón, es recomendable usar la ecuación de Labzovkiy, N., citada por Nedrigi (1983). La velocidad del viento y el Fetch son diferentes para los niveles normales y extremos del embalse, asumiendo que la máxima velocidad del viento no coincidirá con una crecida.

### **Fuerzas que actúan en un dique**

Todas las construcciones hidráulicas, incluyendo los diques, se encuentran en constante interacción con el agua, lo que resulta en fuerzas de naturaleza física, química y biológica. En este proyecto, se abordarán únicamente las fuerzas físicas. Por ejemplo, la carga hidráulica (presión), que originan fuerzas tales como la subpresión, el empuje ascendente y las deformaciones en la base debido a la filtración.

Cuando las estructuras hidráulicas están expuestas a flujos de agua de alta velocidad, surgen otros fenómenos adicionales que requieren consideración, en particular el fenómeno conocido como cavitación, el cual ha causado daños en algunas obras hidráulicas. Si el agua contiene partículas sólidas en suspensión o arrastre (sedimentos), estas partículas ejercen un efecto abrasivo sobre la superficie de los materiales que componen las estructuras, lo que conlleva a la necesidad de incorporar una capa adicional para contrarrestar el desgaste. Alternativamente, se puede optar por el uso de materiales más resistentes, como el acero, para proteger la superficie contra la abrasión.

En el caso de estructuras con una longitud de corona que es suficientemente larga, es decir,  $L \geq 3H$ , el cálculo puede realizarse considerando una sección de un metro de ancho o incluso tomando en cuenta toda la estructura en conjunto. Esto se aplica especialmente a los diques, que se dividen en bloques separados por juntas constructivas o de dilatación, que suelen tener una longitud de entre 10 y 20 metros, o incluso más.

Por otro lado, cuando se trata de diques con secciones de cierre más estrechas, donde  $L < 3H$ , es posible que sea necesario analizarlas como una única entidad sin dividir las en bloques.

Las fuerzas ejercidas por la presión del agua se representan con la letra **W** y tienen subíndices que indican su origen. Aunque las flechas señalan direcciones posibles, en cada caso puede haber otras fuerzas y direcciones a considerar. Bajo el dique, hay dos fuerzas en juego: **E**, que es el empuje ascendente generado cuando parte del volumen del dique está sumergido, y **Wf**, que corresponde a la subpresión.

La fuerza **Wa** surge debido a la existencia de sedimentos (como partículas sólidas arrastradas por el agua) en el embalse, justo al frente. Esta fuerza es variable en el tiempo, comenzando desde cero al principio y llegando a ser máxima al final de la vida útil de la estructura.

Además, existen las fuerzas **P1** y **P2**, que provienen del impacto de las olas en la cara de aguas arriba del dique, y en algunos casos, estas fuerzas pueden ser bastante significativas.

La fuerza **S** representa la carga sísmica, que tiene componentes horizontales y verticales. En los análisis de la estructura, se asume que esta fuerza actuará en la dirección que sea menos favorable para la seguridad de la construcción.

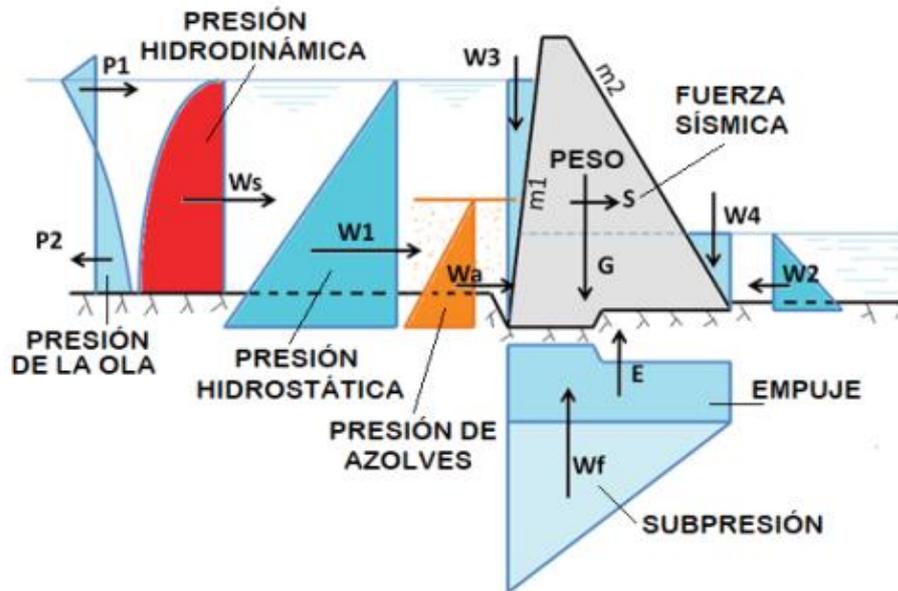
La fuerza **Ws** se origina debido al movimiento oscilante del agua sobre la superficie de la estructura durante un terremoto, lo que da lugar a una presión hidrodinámica, como se observa en la ilustración 2.2.

Seguendo la Norma SP.58.13330.2012 (2013), las cargas en una estructura hidráulica pueden dividirse en tres categorías:

1. **Cargas Permanentes:** son aquellas que permanecen presentes durante toda la vida útil de la estructura, incluyendo la fase de construcción y operación.
2. **Cargas Temporales:** se presentan en determinados periodos durante la construcción u operación. Esto incluye cargas de largo plazo (como las térmicas y los sedimentos) y cargas de corto plazo (como las causadas por el impacto de olas, grúas, transporte, choques de objetos flotantes, golpes de ariete, vibraciones por descargas, etc.).
3. **Cargas Accidentales o Extremas:** se incluyen situaciones excepcionales como terremotos, condiciones térmicas extremas y mal funcionamiento de drenajes o equipos.

A continuación, se explica cómo se determinan las principales cargas que actúan sobre un dique y cómo se combinan.

Ilustración 2-3 Fuerzas ejercidas sobre un dique



### Peso propio

La carga de peso propio se concentra en el centro de gravedad y surge debido a la forma y al peso del material de la estructura. Se suele considerar un peso volumétrico del hormigón,  $\gamma_h = 2,4 \text{ t/m}^3$ . Hoy en día, con el uso de software especializado, es bastante sencillo calcular áreas, volúmenes y centros de gravedad de cualquier estructura, por más compleja que sea. Además del peso de la propia estructura, también se deben sumar los pesos permanentes de otros elementos como compuertas, mecanismos, equipos, puentes, torres y transformadores.

### Presión del agua

Se llevó a cabo un análisis triangular para evaluar la presión hidrodinámica, la presión de las olas, la presión de los sedimentos y la presión hidrostática. En este análisis, la fuerza se calculó multiplicando el área por la presión en el centroide del plano formado. La fuerza se encuentra en el centro de presiones y se adapta al área del triángulo, multiplicada por  $2/3$  del ancho de la dovela, y se sitúa a lo largo de la superficie del agua.

$$W_i = \gamma \frac{H^2}{2} b$$

H = profundidad del agua hasta la cimentación del dique

B = ancho de la dovela asumida para el cálculo

## Fuerza de subpresión

Para el cálculo de la subpresión fue necesario identificar el coeficiente de filtración según el tipo de suelo de la zona.

Tabla 2-2 Coeficientes de filtración de varios suelos (Zhuravliov, 1979)

NOMBRE DEL SUELO	COEFICIENTE DE FILTRACIÓN	
	cm/s	m/día
Grava lavada	> 0.1	> 80
Arena gruesa	0.1 a 0.2	80 a 17
Arena fina	0.05 a 0.01	40 a 8
Arena arcillosa	0.002 a 0.001	4 a 0.8
Marga arenosa suelta	0.005 a 0.001	1.5 a 0.08
Marga arenosa compacta	0.0005 a 0.0001	4 a 0.8
Limo	< 0.0001	< 0.08
Arcilla	< 0.000001	< 0.0008

Para determinar la altura de la ola se utilizó las ecuaciones en las que se ingresa la velocidad del viento y el Fetch. Se procede a calcular los coeficientes:

$$(2.5) \beta = \frac{1}{9 + 19 * e^{-\frac{14}{W}}}$$

$$(2.6) k = 1 + e^{-0.4 * \frac{D}{W}}$$

## **2.9. Diseño estructural**

Después de realizar el pre-dimensionamiento de las distintas partes de cada elemento del dique, es fundamental llevar a cabo una verificación exhaustiva para asegurar que cumplan con los requisitos de estabilidad relacionados con el deslizamiento, el volcamiento y la resistencia, como es típico en este tipo de obras de ingeniería.

En el caso de evaluar la estabilidad al deslizamiento del dique, es esencial considerar las diversas superficies potenciales a lo largo de las cuales podría ocurrir dicho deslizamiento. Esto involucra tener en cuenta los estratos que constituyen el suelo subyacente, así como el comportamiento general de la estructura. Para los diques construidos sobre suelos, se deben contemplar tres escenarios posibles de superficies de deslizamiento: horizontal, inclinada y circular.

## **2.10. Otros criterios por considerar**

### **Cálculo de volúmenes de almacenamiento**

Haciendo uso de las curvas de nivel procesadas con un software de sistemas de información geográfica, se relacionó la cota del embalse con el área de inundación o espejo de agua para así obtener el volumen aproximado de almacenamiento del dique.

$$V = A * \Delta H$$

Donde:

A: área de inundación

$\Delta H$  = variación de elevación

### **Vida Útil de la obra**

Brune (., 2015) relaciona la eficiencia de retención de sedimentos (E) con varios parámetros, como la capacidad del reservorio (C), el área de la cuenca que aporta al dique (A) y un valor adimensional (k) que depende del tipo de sedimento. Esta ecuación proporciona una forma de estimar la eficiencia de retención de sedimentos en función de las características del dique y la cuenca.

$$(2.7) E = 1 - \frac{1}{1 + k * \frac{C}{A}}$$

La ecuación de Mohammad (Peng et al., 2010) describe cómo se depositan los sedimentos en el tiempo, teniendo en cuenta la capacidad inicial y final del reservorio (C y C\_0), el peso promedio del sedimento en un año (G), la eficiencia de retención de sedimentos (E), la densidad promedio del sedimento ( $\bar{\gamma}$ ) y el tiempo en alcanzar la capacidad final ( $\Delta t$ ). Esta ecuación permite calcular cuántos sedimentos se acumularán en el dique a lo largo del tiempo.

$$(2.8) C - C_0 = G * E * \frac{\Delta t}{\bar{\gamma}}$$

## 2.11. Ensayos

Los siguientes ensayos son los recomendados en el diseño de diques para la determinar las propiedades físicas de los suelos (Correal et al., 2019):

- **Ensayo Granulométrico (ASTM D422):** Este ensayo analiza la distribución de tamaños de partículas en un suelo, identificando las proporciones de arena, limo y arcilla presentes (Figura, 2018). Es crucial para entender cómo el suelo se compactará y drenará, lo que afecta directamente la estabilidad del dique al determinar su capacidad de filtración y resistencia ante la erosión.
- **Límites de Atterberg (ASTM D4318):** Estos límites determinan la plasticidad y cohesión del suelo, incluyendo el límite líquido, límite plástico y límite de contracción (Llerena Bonilla, 2022). Ayudan a evaluar cómo el suelo se comportará ante la humedad y las variaciones en el contenido de agua, lo que es vital para predecir la expansión o contracción del suelo en respuesta a las condiciones climáticas y de carga, influenciando así la estabilidad del dique.
- **Ensayo Gravedad Específica (ASTM C127):** Este ensayo mide la densidad y la porosidad del agregado grueso, que podría ser utilizado en la construcción del dique. La gravedad específica proporciona información sobre la calidad del material y su capacidad para soportar cargas, así como su permeabilidad al agua (Universidad Centroamericana, 2001). Esto es fundamental para seleccionar el material adecuado para construir un dique resistente y duradero.
- **Ensayo triaxial (ASTM D-2850):** El ensayo triaxial evalúa las propiedades mecánicas del suelo bajo diferentes condiciones de esfuerzo (Salas, 2011). Permite comprender cómo el suelo responderá a las cargas aplicadas en distintas direcciones, lo que es esencial para diseñar el dique de manera que pueda soportar las tensiones generadas por la presión del agua y otros factores ambientales, manteniendo su estabilidad a largo plazo.

Estos ensayos son fundamentales para el diseño de un dique, ya que proporcionan información esencial sobre las propiedades del suelo y cómo reaccionará ante las fuerzas y condiciones ambientales. Al comprender cómo el suelo interactúa con el agua, la carga y otros factores, se puede diseñar un dique que sea seguro, resistente y capaz de proteger áreas circundantes de inundaciones y otros peligros.

## 2.12. Trabajos de campo y laboratorio

Los trabajos de campo se llevaron a cabo durante los meses abril y mayo 2023. Se ejecutó el levantamiento topográfico con la ayuda de un dron modelo Mavic 2 con el siguiente procedimiento:

1. Previo a la visita a campo se bosquejaba la ruta de vuelo y ubicaban puntos de control utilizando Google Earth Pro.
2. Se realizó el plan de vuelo en DroneDeploy.
3. Estando en el área de estudio se empleó el equipo RTK y cal para ubicar los puntos de control.
4. Al mismo tiempo se tomaron puntos en el cauce del río para conocer la batimetría.
5. Se procede a volar el dron con la aplicación DJI Go 4.



Se procesaron los datos obtenidos en campo mediante un “software” procesamiento de imágenes digitales georreferenciadas, en el cual se unieron las imágenes para formar un archivo TIF de cada día de levantamiento topográfico. Para la correcta unión y georreferenciación en altura, se colocaron los puntos de control exactamente donde se los tomó en campo. En este caso pudieron ser guiadas con unas cruces de cal puestas debajo de cada punto de control.

En otro “software” de sistemas de información geográficas se unieron los TIF de todos los días de toma de puntos en campo para obtener un solo DEM y ráster, el cual permitió obtener las curvas de nivel y presentar los siguientes mapas.

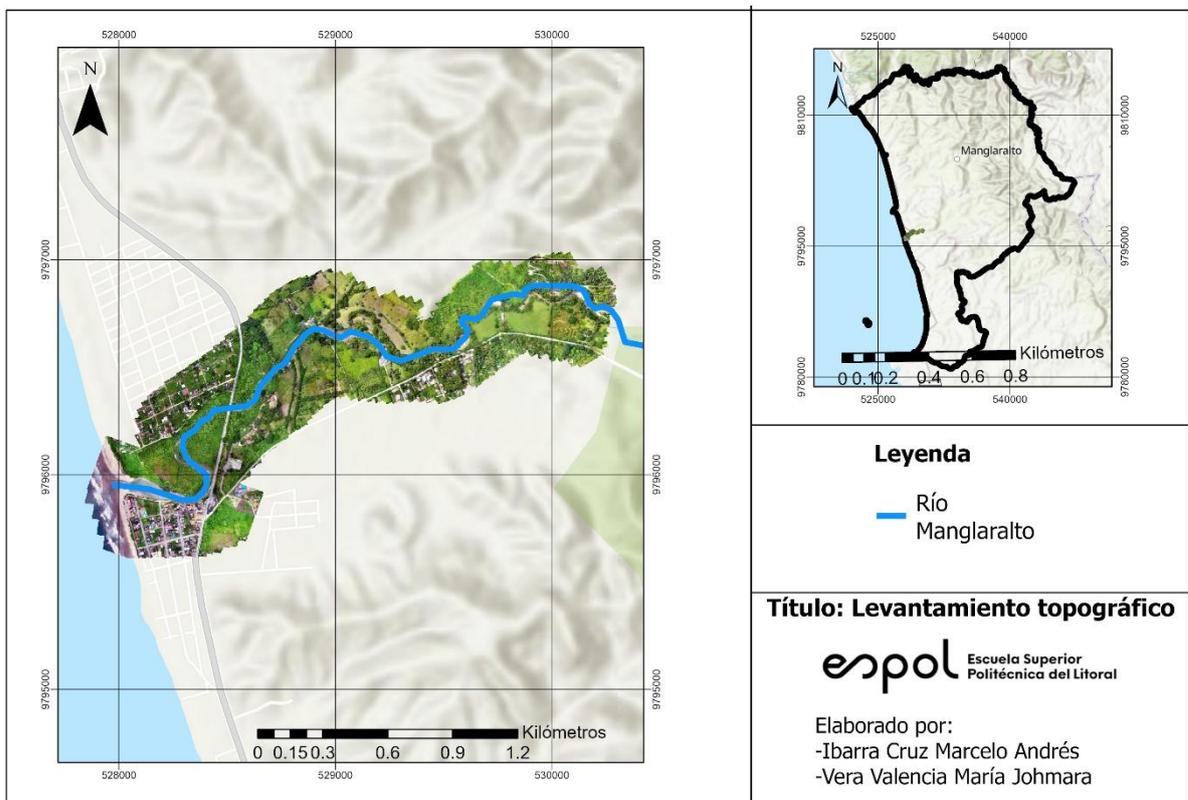


Ilustración 2-5. Orto mosaico del levantamiento topográfico en la parroquia Manglaralto.

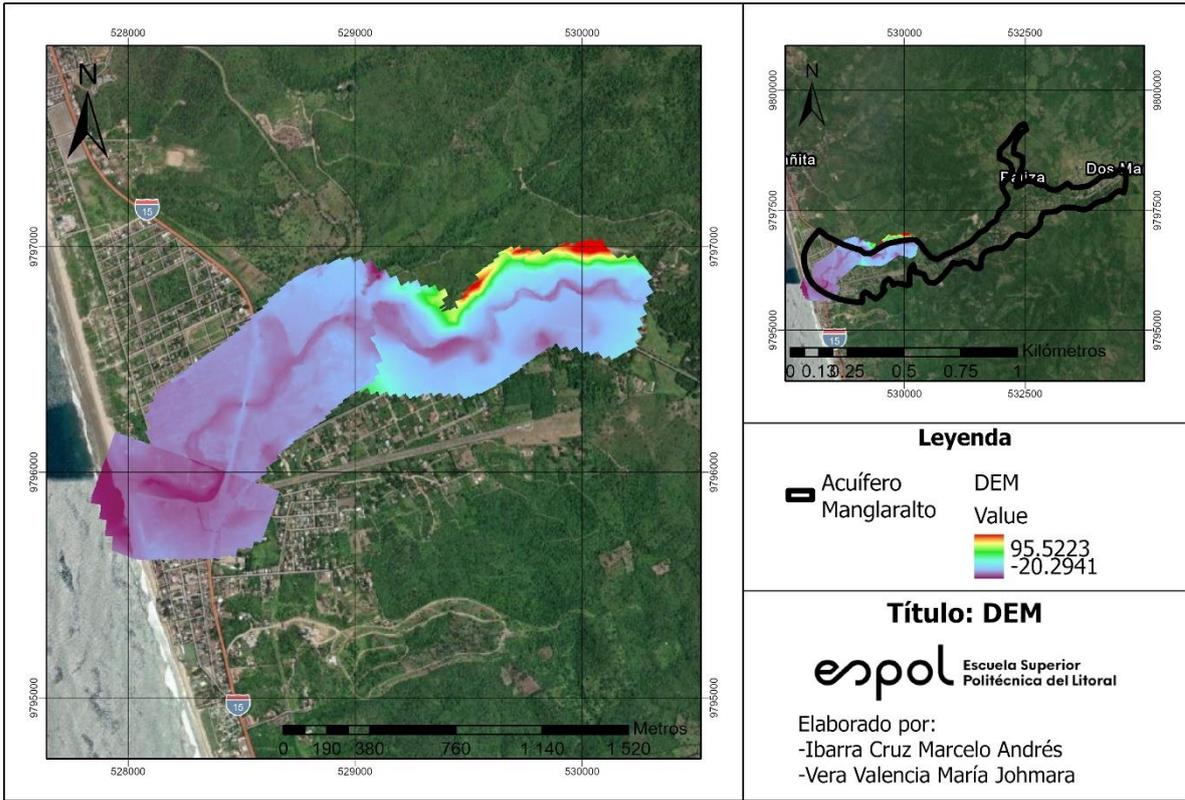
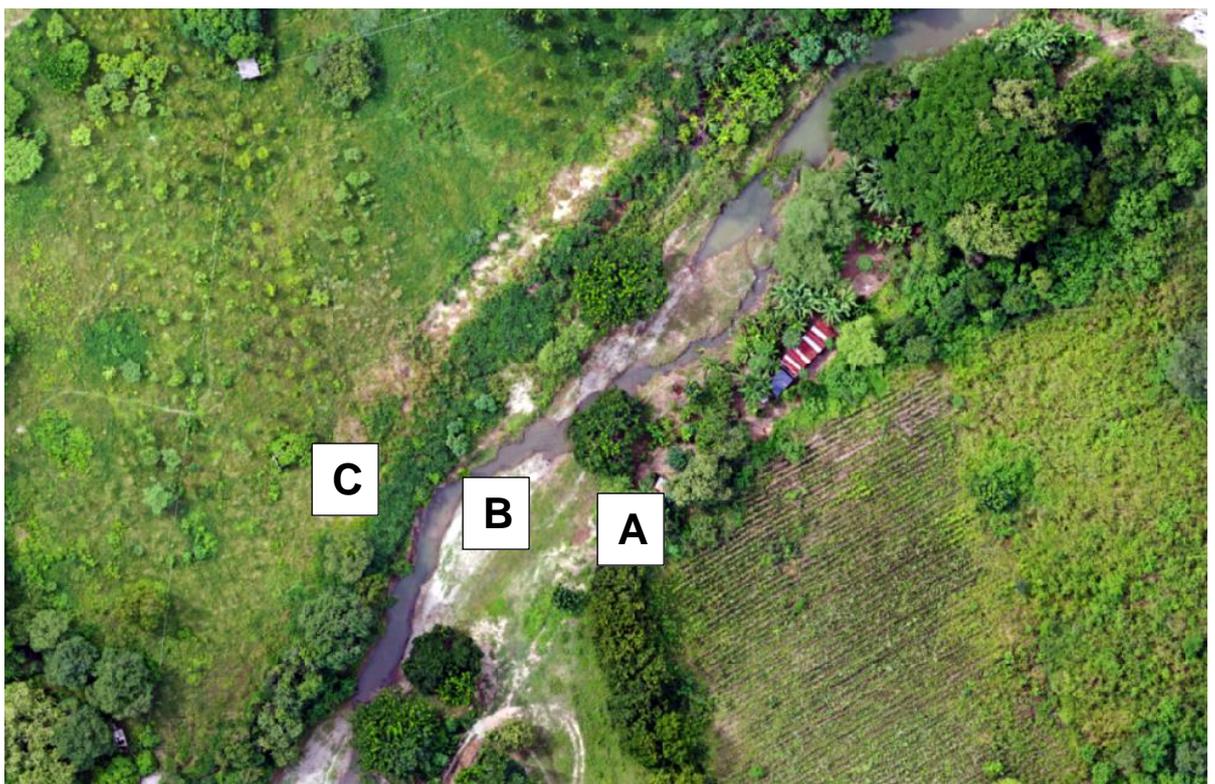


Ilustración 2-6. DEM procesado del levantamiento topográfico con el acuífero Manglaralto.

Para las tomas de muestras se decidió tomar las muestras en 3 puntos a diferentes profundidades. Los puntos fueron a la derecha del río, en el río y a la izquierda. Se tomó en estos puntos, dado que el dique tendrá una longitud de 45 metros y la llanura de inundación llegará hasta estos puntos, por lo cual se debe evaluar lo permeable del suelo para cumplir el objetivo de filtrar agua al acuífero y este se recargue.

En la siguiente imagen se muestra el detallado de las nomenclaturas utilizadas, de la parte derecha, central e izquierda del río.



*Ilustración 2-7. Sitio donde se tomaron las muestras del suelo.*

Tabla 2-3 Toma de muestras en la ubicación 1 y su profundidad

Relleno no tomado en cuenta.	Profundidad 0[m] a 0.35 [m]
A1	Profundidad 0.35[m] a 0.55 [m]
A2	Profundidad 0.55[m] a 0.75 [m]
A3	Profundidad 0.75[m] a 0.80 [m]

En la parte central, solo se tomó una muestra dado que esta se ubicada en el centro del río, lo cual se la denominó B1.

Tabla 2-4 Toma de muestras en la ubicación 2 y su profundidad

Relleno no tomado en cuenta.	Profundidad 0[m] a 0.25 [m]
C1	Profundidad 0.25[m] a 0.40 [m]
C2	Profundidad 0.40[m] a 0.65 [m]
C3	Profundidad 0.65[m] a 0.90 [m]

La cantidad de muestra tomada fue un saco por cada una de las 7 muestras. En el laboratorio se mezcló cada una de las muestras, se dividió en 4 partes de igual tamaño y una de esas cuatro partes fue secada 24 horas en el horno a 110°C. Una vez transcurrido ese tiempo y estando cada una de las muestras secas, fue cuarteada para dividir en dos partes de igual composición para los ensayos de granulometría y gravedad específica.

## Granulometría

Las cantidades de muestras utilizadas para los ensayos de granulometría fueron de:

$$A1 = 546[g]$$

$$A2 = 552.60[g]$$

$$A3 = 572.40[g]$$

$$B1 = 628[g]$$

$$C1 = 654.90[g]$$

$$C2 = 713.70[g]$$

$$C3 = 554.40[g]$$

La muestra fue lavada por 40 minutos para eliminar la mayor cantidad de arcilla y que esta no obstruya los tamices al momento de someter cada una de las muestras a la tamizadora. La cantidad de arcilla removida fue sumada al final al fondo de los tamices, donde se encuentran las arcillas y así pesarla de manera correcta.

En la tabla 2.5 se muestra el resultado de la masa retenida en gramos [g] en cada tamiz de cada muestra, después de haber pasado 2 minutos por la tamizadora.

*Tabla 2-5 Cantidad retenida en cada tamiz*

	A1	A2	A3	B1	C1	C2	C3
No. 4	165.29	217.98	241.87	490.06	330.06	340.08	340.13
No. 8	55.51	35.65	70.01	50.03	65.56	64	60.03
No. 16	45.36	39.69	49.57	24.91	53.52	51.12	37
No. 30	32.27	54.10	40.44	11.25	40.90	42.85	18.08
No. 50	32.28	65.33	40.55	7.36	29.50	37.41	11.49
No. 100	21.01	39.44	24.52	3.34	16.15	25.50	10.67
No. 200	53.87	22.12	25.55	4.89	10.23	19.53	8.58
Fondo	139.78	78.11	81.83	36.08	108.96	133.20	68.42

La suma de todos los tamices de cada una de las muestras dio un peso final de:

$$A1 = 545.37[g]$$

$$A2 = 552.42[g]$$

$$A3 = 572.34[g]$$

$$B1 = 627.92[g]$$

$$C1 = 654.88[g]$$

$$C2 = 713.69[g]$$

$$C3 = 554.40[g]$$

Estas son las masas después del lavado y de pasar por la tamizadora, lo que significa que existe una pérdida de material al ser transportada de envase a envase y esta pérdida o muestra de más se la denomina “error absoluto”. El error absoluto, dividido para la masa de muestra inicial se denomina “error relativo”. Para que sea un ensayo óptimo y aceptable, el porcentaje de error relativo debe ser menor a 0.3 %. El error absoluto y relativo se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$(2.9) \text{error absoluto} = |\text{masa inicial} - \text{masa final}|$$

$$(2.10) \% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$$

Por lo tanto, el cálculo de errores y comparación para la aceptación del ensayo de cada muestra queda de la siguiente manera:

Tabla 2-6 Error en la muestra A1

A1
$\text{error absoluto} =  \text{masa inicial} - \text{masa final} $ $\text{error absoluto} =  546[g] - 545.37[g] $ $\text{error absoluto} = 0.63[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0.63[g]}{546[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.1154 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.1154 \% < 0.3 \%$ <p>El ensayo es aceptado.</p>

Tabla 2-7 Error en la muestra A2

A2
$\text{error absoluto} =  \text{masa inicial} - \text{masa final} $ $\text{error absoluto} =  552.60[g] - 552.42[g] $ $\text{error absoluto} = 0.18[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0.18[g]}{552.60[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.0326 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.0326 \% < 0.3 \%$
El ensayo es aceptado.

Tabla 2-8 Error en la muestra A3

A3
$\text{error absoluto} =  \text{masa inicial} - \text{masa final} $ $\text{error absoluto} =  572.40[g] - 572.34[g] $ $\text{error absoluto} = 0.06[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0.06[g]}{572.40[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.0105 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.0105 \% < 0.3 \%$
El ensayo es aceptado.

Tabla 2-9 Error en la muestra B1

B1
$\text{error absoluto} =  \text{masa inicial} - \text{masa final} $ $\text{error absoluto} =  628[g] - 627.92[g] $ $\text{error absoluto} = 0.08[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0.08[g]}{628[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.0127 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.0127 \% < 0.3 \%$
El ensayo es aceptado.

Tabla 2-10 Error en la muestra C1

C1
$\text{error absoluto} =  \text{masa inicial} - \text{masa final} $ $\text{error absoluto} =  654.90[g] - 654.88[g] $ $\text{error absoluto} = 0.02[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0.02[g]}{654.90[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.0031 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.0031 \% < 0.3 \%$
El ensayo es aceptado.

Tabla 2-11 Error en la muestra C2

C2
$\text{error absoluto} =  \text{masa inicial} - \text{masa final} $ $\text{error absoluto} =  713.70[g] - 713.69[g] $ $\text{error absoluto} = 0.01[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0.01[g]}{713.70[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.0014 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.0014 \% < 0.3 \%$
El ensayo es aceptado.

Tabla 2-12 Error en la muestra C3

C3
$\text{error absoluto} =  \text{masa inicial} - \text{masa final} $ $\text{error absoluto} =  554.40[g] - 554.40[g] $ $\text{error absoluto} = 0[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0[g]}{554.40[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0 \% < 0.3 \%$
El ensayo es aceptado.

Una vez aceptados todos los ensayos, se procede a realizar la curva granulométrica de cada ensayo en Excel y así determinar la cantidad de grava, arena y arcilla en cada muestra, para clasificar el suelo y determinar si es posible realizar ensayo de Límites de Atterberg.

Las curvas granulométricas quedan de la siguiente manera:

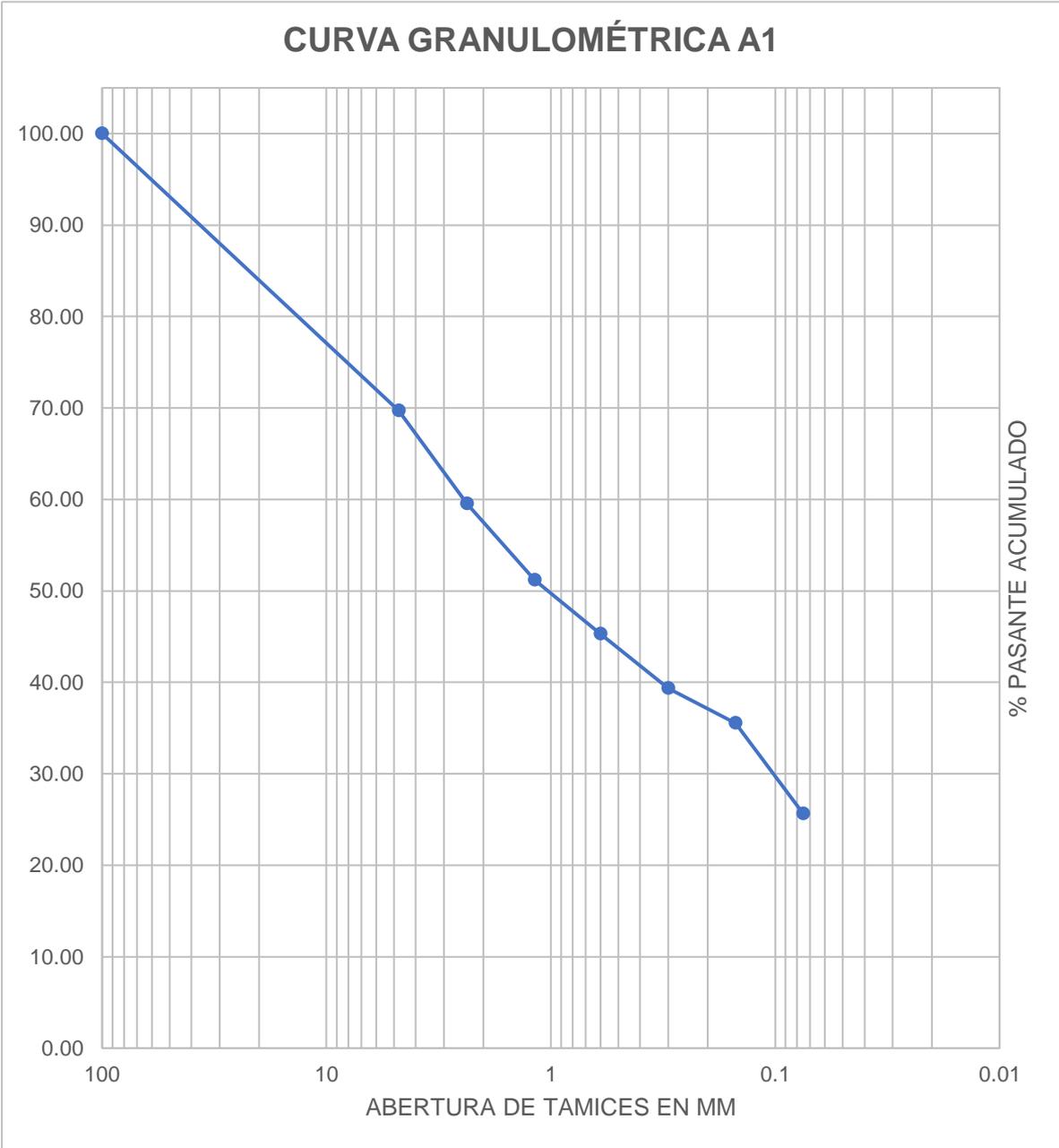


Ilustración 2-9 Curva granulométrica A1

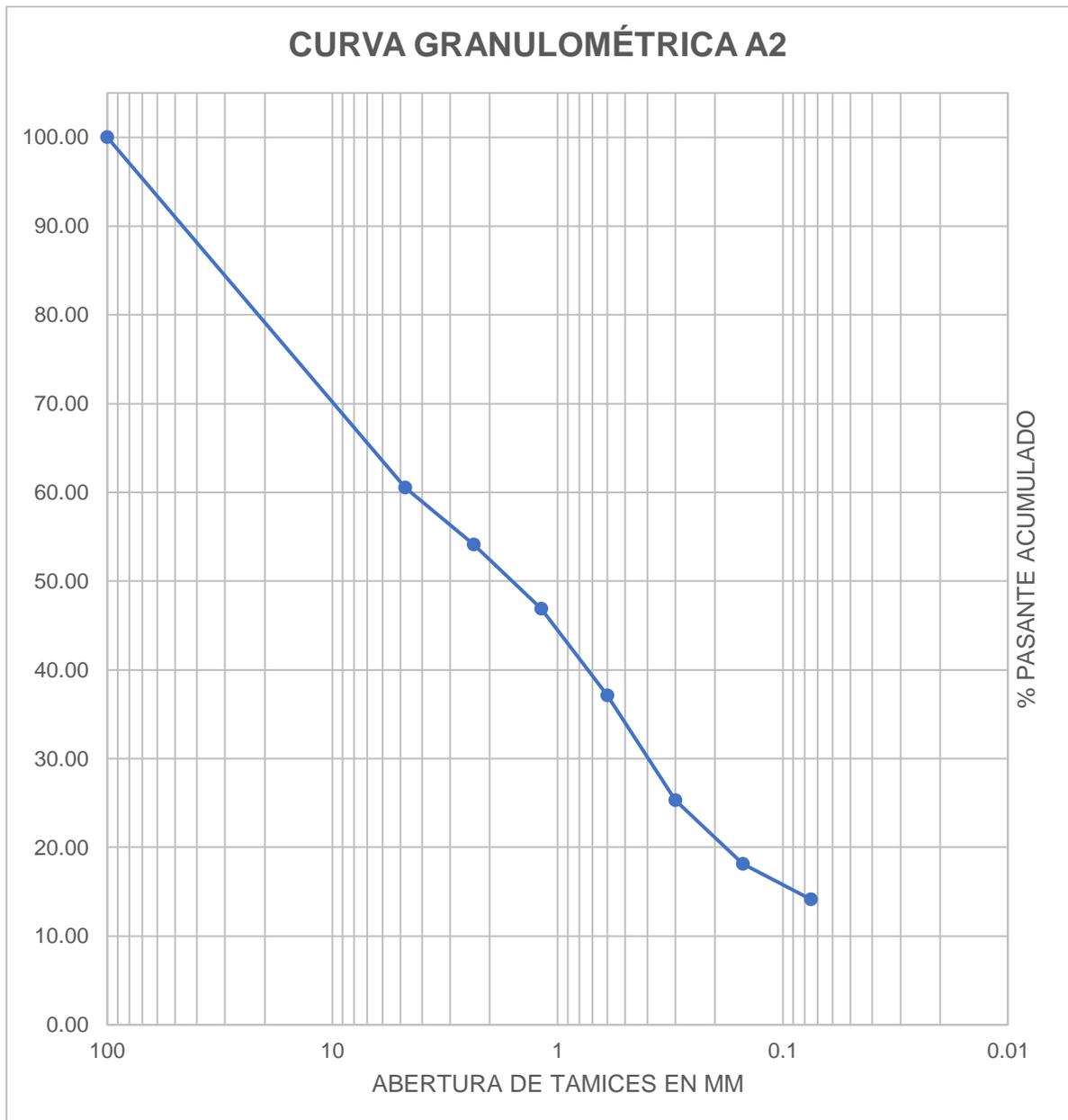


Ilustración 2-10 Curva granulométrica A2

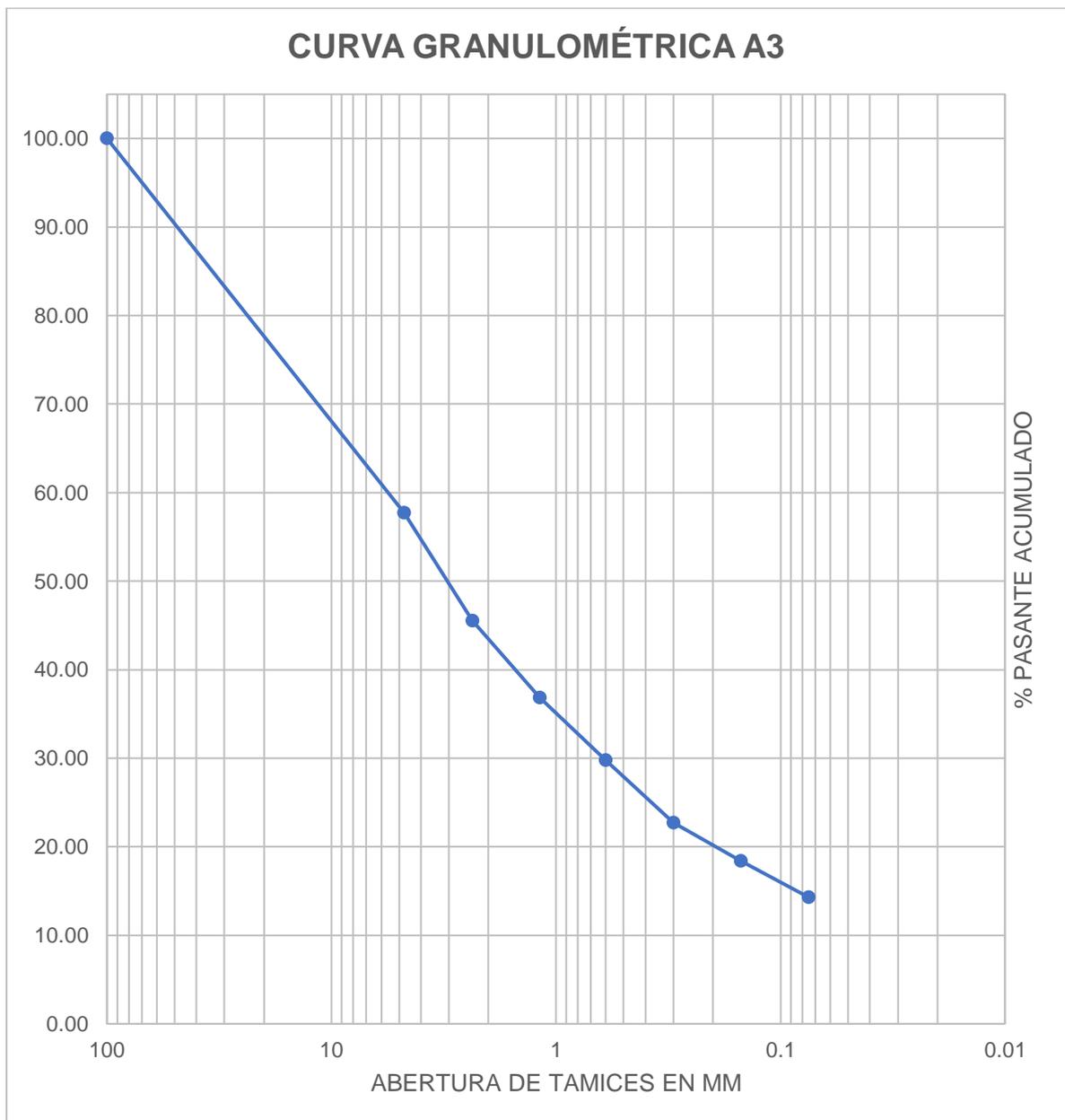


Ilustración 2-11 Curva granulométrica A3

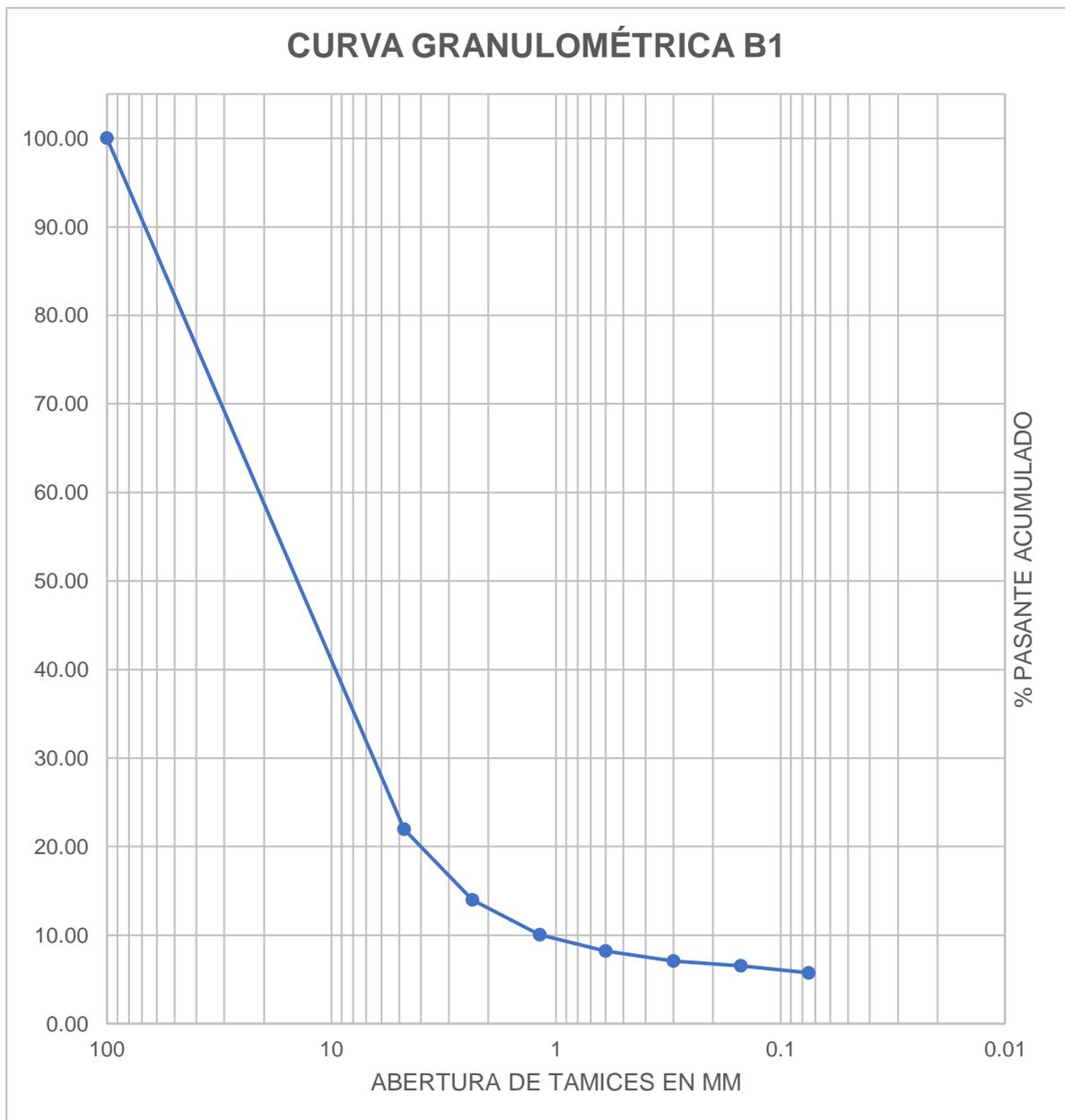


Ilustración 2-12 Curva granulométrica B1

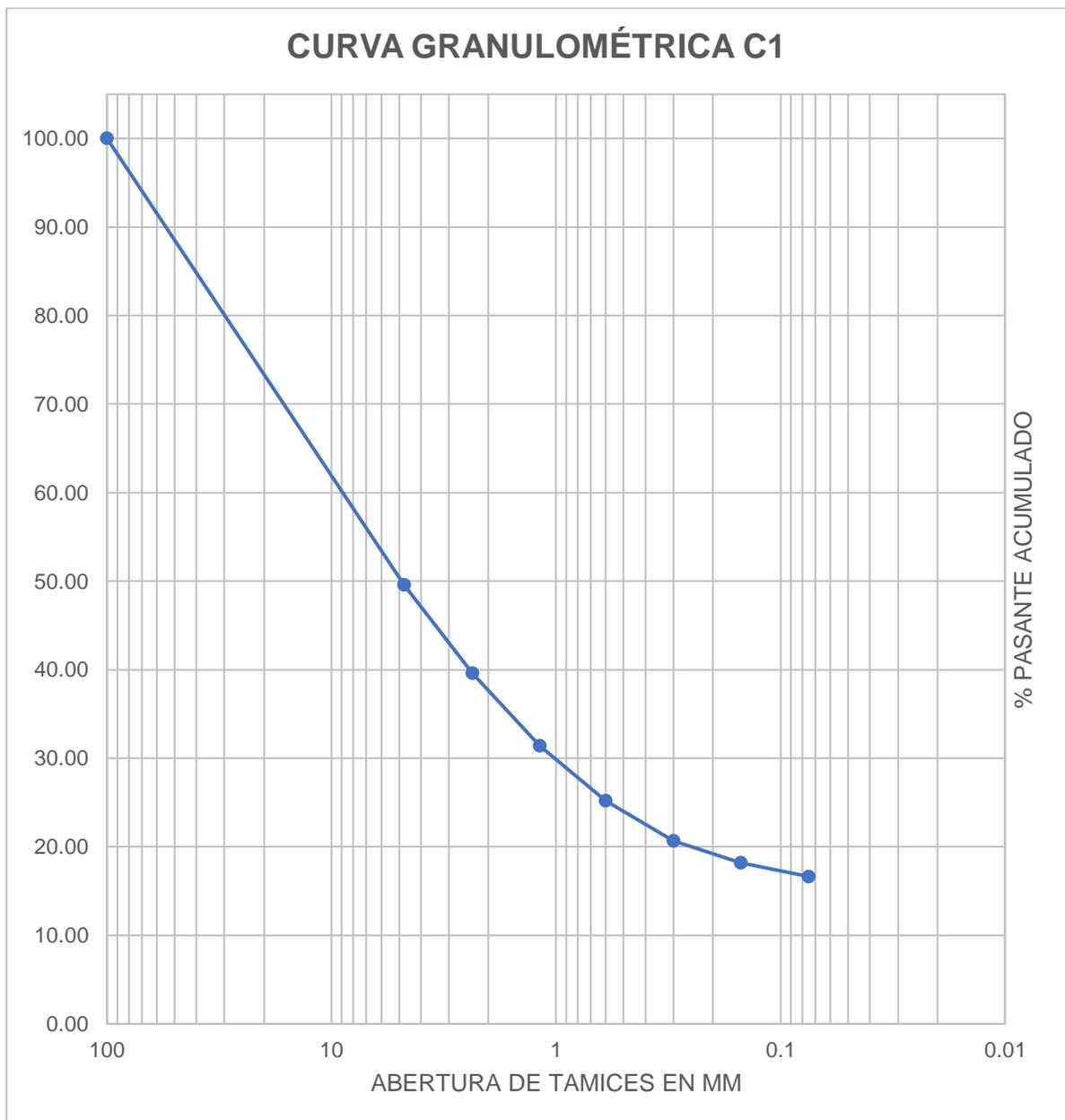


Ilustración 2-13 Curva granulométrica C1

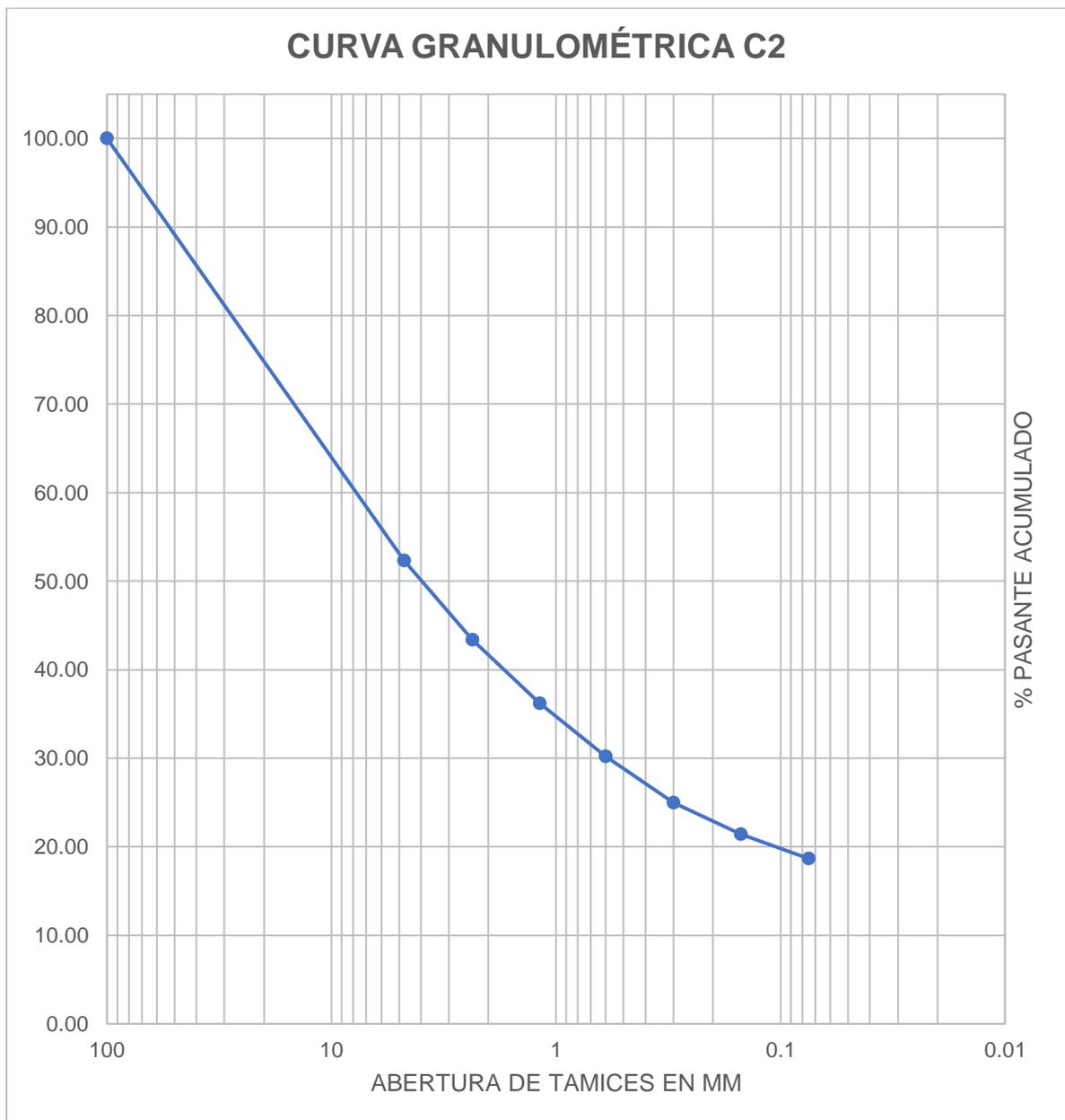


Ilustración 2-14 Curva granulométrica C2

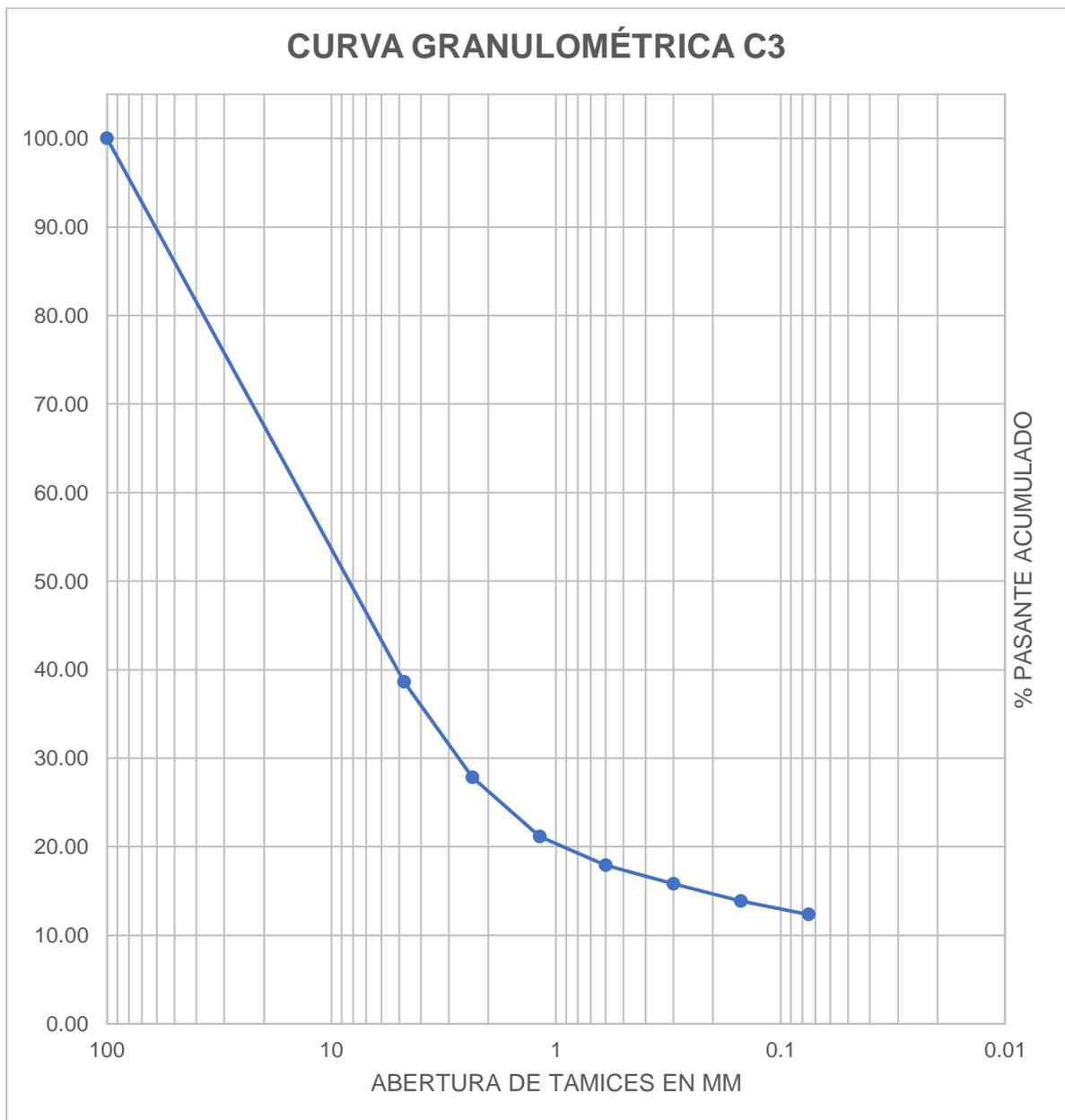


Ilustración 2-15 Curva granulométrica C3

La grava es el material que se encuentra retenido en el tamiz “No.4”, la arena es el material retenido en los tamices “No. 8”, “No. 16”, “No. 30”, “No. 50”, “No. 100”

y “No. 200”, mientras que la arcilla es el material retenido en el fondo y lo perdido en el lavado, dado que el proceso de lavado se lo realiza con el tamiz No. 200 y este material pasa por dicho tamiz.

El porcentaje de composición de grava, arena y arcilla en cada muestra queda de la siguiente manera:

*Tabla 2-13 Porcentaje de composición muestras A*

A1	A2	A3
<i>Grava = 30.31 %</i>	<i>Grava = 39.46 %</i>	<i>Grava = 42.26 %</i>
<i>Arena = 44.06 %</i>	<i>Arena = 46.40 %</i>	<i>Arena = 43.44 %</i>
<i>Arcilla = 25.63 %</i>	<i>Arcilla = 14.14 %</i>	<i>Arcilla = 14.30 %</i>
<i>Total = 100 %</i>	<i>Total = 100 %</i>	<i>Total = 100 %</i>

*Tabla 2-14 Porcentaje de composición muestras B*

B1
<i>Grava = 78.04 %</i>
<i>Arena = 16.21 %</i>
<i>Arcilla = 5.75 %</i>
<i>Total = 100 %</i>

Se clasifican las 7 muestras de acuerdo con la composición de suelos por Unified Soil Classification System (USCS), obteniendo el resultado mostrado en la tabla 2.15.

*Tabla 2-15 Clasificación del suelo USCS*

A1	Suelo grueso	Arena	SM – Arena limosa
A2	Suelo grueso	Arena	SM – Arena limosa
A3	Suelo grueso	Arena	SM – Arena limosa
B1	Suelo grueso	Grava	GW-GM – Grava limosa bien gradada.
C1	Suelo grueso	Grava	GM – Grava limosa
C2	Suelo grueso	Grava	GM – Grava limosa
C3	Suelo grueso	Grava	GM – Grava limosa

### Límites de Atterberg

Ninguna de las muestras fue clasificada como suelo fino, dado que no superó 50 % de la muestra el tamiz 200, por lo cual no es posible realizar Límites de Atterberg a ninguna de las muestras.

### Gravedad específica

Para el ensayo de gravedad específica se escogió la otra cantidad de cada muestra cuarteada, sin embargo, para este ensayo solo se necesitan 100 gramos que pasen el tamiz No. 10 de cada muestra, el cual fue posible en todas las muestras a excepción de B1, dado que esta muestra del centro del río es muy granular y no se pudo obtener los 100 gramos, obteniendo apenas 43.86 gramos. Se identifica el matraz para conocer su masa, además del volumen de agua que este almacena en el punto indicado. La densidad del agua se la obtuvo mediante la interpolación para la temperatura de cada ensayo, la cual fue 29.5°C para todas las muestras.

Tabla 2-16 Datos para gravedad específica A1

A1	
ID del matraz	4
Masa del matraz ( $M_p$ )	184.44[g]
Volumen del matraz ( $V_p$ )	500[ $cm^3$ ]
Temperatura de ensayo (T)	29.5°C
Densidad del agua a la temperatura de ensayo ( $\rho_{w,t}$ )	0.9958[ $\frac{g}{cm^3}$ ]
Masa seca del suelo ( $M_s$ )	100[g]

Tabla 2-17 Datos para gravedad específica A2

A2	
ID del matraz	4
Masa del matraz ( $M_p$ )	184.44[g]
Volumen del matraz ( $V_p$ )	500[ $cm^3$ ]
Temperatura de ensayo (T)	29.5°C

Densidad del agua a la temperatura de ensayo ( $\rho_{w,t}$ )	$0.9958[\frac{g}{cm^3}]$
Masa seca del suelo ( $M_s$ )	100[g]

Tabla 2-18 Datos para gravedad específica A3

A3	
ID del matraz	4
Masa del matraz ( $M_p$ )	184.53[g]
Volumen del matraz ( $V_p$ )	500[ $cm^3$ ]
Temperatura de ensayo (T)	29.5°C
Densidad del agua a la temperatura de ensayo ( $\rho_{w,t}$ )	$0.9958[\frac{g}{cm^3}]$
Masa seca del suelo ( $M_s$ )	100[g]

Tabla 2-19 Datos para gravedad específica B1

B1	
ID del matraz	4
Masa del matraz ( $M_p$ )	184.37[g]
Volumen del matraz ( $V_p$ )	500[ $cm^3$ ]
Temperatura de ensayo (T)	29.5°C
Densidad del agua a la temperatura de ensayo ( $\rho_{w,t}$ )	$0.9958[\frac{g}{cm^3}]$
Masa seca del suelo ( $M_s$ )	43.86[g]

Tabla 2-20 Datos para gravedad específica C1

C1	
ID del matraz	5
Masa del matraz ( $M_p$ )	191.45[g]
Volumen del matraz ( $V_p$ )	500[ $cm^3$ ]

Temperatura de ensayo (T)	29.5°C
Densidad del agua a la temperatura de ensayo ( $\rho_{w,t}$ )	0.9958 [ $\frac{g}{cm^3}$ ]
Masa seca del suelo ( $M_s$ )	100[g]

Tabla 2-21 Datos para gravedad específica C2

C2	
ID del matraz	5
Masa del matraz ( $M_p$ )	191.93[g]
Volumen del matraz ( $V_p$ )	500[ $cm^3$ ]
Temperatura de ensayo (T)	29.5°C
Densidad del agua a la temperatura de ensayo ( $\rho_{w,t}$ )	0.9958 [ $\frac{g}{cm^3}$ ]
Masa seca del suelo ( $M_s$ )	100[g]

Tabla 2-22 Datos para gravedad específica C3

C3	
ID del matraz	5
Masa del matraz ( $M_p$ )	192.51[g]
Volumen del matraz ( $V_p$ )	500[ $cm^3$ ]
Temperatura de ensayo (T)	29.5°C
Densidad del agua a la temperatura de ensayo ( $\rho_{w,t}$ )	0.9958 [ $\frac{g}{cm^3}$ ]
Masa seca del suelo ( $M_s$ )	100[g]

Para la obtención de la masa del matraz más agua a la temperatura de ensayo ( $M_{pw,t}$ ) se realiza la ecuación descrita a continuación, sin embargo, cabe aclarar que esta es la masa teórica, dado que la experimental se la obtiene poniendo en la balanza el matraz con el agua.

$$(2.10) M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

Queda de la siguiente manera para las muestras.

A1

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

$$M_{pw,t} = 184.44[g] + (500[cm^3] * 0.9958[\frac{g}{cm^3}])$$

$$M_{pw,t} = 184.44[g] + 497.90[g]$$

$$M_{pw,t} = 682.34[g]$$

A2

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

$$M_{pw,t} = 184.44[g] + (500[cm^3] * 0.9958[\frac{g}{cm^3}])$$

$$M_{pw,t} = 184.44[g] + 497.90[g]$$

$$M_{pw,t} = 682.34[g]$$

A3

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

$$M_{pw,t} = 184.53[g] + (500[cm^3] * 0.9958[\frac{g}{cm^3}])$$

$$M_{pw,t} = 184.53[g] + 497.90[g]$$

$$M_{pw,t} = 682.43[g]$$

B1

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

$$M_{pw,t} = 184.37[g] + (500[cm^3] * 0.9958[\frac{g}{cm^3}])$$

$$M_{pw,t} = 184.37[g] + 497.90[g]$$

$$M_{pw,t} = 682.27[g]$$

C1

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

$$M_{pw,t} = 191.45[g] + (500[cm^3] * 0.9958[\frac{g}{cm^3}])$$

$$M_{pw,t} = 191.45[g] + 497.90[g]$$

$$M_{pw,t} = 689.35[g]$$

C2

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

$$M_{pw,t} = 191.93[g] + (500[cm^3] * 0.9958[\frac{g}{cm^3}])$$

$$M_{pw,t} = 191.93[g] + 497.90[g]$$

$$M_{pw,t} = 689.83[g]$$

C3

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

$$M_{pw,t} = 192.51[g] + (500[cm^3] * 0.9958[\frac{g}{cm^3}])$$

$$M_{pw,t} = 192.51[g] + 497.90[g]$$

$$M_{pw,t} = 690.41[g]$$

En la balanza se obtuvieron los siguientes resultados como masa de matraz más agua a la temperatura de ensayo ( $M_{pw,t}$ ) de cada muestra:

Tabla 2-23 Masa de Matraz más agua

A1	$M_{pw,t} = 681.23[g]$
A2	$M_{pw,t} = 680.78[g]$
A3	$M_{pw,t} = 681.18[g]$
B1	$M_{pw,t} = 681.04[g]$
C1	$M_{pw,t} = 688.18[g]$
C2	$M_{pw,t} = 688.58[g]$
C3	$M_{pw,t} = 689.73[g]$

Existe una diferencia entre la masa del matraz más agua a la temperatura de ensayo ( $M_{pw,f}$ ) de manera teórica con el experimental, dado que se pudo llenar el matraz por encima o por debajo de la línea indicada. El valor absoluto entre la resta del teórico con el experimental, se lo denomina “error absoluto”. El error absoluto, dividido para el teórico se lo denomina “error relativo”. Para que sea un ensayo óptimo y aceptable, el porcentaje de error relativo debe ser menor a 0.3 %. El error absoluto y relativo se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$\text{error absoluto} = |\text{masa teórica} - \text{masa experimental}|$$

$$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa teórica}} * 100 \%$$

Por lo tanto, el cálculo de errores y comparación para la aceptación del ensayo de cada muestra queda de la siguiente manera:

A1
$\text{error absoluto} =  \text{masa teórica} - \text{masa experimental} $ $\text{error absoluto} =  682.34[g] - 681.23[g] $ $\text{error absoluto} = 1.11[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{1.11[g]}{682.34[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.1627 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.1627 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

A2
$\text{error absoluto} =  \text{masa teórica} - \text{masa experimental} $ $\text{error absoluto} =  682.34[g] - 680.78[g] $ $\text{error absoluto} = 1.56[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{1.56[g]}{682.34[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.2286 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.2286 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

A3
$\text{error absoluto} =  \text{masa teórica} - \text{masa experimental} $ $\text{error absoluto} =  682.43[g] - 681.18[g] $ $\text{error absoluto} = 1.25[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{1.25[g]}{682.43[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.1832 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.1832 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

B1
$\text{error absoluto} =  \text{masa teórica} - \text{masa experimental} $ $\text{error absoluto} =  682.27[g] - 681.04[g] $ $\text{error absoluto} = 1.23[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{1.23[g]}{682.27[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.1803 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.1803 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

C1
$\text{error absoluto} =  \text{masa teórica} - \text{masa experimental} $ $\text{error absoluto} =  689.35[g] - 688.18[g] $ $\text{error absoluto} = 1.17[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{1.17[g]}{689.35[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.1697 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.1697\% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

C2
$\text{error absoluto} =  \text{masa teórica} - \text{masa experimental} $ $\text{error absoluto} =  689.83[g] - 688.58[g] $ $\text{error absoluto} = 1.25[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{1.25[g]}{689.83[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.1812 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.1812 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

C3
$\text{error absoluto} =  \text{masa teórica} - \text{masa experimental} $ $\text{error absoluto} =  690.41[g] - 689.73[g] $ $\text{error absoluto} = 0.68[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0.68[g]}{690.41[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.0985 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.0985 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

Después de haber retirado volumen de agua, se agrega la masa seca y se vuelve a llenar hasta el nivel marcado en el matraz para llevarlo a la balanza y así obtener la masa del matraz más agua más muestra a la temperatura de ensayo ( $M_{pws,t}$ ).

Las masas de las muestras obtuvieron los siguientes resultados:

A1	$M_{pws,t} = 739.14[g]$
A2	$M_{pws,t} = 738.80[g]$
A3	$M_{pws,t} = 739.12[g]$

B1	$M_{pws,t} = 706.63[g]$
C1	$M_{pws,t} = 746.08[g]$
C2	$M_{pws,t} = 745.75[g]$
C3	$M_{pws,t} = 746.33[g]$

El cálculo final de gravedad específica a la temperatura de ensayo ( $G_t$ ), se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$(2.11) G_t = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - (M_{pws,t}) - M_s)}$$

Los resultados del cálculo de gravedad específica para cada muestra quedan de la siguiente manera:

A1
$G_t = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - (M_{pws,t}) - M_s)}$ $G_t = \frac{100[g]}{(681.23[g] - (739.14[g] - 100[g]))}$ $G_t = \frac{100[g]}{(681.23[g] - 639.14[g])}$ $G_t = \frac{100[g]}{42.09[g]}$ $G_t = 2.3759$

A2
$G_t = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - (M_{pws,t}) - M_s)}$ $G_t = \frac{100[g]}{(680.78[g] - (738.80[g] - 100[g]))}$ $G_t = \frac{100[g]}{(680.78[g] - 638.80[g])}$

$$G_t = \frac{100[g]}{41.98[g]}$$

$$G_t = 2.3821$$

A3

$$G_t = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - (M_{pws,t}) - M_s)}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{(681.18[g] - (739.12[g] - 100[g]))}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{(680.78[g] - 639.12[g])}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{41.66[g]}$$

$$G_t = 2.4004$$

B1

$$G_t = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - (M_{pws,t}) - M_s)}$$

$$G_t = \frac{43.86[g]}{(681.04[g] - (706.43[g] - 43.86[g]))}$$

$$G_t = \frac{43.86[g]}{(680.78[g] - 662.57[g])}$$

$$G_t = \frac{43.86[g]}{18.21[g]}$$

$$G_t = 2.4086$$

C1

$$G_t = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - (M_{pws,t}) - M_s)}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{(688.18[g] - (746.08[g] - 100[g]))}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{(688.18[g] - 646.08[g])}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{42.1[g]}$$

$$G_t = 2.3753$$

C2

$$G_t = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s))}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{(688.58[g] - (745.75[g] - 100[g]))}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{(688.58[g] - 645.75[g])}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{42.83[g]}$$

$$G_t = 2.3348$$

C3

$$G_t = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s))}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{(689.73[g] - (746.33[g] - 100[g]))}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{(689.73[g] - 646.33[g])}$$

$$G_t = \frac{100[g]}{43.4[g]}$$

$$G_t = 2.3041$$

Para determinar el porcentaje de error total de todo el ensayo de cada muestra, pone la muestra a secar a 100°C por más de 24 horas después de terminar todo el ensayo y esa masa seca del suelo final, es comparada con la masa seca del suelo inicial. El valor absoluto de la diferencia entre la masa inicial y la final, se la denomina “error absoluto”. El error absoluto, dividido para la masa de muestra inicial se denomina “error relativo”.

Para que sea un ensayo óptimo y aceptable, el porcentaje de error relativo debe ser menor a 0.3 %. El error absoluto y relativo se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$\text{error absoluto} = |\text{masa seca del suelo inicial} - \text{masa seca del suelo final}|$$

$$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$$

Por lo tanto, el cálculo de errores y comparación para la aceptación del ensayo de cada muestra queda de la siguiente manera:

A1
$\text{error absoluto} =  \text{masa seca del suelo inicial} - \text{masa seca del suelo final} $ $\text{error absoluto} =  100[g] - 100[g] $ $\text{error absoluto} = 0[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0[g]}{100[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0 \% < 0.3 \%$ <p>El ensayo es aceptado.</p>

A2
$\text{error absoluto} =  \text{masa seca del suelo inicial} - \text{masa seca del suelo final} $ $\text{error absoluto} =  100[g] - 100[g] $ $\text{error absoluto} = 0[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0[g]}{100[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

A3
$\text{error absoluto} =  \text{masa seca del suelo inicial} - \text{masa seca del suelo final} $ $\text{error absoluto} =  100[g] - 99.91[g] $ $\text{error absoluto} = 0.09[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0.09[g]}{100[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.09 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.09 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

B1
$\text{error absoluto} =  \text{masa seca del suelo inicial} - \text{masa seca del suelo final} $ $\text{error absoluto} =  43.86[g] - 43.86[g] $ $\text{error absoluto} = 0[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0[g]}{43.86[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

C1
$\text{error absoluto} =  \text{masa seca del suelo inicial} - \text{masa seca del suelo final} $ $\text{error absoluto} =  100[g] - 99.94[g] $ $\text{error absoluto} = 0.02[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0.06[g]}{100[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.06 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.06 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

C2
$\text{error absoluto} =  \text{masa seca del suelo inicial} - \text{masa seca del suelo final} $ $\text{error absoluto} =  100[g] - 99.98[g] $ $\text{error absoluto} = 0.02[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0.02[g]}{100[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = 0.02 \%$
$\% \text{ error relativo} = 0.02 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

C3
$\text{error absoluto} =  \text{masa seca del suelo inicial} - \text{masa seca del suelo final} $ $\text{error absoluto} =  100[g] - 100[g] $ $\text{error absoluto} = 0[g]$
$\% \text{ error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{masa inicial}} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \frac{0[g]}{100[g]} * 100 \%$ $\% \text{ error relativo} = \%$
$\% \text{ error relativo} = 0 \% < 0.3 \%$ <p style="text-align: center;">El ensayo es aceptado.</p>

### **Triaxial**

El ensayo triaxial no fue realizado debido a la manera en las que se transportan las muestras, dado que la muestra debe llegar intacta para realizar un buen ensayo triaxial y como limitantes no se contaba con tubo Shelby y la distancia del sitio de recolección al laboratorio es muy larga. Por estos motivos se tomó los datos de la literatura (Carrión-Mero et al., 2020) en la cual se presentan una cohesión de 54.92[kPa] y un ángulo de fricción de 37.23 en el talud izquierdo y en el talud derecho una cohesión de 348.07[kPa] y un ángulo de fricción de 20.30.

### **Porosidad y permeabilidad**

Porosidad estrato arena - grava	22%
Porosidad	20-30%
Permeabilidad de Darcy (real)	1.59-5.15 m/día
Caudal promedio	7 l/s

## 2.13. Análisis de datos

### 2.13.1. Datos meteorológicos

Se examinaron los datos disponibles en la región cercana a la cuenca del río Manglaralto. Se llevó a cabo un análisis de datos meteorológicos utilizando los anuarios meteorológicos del INAMHI desde 1994 hasta 2013.

La estación M0782 fue la escogida, ya que tenía suficiente información para llevar a cabo un análisis de extremos. Esto se debe a que cuenta con 23 años de datos.



*Ilustración 2-16. Mapa de las estaciones meteorológicas donde se extrajeron los datos de las precipitaciones.*

Se emplearon las siguientes distribuciones probabilísticas para el cálculo de extremos:

#### **Distribución de Gumbel**

Este método fue propuesto por Gumbel (Gumbel, 1941) y permite evaluar los riesgos de inundación. Para ello, se utiliza una distribución de probabilidad que permite estimar los valores extremos de las precipitaciones (Islam, 2021), la ecuación 2.2 es la siguiente:

$$(2.2) X_T = \bar{x} + K_T \delta$$

Donde:

$X_T$  = Valor máximo de caudal esperado

$\bar{x}$  = Caudal

$\delta$  = Desviación estándar

$K_T$  = Factor de frecuencia

La siguiente ecuación se utiliza para calcular el factor de frecuencia:

$$(2.3) K_T = Y_T - Y / \delta$$

Donde:

$Y_T$  = Variable reducida

$Y$  = Media de la variable reducida

$\delta$  = Desviación estándar de la variable reducida

La siguiente ecuación se utiliza para calcular la variable reducida:

$$(2.4) Y_T = - \left( \ln \left( \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right) \right)$$

### **Distribución Pearson tipo III**

La distribución Pearson tipo III es un grupo de siete distribuciones diferentes, que incluyen la distribución normal. La distribución Pearson tipo III también es conocida como distribución gamma de 3 parámetros. (Yang, 2019)

La función de densidad es:

$$(2.5) f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left( \frac{x-x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{x-x_0}{\alpha} \right)}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\gamma * \delta}{2}$$

$$\beta = \left( \frac{2}{\gamma} \right)^2$$

$$X_0 = \bar{x} - \alpha * \beta$$

Si  $X_0 = 0$ , se reduce a la distribución gamma.

Para determinar que distribución fue la que mejor se ajusta usamos la prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov, dando como resultado que 2 de estas distribuciones tienen un valor menor al  $\Delta$  crítico con una confianza de 95%. No obstante, la GEV-1 es la distribución que mejor se ajusta a los datos.

TR	DISTRIBUCIONES		
	GUMBEL	NORMAL	PEARSON III
2	23.28	35.41	44.50112373
5	90.02	97.15	160.7551956
10	134.20	129.46	241.9054401
25	190.04	163.90	381.970587
50	231.46	186.14	491.396483
75	255.53	198.07	553.5503919
100	272.57	206.14	585.06505
150	296.54	217.02	657.986467
200	313.53	224.44	694.490946
300	337.46	234.51	730.9954249
400	354.42	241.40	749.203894
500	367.58	246.62	760.1464836
1000	408.42	262.17	782.0316628

<b>KOLMOGOROV SMIRNOV</b>	0.03	0.00	0.14
0.05	ACCEPTED	ACCEPTED	NOT ACCEPTED

Tabla 2-24. Resultados del test de Kolmogorov aplicado a las tres distribuciones.

El siguiente paso fue elaborar las curvas IDF. Para esto se procede a discretizar la precipitación máxima en 24 horas con la metodología Dick-Peschke con la siguiente ecuación.

$$(2.8) P_d = P_{24} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

Pd= precipitación total (mm)

d= duración en minutos

P24= Precipitación máxima en 24 horas (mm)

Obteniendo el siguiente resultado:

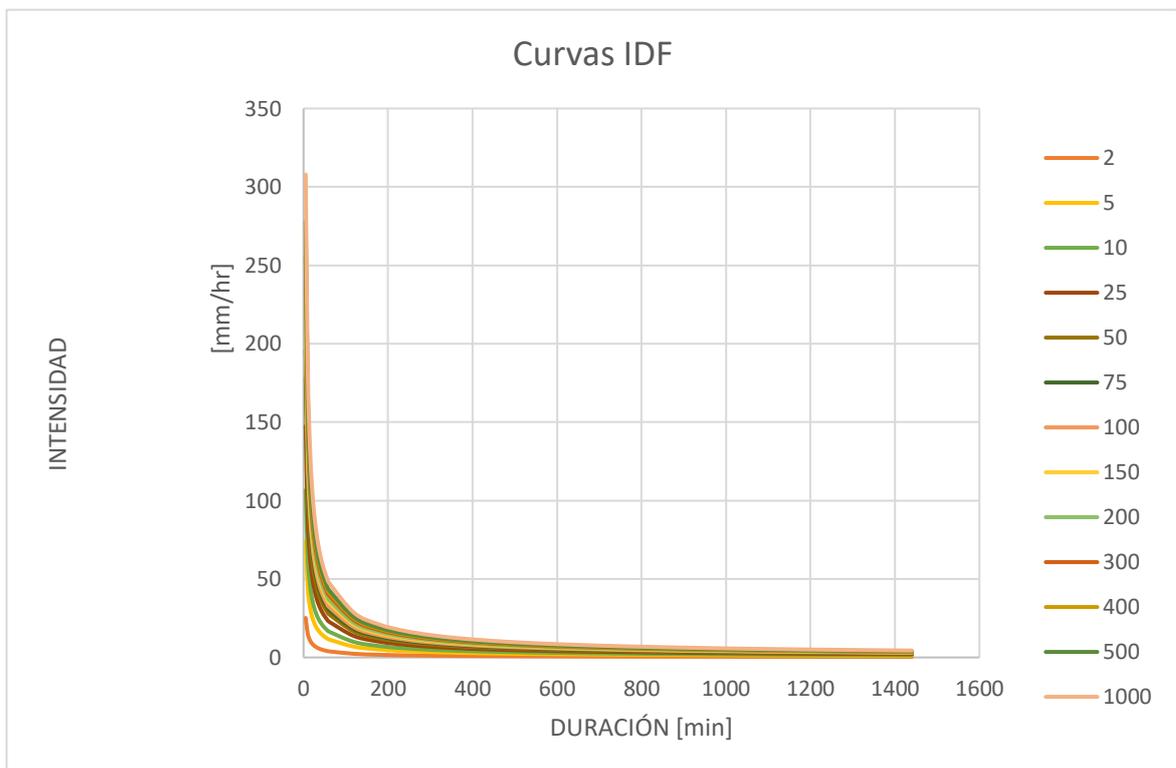


Ilustración 2-17. Gráfico Intensidad vs duración.

Los hietogramas de diseño se realizaron con una regresión bivariada para encontrar los coeficientes del modelo de Bernard (1932).

$$(2.9) I = \frac{K * T^m}{D^n}$$

Donde:

I= Intensidad de precipitación (mm/hr).

D= Duración(min)

T= Periodo de retorno (años)

K, m y n son constantes.

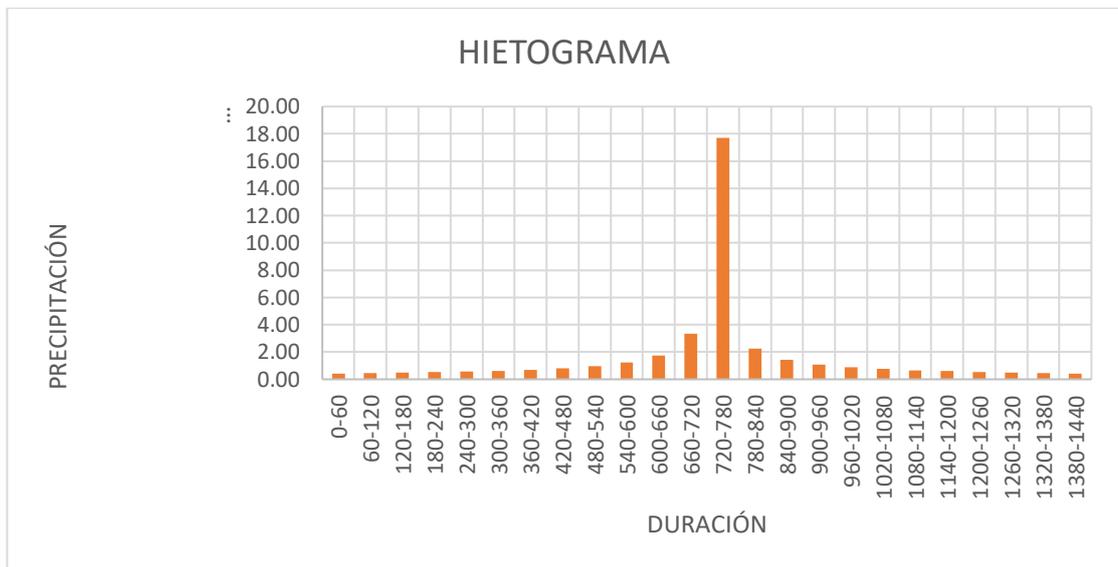


Ilustración 2-18. Gráfico precipitación vs duración.

### **2.13.2. Modelo hidrológico**

El modelo hidrológico se realizó en HEC-HMS. HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) es un software desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) para llevar a cabo el modelado hidrológico.

El proceso de modelado hidrológico con HEC-HMS implica varios pasos clave:

1. Definición de la cuenca: Se debe definir las características de la cuenca hidrográfica, topografía, uso del suelo, características del suelo, vegetación y patrones de precipitación.
2. Definición de la precipitación: Se introducen datos de precipitación históricos
3. Modelado de la escorrentía: HEC-HMS permite simular cómo la precipitación se convierte en escorrentía en la cuenca. Utiliza métodos hidrológicos como el método del hidrograma unitario y modelos distribuidos para calcular cómo se acumula y fluye el agua a través de la cuenca.
4. Modelado de los procesos de flujo: se simula cómo se distribuye el agua a lo largo del tiempo en la cuenca, considerando la infiltración en el suelo, la recarga de acuíferos, el escurrimiento superficial y otros procesos de flujo.
5. Simulación de eventos: HEC-HMS permite simular eventos hidrológicos específicos, para evaluar cómo afectarán el flujo de agua y los niveles de los cuerpos de agua en la cuenca.
6. Análisis de resultados: Después de completar la simulación, se pueden analizar y visualizar los resultados, incluidos los hidrogramas de escorrentía, los caudales en diferentes puntos de la cuenca y otros datos relacionados con el flujo de agua.

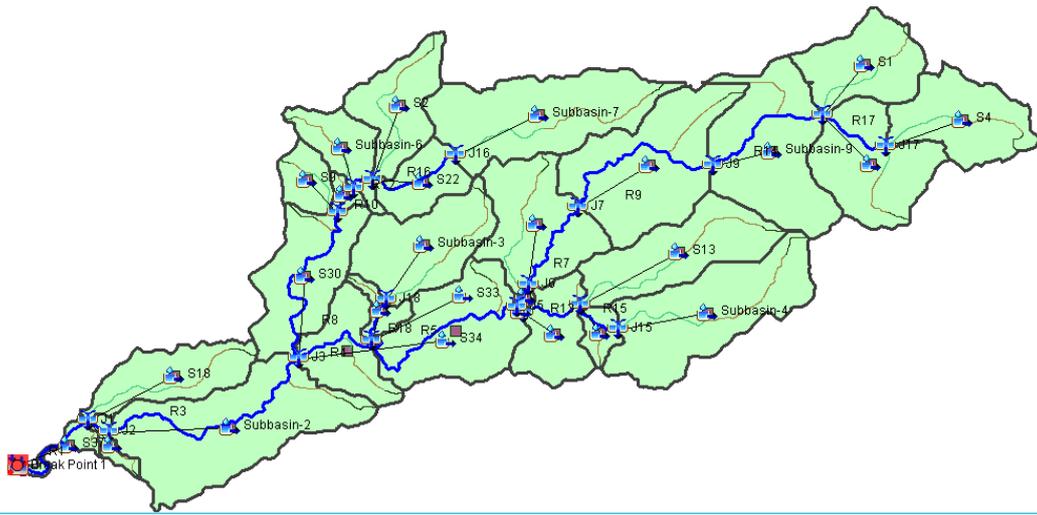


Ilustración 2-19. Cuenca Manglaralto obtenida de Hec-HMS.

Tabla 2-25. Tabla de subcuencas con sus respectivas áreas.

<b>Subcuenca</b>	<b>Área [km<sup>2</sup>]</b>
S4	2.3071
Subbasin-1	2.7067
S1	2.0333
Subbasin-9	3.6393
Subbasin-8	3.9797
Subbasin-10	2.7588
Subbasin-4	3.8151
S13	2.7123
S23	0.4336
Subbasin-5	1.4727
S32	0.0785
S27	0.0092
Subbasin-3	2.5079
S33	3.0514
S20	0.408
Subbasin-7	3.8392
S2	1.8246
S22	1.0964
Subbasin-6	1.1551
S9	0.7151
S28	0.2033
S30	2.5271
S34	1.5878
Subbasin-2	4.7059
S18	1.8256
S36	0.2644
S37	0.3153

## 2.14. Análisis de alternativas

Se han propuesto 3 alternativas: 2 de diques de concreto y 1 de dique de arcilla, con distintas ubicaciones y características.

### Opción 1:

Ubicación: 528798E 9796562N m

Longitud: 45 m

Cota de corona de dique: 5.5 metros

Área de embalse (llanura de inundación): 7143[m<sup>2</sup>]

Volumen de almacenamiento de agua: 28572 [m<sup>3</sup>]

Llanura de inundación:

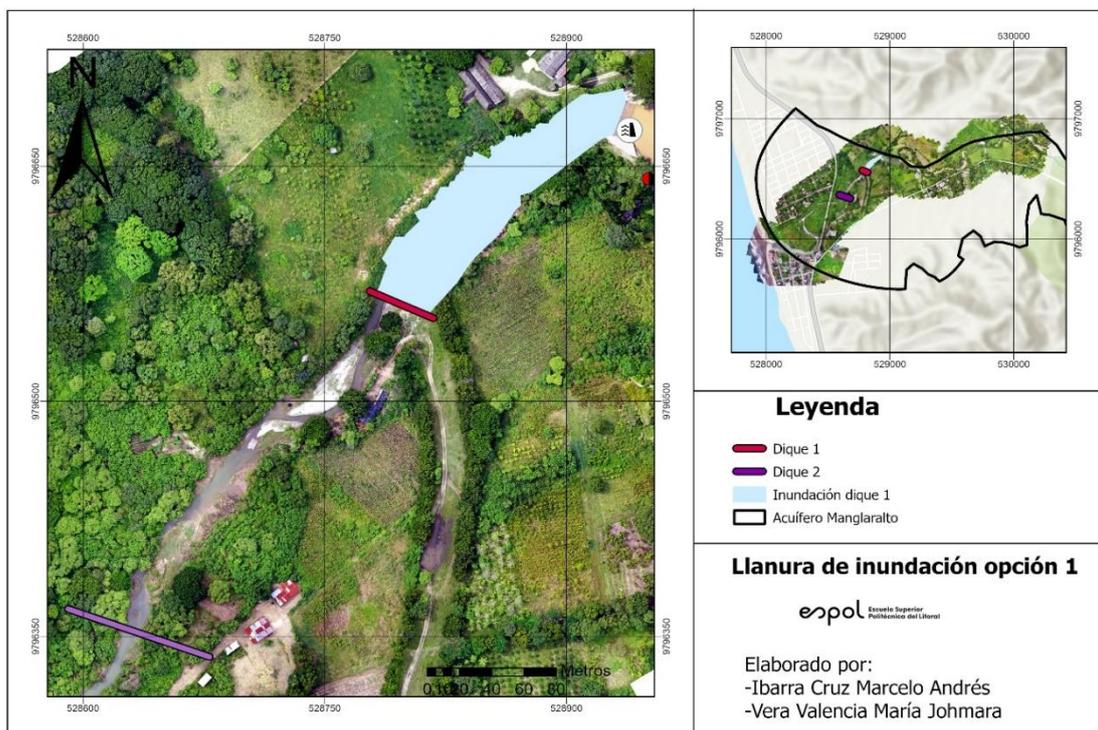


Ilustración 2-20. Mapa de llanura de inundación de la alternativa 1

Esta alternativa es de fácil acceso, la llanura de inundación afecta a una chanchera que se encuentra de forma ilegal radicada en el área de servidumbre del río, y su longitud de construcción es de menor de magnitud ya que en este punto la morfología del río es similar a la de un cuello de botella. La capacidad de embalse al estar más cerca al dique anterior se ve comprometida, por esto se decidió tener una mayor cota de corona.

## Opción 2:

Ubicación: 528635E 9796352N [m]

Longitud: 93 m

Cota de corona de dique: 3.5 metros

Área de embalse (llanura de inundación): 23925.6[m<sup>2</sup>]

Volumen de almacenamiento de agua: 47851[m<sup>3</sup>]

Llanura de inundación:

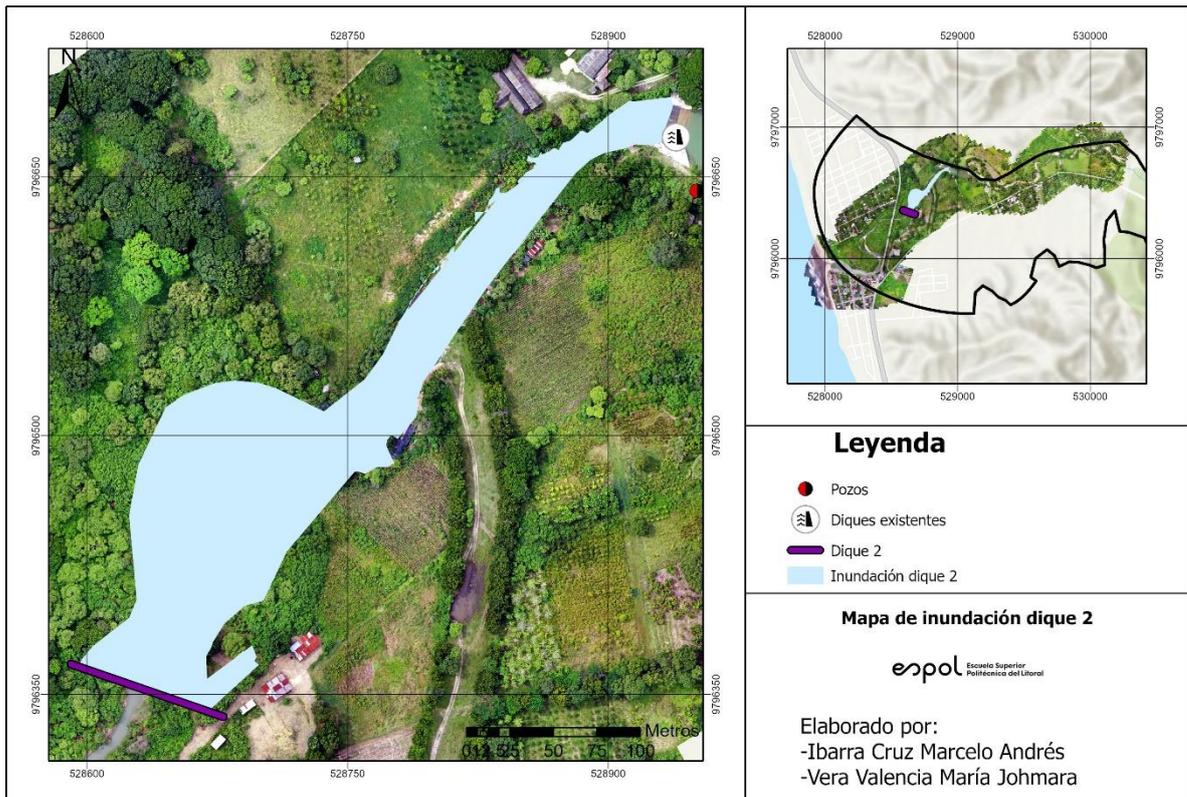


Ilustración 2-21 Mapa de la llanura de inundación alternativa 2

Esta alternativa es también de fácil acceso, la llanura de inundación afecta a una chanchera que se encuentra de forma ilegal radicada en el área de servidumbre del río, y a una infraestructura perteneciente a la extensión de la UPSE, la cual sí funciona de manera legal y con los permisos correspondientes, la cual impediría un desalojo de manera sencilla, obligando a llegar a un acuerdo con la UPSE o yendo a un juicio; en ambos casos se deberá compensar a la universidad por la expropiación. Su longitud de construcción es de mayor magnitud ya que en este

punto existe mucha sedimentación, por ende, su costo de implementación también incrementará.

### Opción 3 (arcilla):

Ubicación: 528635E 9796352N [m]

Longitud: 93 m

Cota de corona de dique: 3.5 metros.

Área de embalse (llanura de inundación): 23925.6[m<sup>2</sup>]

Volumen de almacenamiento de agua: 47851[m<sup>3</sup>]

Llanura de inundación:

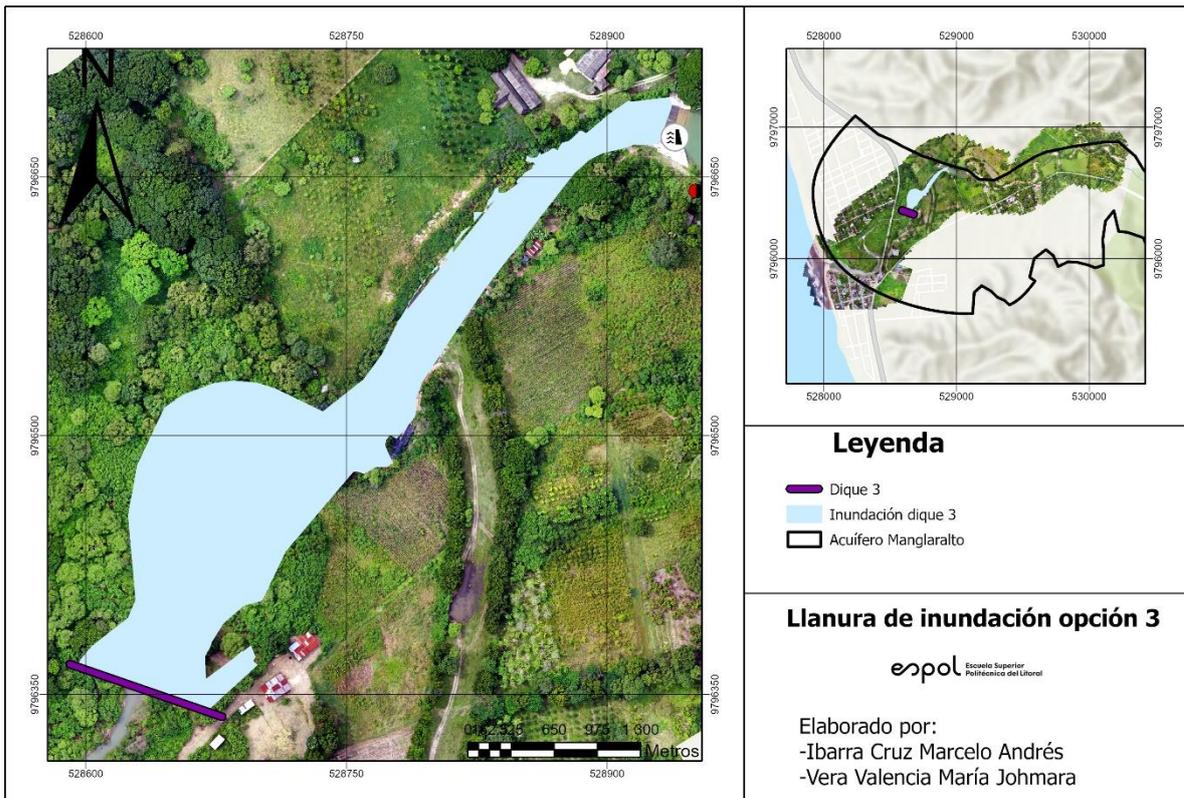


Ilustración 2-23 Mapa de la llanura de inundación de la alternativa 3

Esta alternativa es de arcilla, a diferencia de las dos primeras que son de hormigón, no obstante, tiene las mismas características en longitud, ubicación, cota de corona, área de embalse, volumen de almacenamiento de agua y llanura de inundación con la alternativa 2. Esta alternativa presenta mayor problema con el material, dado que la parroquia no podrá abastecer de la arcilla necesaria para la construcción. El tiempo de servicio de la obra también será menor en esta alternativa, dado que es menos resistente que los diques de hormigón y a su vez requiere mayor control, cuidado y costo de mantenimiento.

## **Restricciones y Limitaciones**

### ***Cercanía al acuífero***

Al seleccionar el lugar donde se colocará el dique se debe tomar en cuenta que se encuentre dentro de los límites del acuífero, para cumplir con el objetivo de siembra y cosecha de agua, de este modo mantener en un nivel óptimo el volumen de agua subterránea. Al ser el suelo muy permeable, es importante que toda la llanura de inundación se encuentre por encima del acuífero para su infiltración de manera controlada y previo al filtrado natural por el suelo y rocas, de esta manera asegurar el acceso continuo al agua. Las tres alternativas tienen su totalidad de sus llanuras de inundación en por encima del acuífero, por lo tanto, el área de embalse (llanura de inundación) es por donde se filtrará agua de manera constante al acuífero.

### ***Cantidad de construcciones afectadas***

Este aspecto cuenta la cantidad de casas y estructuras que se verán afectada en cada una de las alternativas por la crecida del río, dado que las construcciones cercanas al río no consideraron la llanura de inundación que se tendrá con la construcción del nuevo dique. Según la simulación de la posible llanura de inundación del dique, en las tres opciones se verá afectada una construcción ilegal cercana al río, la cual funciona como una chanchera sin ningún tipo de permiso. Además, la UPSE tiene una extensión de veterinaria en la zona, por lo cual se debe tener muy en cuenta para no afectar esta construcción legal y para su retiro debe ser mediante un proceso de negociación o expropiación, lo cual incrementaría de gran manera los tiempos y costos de construcción.

La expropiación viable es la de la chanchera ilegal, dado que en esta no se gastará recursos en compensaciones por expropiación, dado que esta funciona sin ningún permiso y la JAAPMAN nos comunicaron que ya tenían un plan de retiro por la contaminación al río que esta genera. La JAAPMAN comunicó que ya están trabajando en la socialización de las medidas de retiro de la chanchera con los dueños, por lo cual no representaría un problema de gran dimensión.

### ***Fácil acceso a la ubicación***

Dado que en los tres casos se necesitan grandes cantidades de materiales, la facilidad de acceso es un factor por considerar y en función de la ubicación, podría ser una limitante que incrementaría los costos de construcción y operación. Cabe recalcar que los caminos de acceso al río son de tierra, es decir sin pavimentar, lo cual dificulta el acceso a los camiones de carga pesada y maquinaria. Esto impediría que se pueda construir durante la época de lluvia o pedir el transporte de material en camiones y vehículos con tracción en todos sus ejes para no verse estancado en el lodo previo al río.

Además de lo expuesto, se debe tomar en cuenta los riesgos laborales a los que se expondrá a los trabajadores al tener que cruzar por caminos improvisados, siendo el acceso a la ubicación una limitante no solo en la consecución de materiales, también en un aumento de riesgo laboral.

### ***Vida útil de la construcción***

Para asegurarnos de diseñar un proyecto rentable y sostenible con el tiempo, se debe tomar en cuenta el período de uso de la construcción, dado que la inversión de la JAAPMAN debe ser amortizada en el mayor tiempo posible, por lo cual se hará un análisis a los materiales de construcción en las 3 alternativas. Este proyecto es a largo plazo, dado que la JAAPMAN debe recuperarse económicamente de la inversión, por lo que se analiza todos los aspectos que podrían afectar la vida útil del dique y así tener un presupuesto de construcción y mantenimiento para los años de servicio del dique. En este punto es más satisfactorio tener un presupuesto más elevado en construcción, pero menor en mantenimiento y que nos asegure que la vida útil del dique será de muchos años.

El impacto ambiental en la construcción del dique también se verá justificado si este mantiene su operatividad más tiempo, dado que no será necesario afectar más la zona en muchos años. Además, se estima un crecimiento poblacional, por lo cual debe seguir abasteciendo en el futuro a las nuevas generaciones de habitantes de la parroquia Manglaralto.

## Selección de alternativa

Para la selección de la alternativa se tomaron en cuenta aspectos técnicos, sociales, económicos, ambientales, y culturales. Se realizó una matriz comparativa en la cual cada aspecto tuvo una ponderación asignada, dentro de los cuales se calificó y evaluó cada subcriterio a considerar, con una puntuación de 0 a 5. Donde 0 es el mínimo puntaje y 5 el máximo.

PONDERACIÓN		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
40%	<b>ASPECTOS TÉCNICOS</b>			
	Accesibilidad al material	5	5	3
	Área de inundación	4	5	5
	Distancia del eje (ancho)	5	3	3
	Capacidad de embalse	4	5	5
	Cercanía al acuífero	5	5	5
		23	23	21
20%	<b>ASPECTOS SOCIALES</b>			
	Cantidad de casa afectadas	5	3	3
	Fácil acceso a la ubicación	5	4	4
		10	7	7
15%	<b>ASPECTOS ECONÓMICOS</b>			
	Costo de implementación (CAPEX)	5	3	5
	Costo de operación y mantenimiento (OPEX)	4	4	2
		9	7	7
15%	<b>ASPECTOS AMBIENTALES</b>			
	Flora y fauna	5	3	5
	Calidad del agua	5	4	3
		10	7	8
10%	<b>ASPECTOS CULTURALES</b>			
	Como percibe la comunidad al agua	5	3	3
	Opinión del cliente	5	0	0
		10	3	3
<b>TOTAL</b>		<b>15.05</b>	<b>13.00</b>	<b>12.35</b>

Tabla 2-26. Matriz selección de alternativas sobre 5.

## **Aspectos técnicos**

Se consideraron como aspectos técnicos todos las consideraciones específicas y detalles necesarios para la construcción de un dique, los cuales arrojan resultados de manera cuantitativa y facilita su calificación. Este aspecto tiene la mayor ponderación (40 %), dado que limitaría en gran medida la viabilidad del proyecto por su influencia en el aspecto económico y en el cumplimiento de los objetivos, tal como se lo ha conversado con los representantes de la JAAPMAN.

### **Accesibilidad al material**

En este punto se considera lo factible de conseguir el material dentro de la parroquia y asegurar el suministro de material de manera adecuada y oportuna, para no tener retrasos en la construcción del dique o aumento de costos por largos viajes de los camiones con el material.

En este caso, la alternativa 1 y 2 son del mismo material (roca con recubrimiento de hormigón), mientras que la alternativa 3 es de arcilla. La alternativa 1 y 2 obtuvieron la máxima calificación porque diagonal a la JAAPMAN existe una distribuidora de material de construcción con abundante cantidad de agregado grueso, fino y cemento para la obtención del hormigón, además que las rocas de gran tamaño pueden ser conseguidas al lado de esta distribuidora. La alternativa 3 tiene como limitante la consecución de arcilla, dado que no existe en la parroquia Manglaralto una distribuidora de arcilla con el material suficiente para la construcción del dique, sin embargo, sí existe el material en otras parroquias de la provincia, por lo cual su calificación fue de "3".

### **Área de inundación**

En este punto se considera el área de embalse o llanura de inundación que se obtendrá después de la construcción del dique, ya que esta área es por donde se infiltrará el agua al acuífero y pudo ser calculada mediante un "software" de sistema de información geográfica.

Las alternativas 2 y 3 tienen la misma llanura de inundación, mientras que la alternativa 1 al ser en otra ubicación tiene otra área. La alternativa 2 y 3

tuvieron la máxima calificación al tener un área de embalse de  $23925.6[m^2]$ , mientras que la alternativa 1 tiene un área de embalse de  $7143[m^2]$ , razón por la cual su calificación fue de “4”.

### **Distancia del eje (ancho)**

Este punto es fundamental porque influirá directamente en el tiempo de construcción, cantidad de material y costo de construcción y mantenimiento. Se consideró los anchos de los diques de las 3 alternativas, los cuales fueron calculados por un “software” de sistema información geográfica y después ajustado en Hec-Ras.

La alternativa 2 y 3 tienen el mismo ancho, dado que tienen la misma ubicación y la alternativa 1 tiene una longitud diferente por ubicarse en otro sitio. La alternativa 1 tiene un ancho de 45 metros, muy similar al dique existente, y obtuvo la máxima calificación, mientras que las alternativas 2 y 3 tienen una longitud de 93 metros, más del doble de ancho que la alternativa 1, razón por la cual obtuvieron una calificación de “3”.

### **Capacidad de embalse**

Este punto se consideró importante por ser el volumen de agua superficial que se almacenará por el nuevo dique y podrá ser aprovechado por los habitantes para actividades recreacionales o la obtención de agua de manera superficial. Este volumen se lo calculó multiplicando el área de embalse (calculada anteriormente) por la diferencia entre la cota de corona del dique y un promedio de la cota inmediata a la terminación del dique existente y la cota de terreno donde se ubicará el dique.

Las alternativas 2 y 3 tienen la misma capacidad de embalse, dado que tienen la misma área de embalse y la misma cota de corona, mientras que la alternativa 1 tiene diferente cota de corona y área de embalse. En este caso las alternativas 2 y 3 tienen un volumen de  $47851[m^3]$  y obtuvieron la máxima calificación. La alternativa 1 tiene un volumen de  $28572[m^3]$ , el

cual se vio reducido por el área de inundación, sin embargo, no es superado en gran cantidad por las alternativas 2 y 3 por la cota de corona que es mayor en la alternativa 1, razón por la cual su calificación fue de “4”.

### **Cercanía al acuífero**

En este aspecto se evalúa el porcentaje de la llanura de inundación que estará por encima del acuífero, dado que esto determinará el porcentaje de esta área que servirá para recarga del acuífero. Para su cálculo se utilizó un “software” de sistema de información geográfica y se usó el “shapefile” del acuífero proporcionado por el CIPAT y las áreas de inundación obtenidas en este mismo programa.

Pese a que la alternativa 1 tiene diferente área de embalse, las tres alternativas coinciden con un 100 % de la llanura de inundación por encima del acuífero, razón por la cual las 3 alternativas obtuvieron la máxima calificación.

### **Aspectos sociales**

Como aspectos sociales se consideraron las estructuras que deberán ser retiradas porque se verán afectadas por la nueva llanura de inundación, además de la facilidad de acceso al sitio de construcción, es decir, caminos existentes para no tener que construir una nueva vía o tener que gastar recursos en la ampliación o mejoramiento de caminos.

### **Cantidad de casas afectadas**

En este punto se evalúa las propiedades construidas cerca del río que se verán afectadas por la nueva llanura de inundación y deberán ser demolidas y retiradas antes de la construcción del dique, así que se fue a realizar una inspección visual de manera presencial a la zona de la llanura de inundación de las tres alternativas.

Las alternativas 2 y 3 tienen la misma zona de afectación por tener la misma llanura de inundación, mientras que la alternativa 1 tiene una llanura distinta

al tener una ubicación de dique diferente. La alternativa 1 obtuvo la máxima calificación, dado que solo afecta a una chanchera ilegal, la cual no presentará mayor problema para su retiro porque los miembros de la JAAPMAN ya les comunicaron a los dueños y estos no poseen ningún documento que los autorice a construir en esa zona, por lo tanto, no habrá ningún costo legal o de expropiación. En las alternativas 2 y 3 se ven afectadas la chanchera ilegal y la extensión de la UPSE, la cual sí tiene los permisos de funcionamiento y construcción, por lo que se debe llegar a un acuerdo con la universidad, resolverlo en centro de mediación o juicio legal, además de tener que compensar económicamente por la expropiación de dicha extensión. Por lo expuesto las alternativas 2 y 3 obtuvieron una calificación de “3”.

### **Fácil acceso a la ubicación**

En este punto se consideró la facilidad con la cual se podrá acceder al sitio donde se construirá en dique, dado que estos puntos limitarán en el suministro de materiales y uso de maquinaria. Para ello se llevó a una inspección presencial para conocer las rutas y caminos de accesos cercanos, así como el estado de estos caminos.

Las alternativas 2 y 3 tienen la misma ubicación, por lo tanto, tendrán las mismas limitantes para acceder al sitio de construcción, mientras que la alternativa 1 se ubicaría unos metros aguas arriba. La alternativa 1 está ubicada 15 metros de un camino de tierra donde pueden pasar camiones y maquinaria, por lo cual obtuvo la máxima calificación. Las alternativas 2 y 3 están ubicadas 100 metros aguas abajo y no tiene otra vía de ingreso, sin embargo, sí se puede avanzar por los costados del río, por lo cual obtuvo la calificación de “4”.

### **Aspectos económicos**

Como aspectos económicos se tomó en cuenta los costos de construcción de y operación y mantenimiento del dique, dado que la JAAPMAN cuenta con los

recursos para su construcción, sin embargo, si el dique presenta un elevado costo de operación y mantenimiento, puede resultar en una estructura no sostenible con el tiempo y su vida útil se verá reducida por el no mantenimiento, consecuencia del alto costo que este tendría.

### **Costo de implementación (CAPEX)**

Se llama costo de implementación (CAPEX) al costo total de construcción del dique, es decir, desde sus estudios y diseño, que en este caso sería cero, hasta su puesta en funcionamiento. Este es costo más alto e importante, sin embargo, los representantes de la JAAPMAN comunicaron que ya tienen los recursos para el CAPEX.

La alternativa 1 requiere menos material al tener una anchura de 45 metros, sin embargo, tiene mayor altura, pero el costo de desalojo de material y excavación es menor; su material es de rocas con recubrimiento de hormigón armado, materiales que se consiguen cerca de la ubicación de construcción. Por lo anteriormente mencionado, la alternativa 1 obtuvo la máxima calificación. La alternativa 2 requiere de mayor material que la alternativa 1, dado que tiene una anchura de 93 metros y su costo de desalojo de material y excavación será más elevado y sus materiales de construcción son idénticos que la alternativa 1, sin embargo, este será 2 metros menos alto. Por lo anteriormente mencionado, la alternativa 2 obtuvo una calificación de "3". La alternativa 3 tiene el mismo volumen de material que la alternativa 2, sin embargo, este es de arcilla el cual es más económico y no necesitará encofrado como en las dos alternativas antes presentadas. Por lo anteriormente mencionado, la alternativa 3 obtuvo la máxima calificación.

### **Costo de operación y mantenimiento (OPEX)**

El costo de operación y mantenimiento (OPEX) es fundamenta en la viabilidad y sostenibilidad de la obra, dado que este costo debe ser considerado en el presupuesto anual de la JAAPMAN y es un costo fijo a diferencia del CAPEX que solo ocurre una vez.

La alternativa 1 presenta un reducido costo de mantenimiento por su recubrimiento de hormigón armado, dado que este material no se desintegrará ni será llevado por las fuertes corriente, sin embargo, su altura causa un aumento de costo al tener que revisar el dique porque deben bajar los 4 metros del dique. Por lo anteriormente mencionado, la alternativa 1 obtuvo una calificación de “4”. La alternativa 2 presenta un reducido costo de mantenimiento por sus materiales que no se desprenderán, ni serán llevados por la corriente, sin embargo, sus 93 metros de ancho aumento el costo por su largo recorrido para su revisión periódica. Por lo anteriormente mencionado, la alternativa 2 obtuvo una calificación de “4”. La alternativa 3 presenta un alto costo de mantenimiento, dado que la arcilla es llevará por el río de manera lenta, pero continua. Cada año se debe compactar y agregar la cantidad de arcilla faltante, la cual fue arrastrada por las fuertes corrientes, y esto se hará en sus 93 metros, la cual la convierte en una alternativa con un alto costo de operación y mantenimiento. Por lo anteriormente mencionado, la alternativa 3 obtuvo una calificación de “2”.

### **Aspectos ambientales**

Los aspectos ambientales tienen una ponderación de 15 % porque es un factor importante por la abundancia de flora alrededor del río, no obstante, no es considerada una reserva protegida donde no se pueda remover cierta flora. Aparte de la flora, la fauna también tiene importancia por los insectos y aves que llegan a reposar en los árboles alrededor del río. La calidad de agua es otro aspecto fundamental porque se debe evitar su contaminación y buscar la reducción de la salinidad.

#### **Flora y fauna**

En este aspecto se analiza la cantidad de flora que tendrá que ser removida para la construcción de cada dique y también a los animales que afectará como las aves e insectos. Este análisis se lo realiza trazando el dique en el terreno para saber la flora que debe ser removida.

La alternativa 1 al tener una longitud se analiza y se observa que no tocará mucha flora, dado que en esa parte no hay vegetación y la fauna tampoco se ve afectada, razón por la cual obtuvo la máxima calificación. En la alternativa 2 se presenta una mayor afectación por la longitud del dique y su construcción de hormigón, razón por la cual hay que retirar la vegetación por donde pasará el dique. Por estos motivos la alternativa 2 obtuvo una calificación de “3”. La alternativa 3 tiene la misma longitud que la alternativa 2, sin embargo, al ser de arcilla, es más amigable con la flora a los alrededores y no se la debe retirar, razón por la cual obtuvo la máxima calificación.

### **Calidad del agua**

En este aspecto se analiza la caracterización del agua que tendrá el río una vez construida para alternativa, así como la contaminación que causará su construcción y mantenimiento. El río en condiciones actuales tiene agua contaminada con el agua del mar, es decir, con elevada presencia de salinidad.

En la alternativa 1 se construirá con hormigón, material que no desprende partículas al agua o se desintegra con fuertes corrientes, además su longitud es reducida y servirá como barrera para contener el agua del mar y reducir los niveles de salinidad en el agua del río. Por lo anteriormente mencionado, la alternativa 1 obtuvo la máxima calificación. En la alternativa 2 también se construirá de hormigón, sin embargo, esta alternativa tiene una mayor longitud, razón por la cual obtuvo una calificación de “4”. En la alternativa 3 se tiene también una longitud de 93 metros y será de arcilla, motivo por el cual desprenderá dicho material arcilloso al río cuando este aumente su corriente. Por lo anteriormente mencionado, la alternativa 3 obtuvo una calificación de “3”.

## **Aspectos culturales**

Los aspectos culturales influyen en la construcción porque es la comunidad beneficiada la que debe decidir si satisface sus necesidades y la manera en la que ellos perciben el agua para su aprovechamiento y mejora de calidad de vida.

### **Como percibe la comunidad el agua**

La comunidad ya tiene experiencia con la construcción de los diques, por lo tanto, conocen de primero persona los beneficios que estos ocasionan y el uso que le dan. Aparte de los usos comunes en el agua, la comunidad la percibe de manera recreacional y turística.

La alternativa 1 presenta una mayor cota de corona, por lo que cumplirá el objetivo de usarla de manera recreacional y como sitio de convivencia familiar al poder bañarse en ella, razón por la cual obtuvo la máxima calificación. Las alternativas 2 y 3 presentan una cota de corona menor, razón por la cual se verán limitados a la hora de usarla de manera recreacional. Por lo expuesto, ambas alternativas obtuvieron una calificación de “3”.

### **Opinión del cliente**

En la reunión llevada a cabo con los representantes de la JAAPMAN, se presentó la matriz con las 3 alternativas y manifestaron que ellos querían la alternativa 1, dado que satisfacía todas las necesidades y se adaptaba mejor en todos los temas, por ello esta alternativa obtuvo la máxima calificación y las otras dos obtuvieron un valor de “0”.

El 21 de junio de 2023 se presentaron las tres alternativas con sus respectivas ponderaciones y calificaciones en los aspectos técnicos considerados para su diseño. Esta reunión fue de manera virtual y contó con la presencia del presidente de actual en ese momento de la Junta de Aguas (JAPMAN) en la cual se comentaron sobre las restricciones existentes y la explicación de cada aspecto de la matriz selección de alternativas.

Los representantes de la JAAPMAN coincidieron con todos los aspectos, ponderaciones y puntaje de nuestra matriz y también seleccionaron la primera alternativa como la mejor opción, dado que satisface las necesidades de almacenamiento de agua superficial, recarga de acuífero y la barrera de protección para reducir la salinidad en el agua del río y acuífero. Coincidieron con las restricciones y limitantes, y comunicaron el avance en el retiro de la chanchera ilegal, además de la dificultad de retirar la extensión de la UPSE, por lo cual quedaron muy a gusto que la primera alternativa permita cumplir los objetivos de construcción del dique, sin afectar las estructuras de la UPSE.

El material de construcción más idóneo considerando todos los aspectos fue el de rocas con recubrimiento de hormigón, dado que asegura de manera técnica una mayor vida útil y los representantes de la JAAPMAN coincidieron que era la mejor opción y tenían pensado dichos materiales por la experiencia que se ha tenido en la construcción de anteriores diques.

Se socializaron también los aspectos ambientales, de los cuales se obtuvo una respuesta favorable y el compromiso de construir siguiendo todas las recomendaciones ambientales, para así reducir el impacto que la construcción causará en el medioambiente. Los representantes de la JAAPMAN comunicaron que el hormigón sería el material más idóneo con el apoyo del material grueso para la parte interna, coincidiendo con los aspectos mencionados en la matriz selección de alternativas.

# CAPÍTULO 3

## 3. Geometría del dique

Los criterios de diseño de diques de hormigón a gravedad utilizados se encuentran especificadas en los documentos EM 1110-2-2200 del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US ARMY CORPS) de 1995, así como en la norma rusa SP 40.13330.2no012 publicada en 2012.

A continuación, se hará uso de las ecuaciones propuestas en el libro de Diseño de Obras Hidro-técnicas (Sandoval, W. 2018) para la determinación de las dimensiones de un embalsamiento o dique.

### 3.1. Definición de la geometría

Antes de realizar el pre-dimensionamiento se realizaron varias simulaciones con el caudal de diseño ( $80[\frac{m^3}{s}]$ ) para un periodo de retorno de 100 años, este se calibró tomando en cuenta las inundaciones históricas.

Otro dato importante fue la inundación que sucedió en el año 2020 en donde el poblado fue perjudicado por las intensas lluvias, las casas se inundaron con una altura de agua de 50 y 60 centímetro, lo que dejó pérdidas en enseres de viviendas.



*Ilustración 3-1 El Cuerpo de Bomberos realizó trabajos para drenar el agua. Foto: Enrique Pesantes / EL COMERCIO año 2020*

En esta ocasión el nivel del agua sobre el dique existente alcanzó los 6.81 msnm es decir 2.31 m sobre esa estructura, y también se inundó el pozo 1 que está a una cota de 6.20 msnm.

Con estos datos, es posible estimar las cotas que tendrá nuestro proyecto y las diferentes cotas de diseño que se estiman como sigue:

-Cota NSC: el nivel natural del fondo del río en las coordenadas donde se colocó el dique está en la cota 1.50 msnm

-Cota NAA: el nivel de agua aguas abajo, se consideró la cota máxima de la marea que es de 2.80 msnm

-Cota NAMO: para el nivel de agua de operación del dique se consideró un metro sobre el nivel de la cota del dique existente, 5.60 msnm.

-Cota NAME: se simuló con el caudal de diseño ( $80[\frac{m^3}{s}]$ ), y el dique propuesto.

Dando para condiciones extremas una cota de nivel de agua de 7.14 msnm

Para pre - dimensionar el dique, como se mencionó en el capítulo 2 se deben tener los siguientes datos base.

**Datos:**

*Tabla 3-1 Datos para diseño*

<b>Cota NAME</b> 7.14 msnm
<b>Cota NAMO</b> 5.50 msnm
<b>Cota NAA</b> 2.80 msnm
<b>Cota NSC</b> 1.50 msnm
<b>Nivel de los sedimentos</b> 2 msnm
<b>Caudal</b> $Q_{max}$ $80[\frac{m^3}{s}]$
<b>Cota de la Corona del vertedero</b> 5.60 msnm
<b>Terreno natural:</b> Grava y arena.
$\gamma$ agua=1000 kg/m <sup>3</sup>
$\gamma$ concreto=2400 kg/m <sup>3</sup>
$\gamma$ azolves=2700 kg/m <sup>3</sup>
<b>D = Fetch</b> = 0.173 km
<b>w - Velocidad del viento</b> = 18.5 km/h

**Talud aguas abajo m2= Según necesidades de estabilidad**  
**Talud aguas arriba m1= 0,8**  
**Zona Sísmica V**  
**(Escala de Mercalli, I=8)**  
**Porosidad de los azolves n = 0,3**

### **Altura del dique**

Para obtener la altura del reservorio se tomó en cuenta que el nivel del agua con el caudal de diseño calibrado tenga un 30 % de borde libre con la cota de la corona del dique. Luego de varias simulaciones con el caudal de diseño ( $80[\frac{m^3}{s}]$ ) para un periodo de retorno de 100 años y tomando en consideración la llanura de inundación probable, y que el funcionamiento del dique existente no se vea afectado, la altura del vertedero será de 5.50 metros sobre el nivel del mar, mientras que la cota de la corona del dique será de 8 metros sobre el nivel del mar, respetando el 30% de borde libre (Chow, 1985). La cota del cauce del río para estas condiciones extremas es de 7.14 metros sobre el nivel del mar, es decir, 1.64 metros sobre el vertedero con un borde libre de 86 centímetros.

### **Cota de la corona del dique**

Para determinar la altura de la ola se utilizarán las ecuaciones mencionadas en el capítulo 2 en las que se ingresa la velocidad del viento y el Fetch.

**Se procede a calcular los coeficientes:**

$$\beta = \frac{1}{9 + 19 * e^{-\frac{14}{W}}}$$

$$\beta = \frac{1}{9 + 19 * e^{-\frac{14}{18.5}}}$$

$$\beta = 0.035805$$

$$k = 1 + e^{-0.4 * \frac{D}{W}}$$

$$k = 1 + e^{-0.4 * \frac{0.173}{18.5}}$$

$$k = 1.996$$

Al tratarse de una zona sísmica se requiere calcular la altura de la ola por sismo con las ecuaciones y los siguientes datos:

**Según la NEC-SE-DS (2014) para la zona sísmica V; Z=0,5**

**Tabla 3.6, roca buena:**  $t_e = 0.45[s]$

**Profundidad del agua:**  $H = 7.14[m] - 1.50[m] = 5.64[m]$

Se asume que,  $Z = 0.5$

$$hs = 0.5 * Z * t_e * \sqrt{g * H}$$

$$hs = 0.5 * 0.5 * 0.45[s] * \sqrt{9.8\left[\frac{m}{s^2}\right] * 5.64[m]}$$

$$hs = 0.8364[m]$$

**Cota de corona para el sismo**

$$d_s = 0.4[m] + 0.76 * (8[m] - 6[m])$$

$$d_s = 1.92[m]$$

Cota de la corona = NAMO + d sismo

Cota de la corona por sismo = 5.60 + 1.92 = 6.52 msnm

**Cota definitiva de la corona del dique**

Considerando que la cota del embalse en el NAMO no es permanente, ya que se busca que el dique sea un vertedero en función constante y que simulando la ola sísmica en conjunto con el peor escenario no se sobrepasa la altura del puente aguas abajo, se decide establecer la cota de la corona del dique en 8 msnm

**Altura del dique**

$$Cota\ de\ corona = 8.0[msnm]$$

$$NSC = 1.50[msnm]$$

$$Altura\ del\ dique = cota\ de\ corona - NSC$$

$$Altura\ del\ dique = 8.0[m] - 1.50[m]$$

$$Altura\ del\ dique = 6.50 [m]$$

**Borde libre**

$$Borde\ libre = h + a$$

$$Borde\ libre = 0.212[m] + 0.80[m]$$

$$\text{Borde libre} = 1.012[m]$$

La altura del dique propuesto respeta y supera el borde libre necesario para condiciones extremas y la ola sísmica (Erazo, 2018)

Tabla 3-2 Cotas de elementos

Elementos	Cota
Dique	8.00 msnm
Vertedero	5.50 msnm

### Ancho de la corona

#### USBR

$$B = 3[m] + \frac{H}{5}$$

$$B = 3[m] + \frac{4[m]}{5}$$

$$B = 3.80[m]$$

Para zonas sísmicas se opta por

$$B = 1.6 * H^{0.315}$$

$$B = 1.6 * (4)^{0.315}$$

$$B = 2.47[m]$$

A la luz de los métodos mostrados se decide adoptar un ancho de corona de 2.50 m.

### Definición de los taludes

En el caso de un dique de gravedad, la inclinación del talud en el lado aguas abajo puede variar dentro de un rango de 0.6 a 1.0.

Sin embargo, debido a que este se encuentra en una zona sísmica, se tomó la decisión de establecer el talud de aguas abajo en  $m_2 = 0.6$ .

Con el valor asumido se tiene que la longitud de la base es:

$$B = m_1 * H + m_2 * H + l$$

$$B = 1 * 4[m] + 0.6 * 4[m] + 2.5[m]$$

$$B = 4[m] + 2.4[m] + 2.5[m]$$

$$B = 8.9[m]$$

### Relación de esbeltez

$$\beta = B/P$$

$$\beta = \frac{8.9}{6.5}$$

$$\beta = 1.369$$

Cumple con lo esperado ya que es un dique a gravedad, donde  $\beta > 1$

### 3.2. Vida útil de la estructura

Utilizando las ecuaciones enunciadas en el capítulo 2 que proponen Brume y Mohammed se obtuvo lo siguiente:

Tabla 3-3 Vida útil de la estructura

	Cantidad	Unidad
H	4	m
L	45	m
T	173	m
Volumen del reservorio	28572	m <sup>3</sup>
Volumen de reservorio	23,16	acre * ft
Área	20,03	mi <sup>2</sup>
C/A	1,15	acre * ft/mi <sup>2</sup>
k	0,2	El suelo superficial es arenoso con presencia de gravas por eso k
E	19%	
C/I	0,0025	
I	0,058	acre * ft/año

Se obtuvo una eficiencia del 19% en retención de material. Es necesario tener presente que existe un dique previo al propuesto, que no se tomó en cuenta en los cálculos, este dique existente retendrá la mayor cantidad de sedimentos. Al desconocer el peso promedio de los sedimentos que se transportan en el fondo se toma de la literatura el valor G de 145.8 lb/año.

Tabla 3-4 Porcentaje de pérdida de embalse de agua

% de almacenamiento de agua en el embalse	Capacidad del reservorio C[acre*ft]	Volumen Retenido[m3]	Δt [año]
100	1009009.84	0	0
75	756757.38	1088.69	1097.047
50	504504.92	2177.38	2194.09
25	252252.46	3266.08	3291.14
0	0	4354.77	4388.19

Como se observa en la tabla 3.4, para tener una reducción de la capacidad de embalse del 25 % se deben retener por lo menos 1088.69 m<sup>3</sup>, por lo cual se desprecia los valores de sedimentación, dado que el dique existente a 173 metros

retiene la mayoría de los sedimentos. Sin embargo, se debe llevar un control en época seca para limpiar los sedimentos que se acumulen en la parte baja del talud del dique.

### 3.3. Determinación de las fuerzas

Las fuerzas se las determina para una dovela de un metro de ancho, ya que  $L > 3H$ , es decir la longitud del dique es 3 veces mayor que la altura de este.

#### Fuerzas de Presión

Las fuerzas de presión que afectan el dique son consecuencia del empuje del agua en ambas direcciones (aguas arriba y aguas abajo) contando también con la fuerza que ejerce el agua del mar y del empuje por inmersión en la base de la estructura.

$$H_1 = Cota NAME - Cota NSC + 1[m]$$

$$H_1 = 7.14[m] - 1.50[m] + 1[m]$$

$$H_1 = 6.64[m]$$

$$H_2 = Cota NAA - Cota NSC + h_{cimiento}$$

$$H_2 = 2.80[m] - 1.50[m] + 1[m]$$

$$H_2 = 2.30[m]$$

$$W_1 = \frac{1}{2}[m] * \gamma_{H_2O} * H_1^2$$

$$W_1 = \frac{1}{2}[m] * 1 \left[ \frac{Ton}{m^3} \right] * (6.64[m])^2$$

$$W_1 = 22.045[Ton]$$

$$W_2 = \frac{1}{2}[m] * \gamma_{WS} * H_2^2$$

$$W_2 = \frac{1}{2}[m] * 1.03 \left[ \frac{Ton}{m^3} \right] * (2.30[m])^2$$

$$W_2 = 2.724[Ton]$$

$$W_3 = \frac{1}{2}[m] * \gamma_{H_2O} * H_1^2 * m_1$$

$$W_3 = \frac{1}{2} [m] * 1 \left[ \frac{Ton}{m^3} \right] * (6.64[m])^2 * 1$$

$$W_3 = 22.045[Ton]$$

$$W_4 = \frac{1}{2} [m] * \gamma_{ws} * H_2^2 * 0.6$$

$$W_4 = \frac{1}{2} [m] * 1.03 \left[ \frac{Ton}{m^2} \right] * (2.30[m])^2 * 0.6$$

$$W_4 = 1.6346[Ton]$$

$$E = \gamma \cdot V_{cp}$$

Para calcular el volumen sumergido usamos el software AUTOCAD para simular el dique

$$V_{cp} = \text{Área} * \text{Ancho}$$

$$V_{cp} = 10.218[m^2] * 1[m]$$

$$V_{cp} = 10.218[m^3]$$

$$E = \gamma_{ws} * V_{cp}$$

$$E = 1.03 \left[ \frac{Ton}{m^3} \right] * 10.218[m^3]$$

$$E = 10.5245[Ton]$$

### **Peso de la estructura**

El peso del dique se calcula de acuerdo con las áreas de los elementos geométricos que lo conforman. El peso específico de la piedra es igual al peso específico del hormigón, el cual tiene un valor de  $2.4 \left[ \frac{Ton}{m^3} \right]$ .

$$P_p = \gamma_h * A_d$$

$$P_p = 2.4 \left[ \frac{Ton}{m^3} \right] * 29.05[m^2]$$

$$P_p = 69.72 \left[ \frac{Ton}{m} \right]$$

### Fuerza de subpresión

Para el cálculo de la subpresión fue necesario identificar el coeficiente de filtración según el tipo de suelo de la zona (arena gruesa) mediante la tabla 3.4

Tabla 3-5 Coeficientes de filtración de varios suelos (Zhuravliov, 1979)

NOMBRE DEL SUELO	COEFICIENTE DE FILTRACIÓN	
	cm/s	m/día
Grava lavada	> 0.1	> 80
Arena gruesa	0.1 a 0.2	80 a 17
Arena fina	0.05 a 0.01	40 a 8
Arena arcillosa	0.002 a 0.001	4 a 0.8
Marga arenosa suelta	0.005 a 0.001	1.5 a 0.08
Marga arenosa compacta	0.0005 a 0.0001	4 a 0.8
Limo	< 0.0001	< 0.08
Arcilla	< 0.000001	< 0.0008

La verificación del coeficiente de permeabilidad fue en base a un estudio realizado años anteriores en la zona, por lo que la conductividad usada para los cálculos fue de 0.2.

El siguiente parámetro que se determinó fue el gradiente crítico a partir de la tabla 3.5 proporcionada por (SP 23.13330.2011, 2011), el valor usado para arena gruesa fue de 0.48. De acuerdo con datos proporcionados

Tabla 3-6 Gradientes críticos de acuerdo con el suelo, (SP 23.13330.2011, 2011)

NOMBRE DEL SUELO	GRADIENTE CRÍTICO ( $J_{cr}$ )
Arena fina	0.32

Arena media	0.42
Arena gruesa	0.48
Marga	0.60
Limo	0.80
Arcilla	1.35

Para determinar el espesor del estrato activo, se utilizó la relación de la proyección horizontal ( $L_o$ ) con la proyección vertical ( $S_o$ ), en la imagen 2.6 se verifica las proyecciones (Chugaev, 1985).

### Presión por Sedimentos

$$h_a = 2 - 1.50 = 0.50[m]$$

$$\gamma_a = 2,7 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\gamma_w = 1 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]$$

$$n = 0.3 \text{ (dato)}$$

$$W_a = 2[m] * \frac{0,5[m]^2}{2} * 1 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]$$

$$W_a = 0.25 \text{ [ton]}$$

### Presión por Impacto de una ola

$$d_s = 0.4 + 0.76 * (8[m] - 6[m])$$

$$d_s = 1.92[m]$$

## Socavación

Tabla 3-7 Tipo de suelo y Velocidad de solidos sueltos

Tipo de material	Tirante [m]	$V_{ss} [\frac{m}{s}]$
Arena margosa, arcilla ligeramente margosa con baja compactación	1	0.4
Arcilla altamente margosa de baja densidad	3	0.5
Arcilla de baja densidad	10	0.6
Arcilla ligeramente margosa con compactación mediana	1	0.8
Arcina altamente margosa de mediana densidad	3	1.0
Arcilla de densidad media	10	1.3
Arcilla ligeramente margosa (densa)	1	1.2
Arcilla altamente margosa /densa)	3	1.5
Arcilla dura	10	1.9

Hoffmans & Verheij (1997); May, Ackers & Kirby, (2002)

El suelo es mayormente arena margosa, por lo cual su  $v_{ss}$  es de  $0.4[\frac{m}{s}]$ .

Según Breusers, et al., (1977):

Si  $\frac{v}{v_{ss}} < 0.5$ : No hay socavación.

Si  $0.5 < \frac{v}{v_{ss}} < 1.0$ : Socavación "agua limpia".

Si  $\frac{v}{v_{ss}} > 1.0$ : Socavación "de fondo movil".

El caudal de diseño es de  $80[\frac{m^3}{s}]$ , el cual fue el máximo histórico registrado.

$$Q = 80[\frac{m^3}{s}]$$

$$v_m = K_s * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$v_m = 33.32 * (1.85[m])^{\frac{2}{3}} * 0.005^{\frac{1}{2}}$$

$$v_m = 1.85[\frac{m}{s}]$$

$$\frac{v}{v_{ss}}$$

$$\frac{1.85[\frac{m}{s}]}{0.4[\frac{m}{s}]}$$

$$4.625 > 1$$

Por lo tanto, se concluye que existirá socavación, por tanto, se procede entonces a calcular la dimensión de la cimentación:

$$t = 0.73[m]$$

$$\gamma_s = 1.45[\frac{ton}{m^3}]$$

$$\beta = 0.97$$

$$t_s = \left[ \frac{\left( \alpha * t^{\frac{5}{3}} \right)}{\left( 0.6 * \gamma_s^{1.18} * \beta \right)} \right]^{\frac{1}{x+1}}$$

$$t_s = \left[ \frac{\left( 3.41 * (0.73[m])^{\frac{5}{3}} \right)}{\left( 0.6 * \left( 1.45 \left[ \frac{ton}{m^3} \right] \right)^{1.18} * 0.97 \right)} \right]^{0.75}$$

$$t_s = 1.8[m]$$

$$H_s = 1.8[m] - 2.5[m]$$

$$H_s = -0.7[m]$$

Como existe una socavación de 70 centímetros, se decide realizar la cimentación a 1 metro de profundidad, dejando más del 40 % de margen. Adicionalmente, se deja como recomendación un mejoramiento en la caída de los aliviaderos con

rocas de 6 pulgadas para mayor protección, y en las orillas del dique para hacer frente a la socavación.

### 3.4. Análisis de estabilidad del dique

#### Cálculo de fuerzas de empuje producidas aguas arriba

$$\gamma_w = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$y = 4[m]$$

$$E_v = \gamma_w * \frac{y^2}{2}$$

$$E_v = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \frac{(4[m])^2}{2}$$

$$E_v = 8000 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

$$E_h = \gamma_w * \frac{z * y^2}{2}$$

$$E_h = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \frac{4 * (4[m])^2}{2}$$

$$E_h = 32000 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

#### Cálculo de fuerzas de empuje producidas aguas abajo

$$\gamma_{ws} = 1030 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$y = 1.30[m]$$

$$E_v = \gamma_{ws} * \frac{y^2}{2}$$

$$E_v = 1030 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \frac{(1.3[m])^2}{2}$$

$$E_v = 870.35 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

$$E_h = \gamma_{ws} * \frac{z * y^2}{2}$$

$$E_h = 1030 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \frac{2.4 * (1.3[m])^2}{2}$$

$$E_h = 2088.84 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

### Cálculo de fuerzas por subpresión

$$\gamma_w = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$y = 1.1[m]$$

$$E_v = 0.5 * \gamma_w * H * (1 - \alpha_0) * L * \alpha_2$$

$$E_v = 0.5 * 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 6.5[m] * (1 - 0.05) * 4.45[m] * 0.8$$

$$E_v = 10991.5 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

$$E_h = 1008 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

### Cálculo del peso propio del dique

$$\gamma_h = 2400 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$A_d = 29.05[m^2]$$

$$W_d = \gamma_h * A_d$$

$$W_d = 2400 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 29.05[m^2]$$

$$W_d = 69720 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

$$\sum F_v = E_v + E_v + E_v + W_d$$

$$\sum F_v = 8000 \left[ \frac{kg}{m} \right] + 870.35 \left[ \frac{kg}{m} \right] + 10991.5 \left[ \frac{kg}{m} \right] + 69720 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

$$\sum F_v = 89581.85 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

$$\sum F_h = E_h + E_h + E_h$$

$$\sum F_h = 32000 \left[ \frac{kg}{m} \right] + 2088.84 \left[ \frac{kg}{m} \right] + 1008 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

$$\sum F_h = 35096.84 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

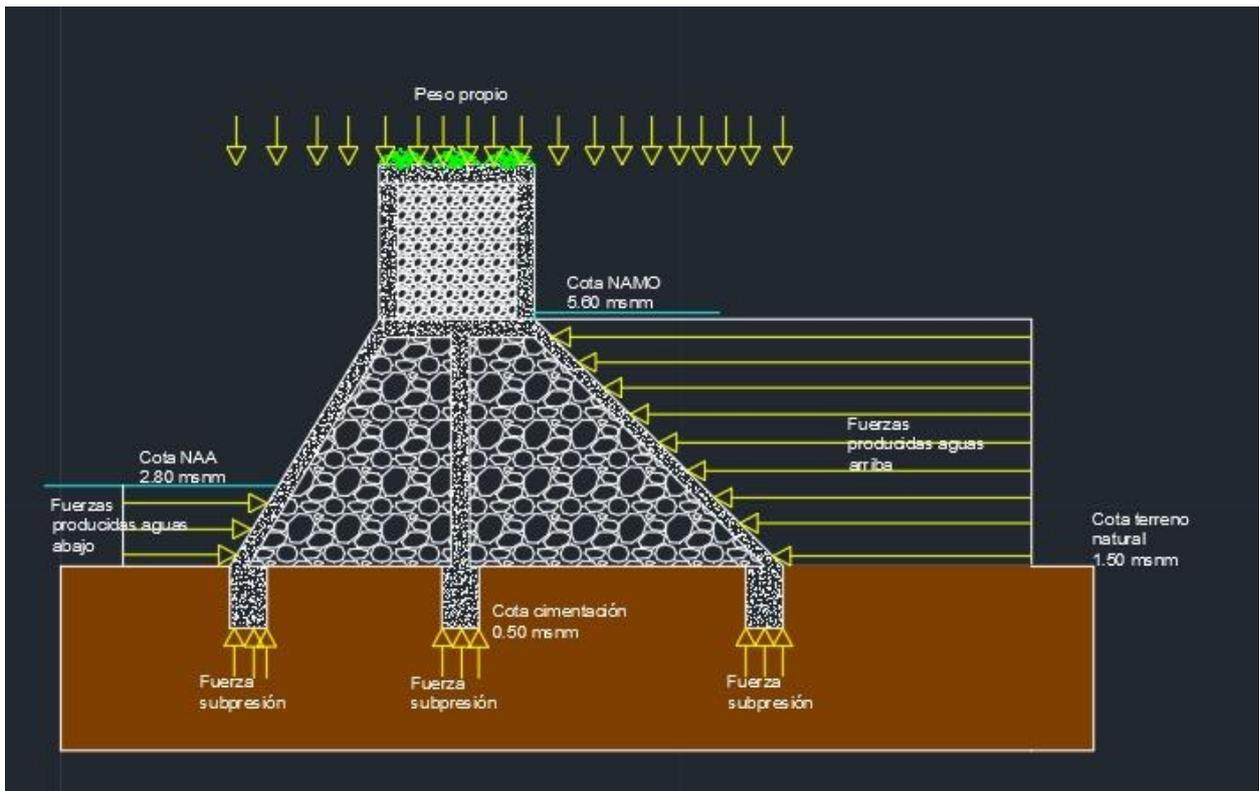


Ilustración 3-2 Fuerzas aplicadas al dique

### Análisis por deslizamiento horizontal

$$F_{dh} = \frac{\sum F_v}{\sum F_h} \geq 2.0$$

$$F_{dh} = \frac{89581.85 \left[ \frac{kg}{m} \right]}{35096.84 \left[ \frac{kg}{m} \right]} \geq 2.0$$

$$F_{dh} = 2.55 \geq 2.0$$

Se concluye que el dique no falla por deslizamiento horizontal.

### Análisis por volteo

$$\sum M_A = E_h * 1[m] * \frac{2}{3} * y$$

$$\sum M_A = 1008 \left[ \frac{kg}{m} \right] * 1[m] * \frac{2}{3} * 5.64[m]$$

$$\sum M_A = 3790.08[kg \cdot m]$$

$$W_1 = \gamma * A_1 * 1[m]$$

$$W_1 = 2400 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 8[m^2] * 1[m]$$

$$W_1 = 19200[kg]$$

$$W_2 = \gamma * A_2 * 1[m]$$

$$W_2 = 2400 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 10[m^2] * 1[m]$$

$$W_2 = 24000[kg]$$

$$W_3 = \gamma * A_3 * 1[m]$$

$$W_3 = 2400 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 4.8[m^2] * 1[m]$$

$$W_3 = 11520[kg]$$

$$\sum F_h = 35096.84 \left[ \frac{kg}{m} \right] * 1[m]$$

$$\sum F_h = 35096.84[kg]$$

$$M_1 = W_1 * L_1$$

$$M_1 = 19200[kg] * 6.23[m]$$

$$M_1 = 119680[kg * m]$$

$$M_2 = W_2 * L_2$$

$$M_2 = 24000[kg] * 3.71[m]$$

$$M_2 = 89040[kg * m]$$

$$M_3 = W_3 * L_3$$

$$M_3 = 11520[kg] * 1.60[m]$$

$$M_3 = 18432[kg * m]$$

$$M_{Ev} = \sum F_h * L_{Ev}$$

$$M_{Ev} = 35096.84[kg] * 6.23[m]$$

$$M_{Ev} = 218770.30[kg * m]$$

$$M_{sub} = -E_v * L_{sub}$$

$$M_{sub} = -55000[kg] * 6.23[m]$$

$$M_{sub} = -342650[kg * m]$$

$$\sum M_R = M_1 + M_2 + M_3 + M_{Ev} + M_{sub}$$

$$\sum M_R = 119680[kg * m] + 89040[kg * m] + 18432[kg * m] + 218770.30[kg * m] - 342650[kg * m]$$

$$\sum M_R = 103272.30[kg * m]$$

$$F_{sv} = \frac{\sum M_R}{\sum M_A} \geq 1.5$$

$$F_{sv} = \frac{103272.30[kg * m]}{3790.08[kg * m]} \geq 1.5$$

$$F_{sv} = 27.25 \geq 1.5$$

Se concluye que el dique no se volteará.

### 3.5. Estabilidad de taludes

Para verificar las dimensiones del dique se realizó la estabilización de sus taludes mediante un “software”.

Se obtuvo un factor de seguridad mayor a 1.5 lo que significa que existe la suficiente resistencia en el suelo de la zona para soportar los esfuerzos cortantes que provocan fallas o deslizamientos.

### 3.6. Diseño de pantalla de hormigón

Para determinar el espesor de la pantalla de hormigón ubicada aguas arriba se utiliza la siguiente ecuación:

$$t = 1 + (0.00735 * h)[ft]$$

$$t = 1 + (0.00735 * 6.5)[ft]$$

$$t = 0.30 m$$

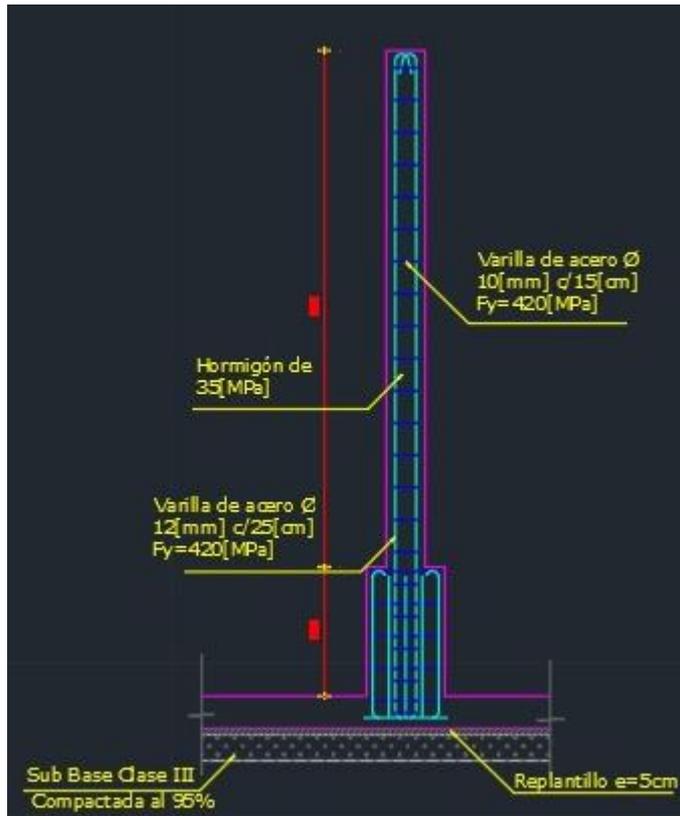


Ilustración 3-3 Pantalla de hormigón

### 3.7. Diseño de cimentación

Los diques son los encargados de contener al río en condiciones extremas por esto es importante realizar el diseño de su cimentación,

$$B = 0.60[m]$$

$$Df = 1[m]$$

$$\frac{Df}{B}$$

$$\frac{1[m]}{0.60[m]}$$

$$1.667 \leq 4$$

Al tener una relación menor a 4, es considerada una cimentación superficial según la NEC.

Como el suelo es mayormente grava y arena compactada, se considera un ángulo de fricción de suelo de:

$$\varphi = 30^\circ$$

De acuerdo con el ensayo de gravedad específica desarrollado en el capítulo 2, se obtiene:

$$G_s = 2.4086$$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

$$2.4086 = \frac{\gamma_s}{0.9958 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]}$$

$$\gamma_s = 2.4086 * 0.9958 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

$$\gamma_s = 2.3985 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

$$\gamma_s = 2.3985 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] * 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$\gamma_s = 23.53 \left[ \frac{kN}{m^3} \right]$$

Como el nivel freático se encuentra a 80 centímetros y la profundidad de cimentación es de 1 metro, se debe corregir el peso específico del suelo.

$$\gamma' = \gamma_s - \gamma_w$$

$$\gamma' = 23.53 \left[ \frac{kN}{m^3} \right] - 9.81 \left[ \frac{kN}{m^3} \right]$$

$$\gamma' = 13.72 \left[ \frac{kN}{m^3} \right]$$

Según la tabla de factores de capacidad de carga de Terzaghi de Kumbhojkar (1993) se obtiene:

Tabla 3-8 Factores de capacidad de carga de Terzaghi de Kumbhojkar

$\phi'$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma^a$	$\phi'$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma^a$
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

$$N_c = 37.16$$

$$N_q = 22.46$$

$$N_\gamma = 19.13$$

$$\sigma'_{zD} = \gamma_s * Df$$

$$\sigma'_{zD} = 23.53 \left[ \frac{kN}{m^3} \right] * 1[m]$$

$$\sigma'_{zD} = 23.53 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

Por el valor de ensayo triaxial, se obtiene:

$$c' = 55 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

$$q_{ult} = c' * N_c + \sigma'_{zD} * N_q + 0.5 * \gamma' * B * N_\gamma$$

$$q_{ult} = 55 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 37.16 + 23.53 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 22.46 + 0.5 * 13.72 \left[ \frac{kN}{m^3} \right] * 0.6[m] * 19.13$$

$$q_{ult} = 2043.80 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] + 528.48 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] + 78.74 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

$$q_{ult} = 2651.02 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

Se obtiene el factor de seguridad según la NEC en el cual se escoge el valor más alto para asegurarnos de su óptimo desempeño.

$$F_s = 3$$

Se obtiene la carga admisible con el factor de seguridad de la NEC.

$$q_{adm} = \frac{q_{ult}}{F_s}$$

$$q_{adm} = \frac{2651.02 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]}{3}$$

$$q_{adm} = 883.67 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

Analizamos el esfuerzo de contacto (q) de la estructura, según Coduto (2016).

Para simplificar resultados, se analizará sobre un metro:

$$b = 1[m]$$

$$\gamma_h = 2.4 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] * 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$\gamma_h = 23.544 \left[ \frac{kN}{m^3} \right]$$

A más de la carga de la estructura, se agregará un valor de carga viva basado en la NEC, el cual será tomado como una cubierta para área de

paseo, siendo la más alta en su categoría, dado que el dique servirá como espacio turístico y recreacional.

$$Cv = 4.8 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 1[m]$$

$$Cv = 4.8 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

$$A = 13.54[m^2]$$

$$Cm = A * \gamma_h$$

$$Cm = 13.54[m^2] * 23.544 \left[ \frac{kN}{m^3} \right]$$

$$Cm = 318.79 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

$$\frac{P}{b} = 1.6 * Cv + 1.2 * Cm$$

$$\frac{P}{b} = 1.6 * 4.8 \left[ \frac{kN}{m} \right] + 1.2 * 318.79 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

$$\frac{P}{b} = 7.68 \left[ \frac{kN}{m} \right] + 382.55 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

$$\frac{P}{b} = 390.23 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

$$\frac{W_f}{b} = B * Df * \gamma_h$$

$$\frac{W_f}{b} = 0.6[m] * 1[m] * 23.544 \left[ \frac{kN}{m^3} \right]$$

$$\frac{W_f}{b} = 14.1264 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

$$B = 0.6[m]$$

$$u_D = \gamma_w * N_f$$

$$u_D = 9.81 \left[ \frac{kN}{m^3} \right] * 0.2[m]$$

$$u_D = 1.962 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

$$q = \frac{P}{b} + \frac{W_f}{b} - u_D$$

$$q = \frac{390.23 \left[ \frac{kN}{m} \right] + 14.1264 \left[ \frac{kN}{m} \right]}{0.6[m]} - 1.962 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

$$q = \frac{404.3564 \left[ \frac{kN}{m} \right]}{0.6[m]} - 1.962 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

$$q = 673.927 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] - 1.962 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

$$q = 671.97 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

$$q_{adm} > q$$

$$883.67 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] > 671.97 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

Se comprueba que la cimentación es la correcta y se descartan hundimientos o fallas por cimentación.



Ilustración 3-4 Cimentación

### **3.8. Diseño de recubrimiento de hormigón**

El recubrimiento de hormigón de acuerdo con el USBR para presas o diques pequeños debe ser como mínimo 15 cm, en este caso se optó por 30 cm de espesor con una malla electrosoldada de 8[mm] longitudinal, 8[mm] transversal con espaciamiento de 20[cm] longitudinal y 20[cm] transversal.

### **3.9. Modelado en Hec-Ras**

En el programa Hec-Ras se corrió el modelo del puente y el dique existente en la topografía obtenida en el programa de procesamiento de imágenes con dron, para perfeccionar el caudal, llegando al punto máximo. Como punto máximo se escogió el entregado por los comuneros y de lo que se observó en sitio, dos metros por debajo de la parte más baja del puente. La capa de rodadura del puente (la parte superior) tiene una cota de 7.90 metros sobre el nivel del mar, mientras que la parte inferior del puente se encuentra a 6.50 metros sobre el nivel del mar.



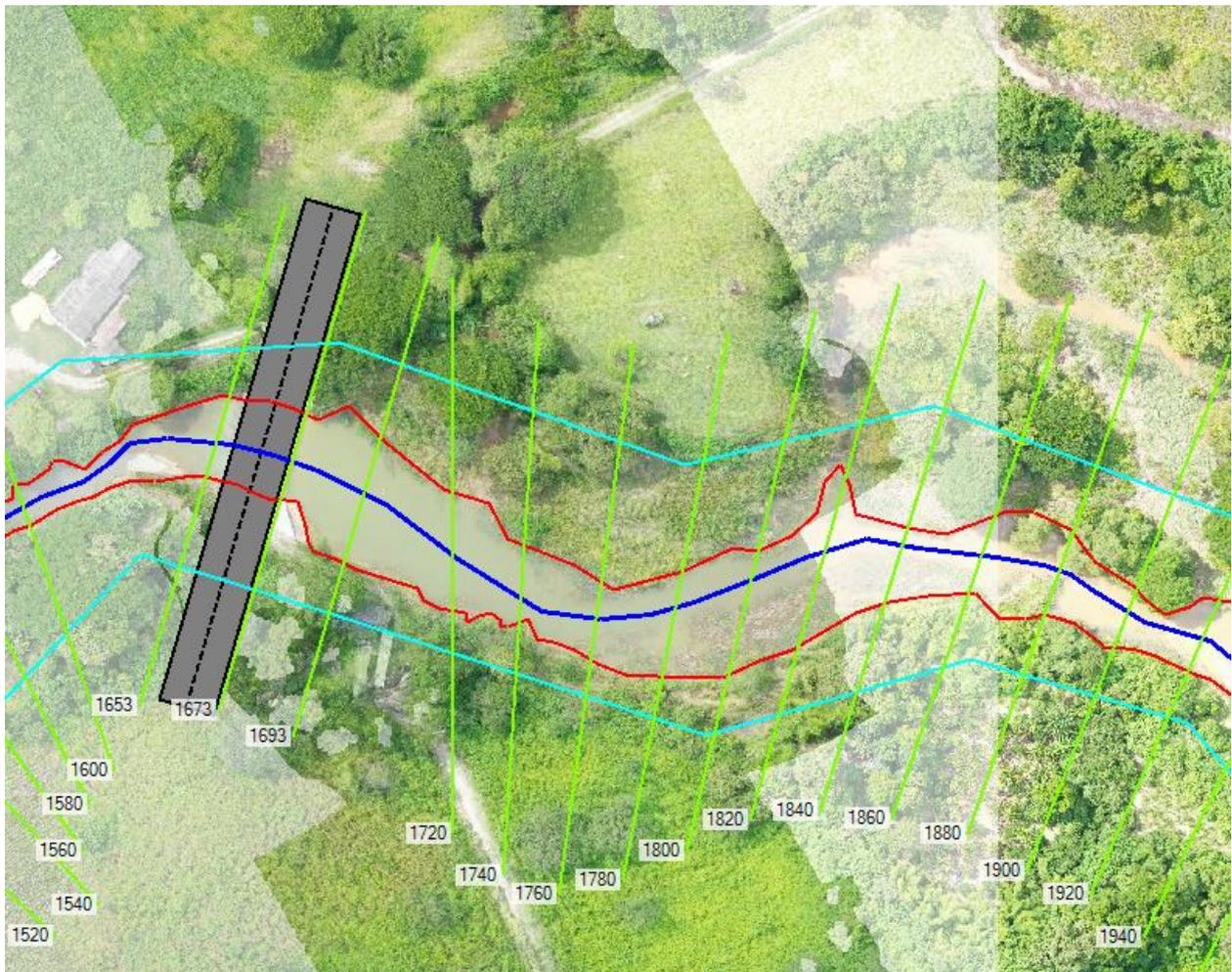
*Ilustración 3-5 Puente aguas abajo del rio Manglaralto*

El puente descrito en el párrafo anterior fue sometido a simulaciones en el “software” Hec-Ras, dado que este desempeña un papel crucial en la calibración del caudal de diseño, porque la inundación más crítica tuvo lugar cuando el puente ya estaba en funcionamiento. A través del análisis hidráulico, fue ubicado en el punto 1022 teniendo 11.90 metros de ancho, tal como se observa en la figura 3.2. Este proceso permite una simulación más precisa, cuya planificación hidráulica toma en cuenta todas las estructuras y agentes exteriores que puedan verse afectadas con la nueva cota del río.



Ilustración 3-6 Simulación del puente

Para la calibración del caudal con el puente, fue necesaria la simulación del dique preexistente, el cual tiene 35 metros de longitud, siendo una característica esencial para observar el comportamiento de diques en el río Manglaralto. La cota de corona de este dique es de 4.50 metros, teniendo un ancho total incluyendo los taludes de 14 metros, ubicado en el punto 1673, tal como se observa en la ilustración 3.3. Con todas estas condiciones y características, se observará el comportamiento del agua y del dique antes de simular el dique propuesto y después del dique; asegurando de esta manera una planificación hídrica exhaustiva y robusta.



*Ilustración 3-7 Simulación de puente con ancho de taludes*

Con caudal de  $80 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$  dio el punto exacto de dos metros por debajo de la parte inferior del puente, tal como se muestra en la ilustración 3.4, dando el resultado esperado para conocer el caudal de diseño. La cota a la que se ubica el nivel de agua debajo del puente es de 4.50 metros sobre el nivel del mar, en la cual se observa que no llega a alcanzar a los estribos, lo cuales tienen 10 metros de ancho y están separados por 45 metros; de esta manera se evita deterioro del hormigón por el contacto del agua.

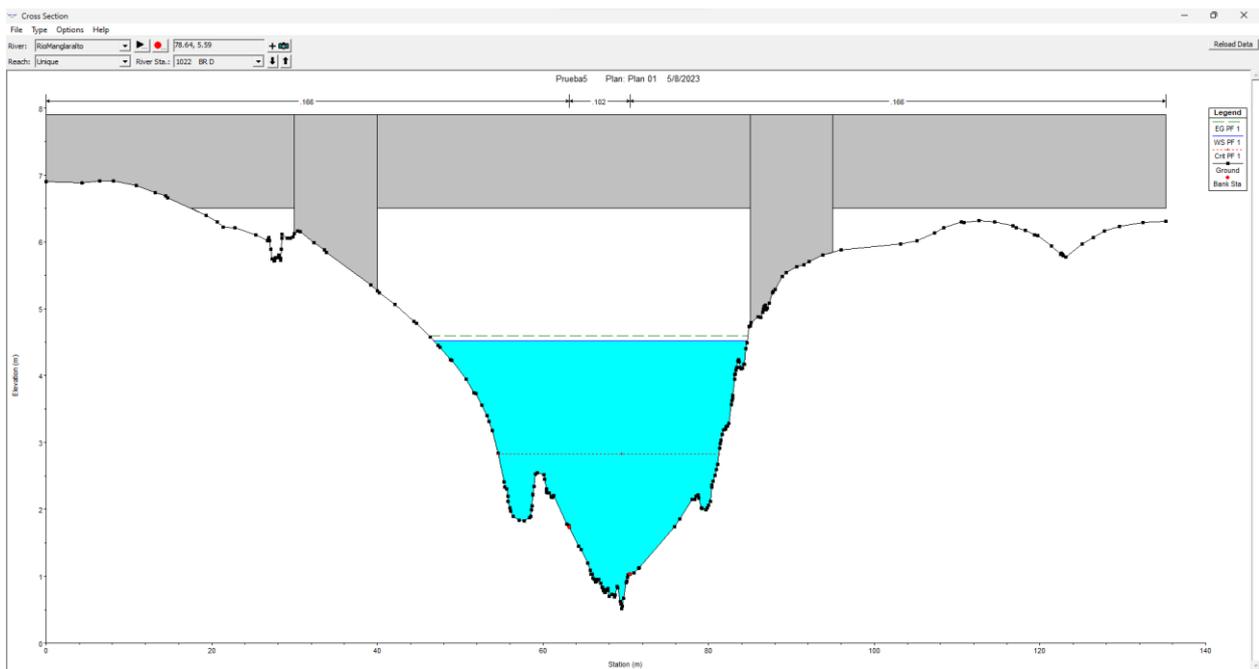


Ilustración 3-8 Estimación de caudal máximo en el puente

El dique existente tiene una cota de 4.50 metros sobre el nivel del mar; su llanura de inundación es toda el área celeste observada en la ilustración 3.7



Ilustración 3-9 Llanura de inundación del dique actual

La zona afectada en caso de rotura del dique existente aguas abajo es la mostrada en celeste en la ilustración 3.8

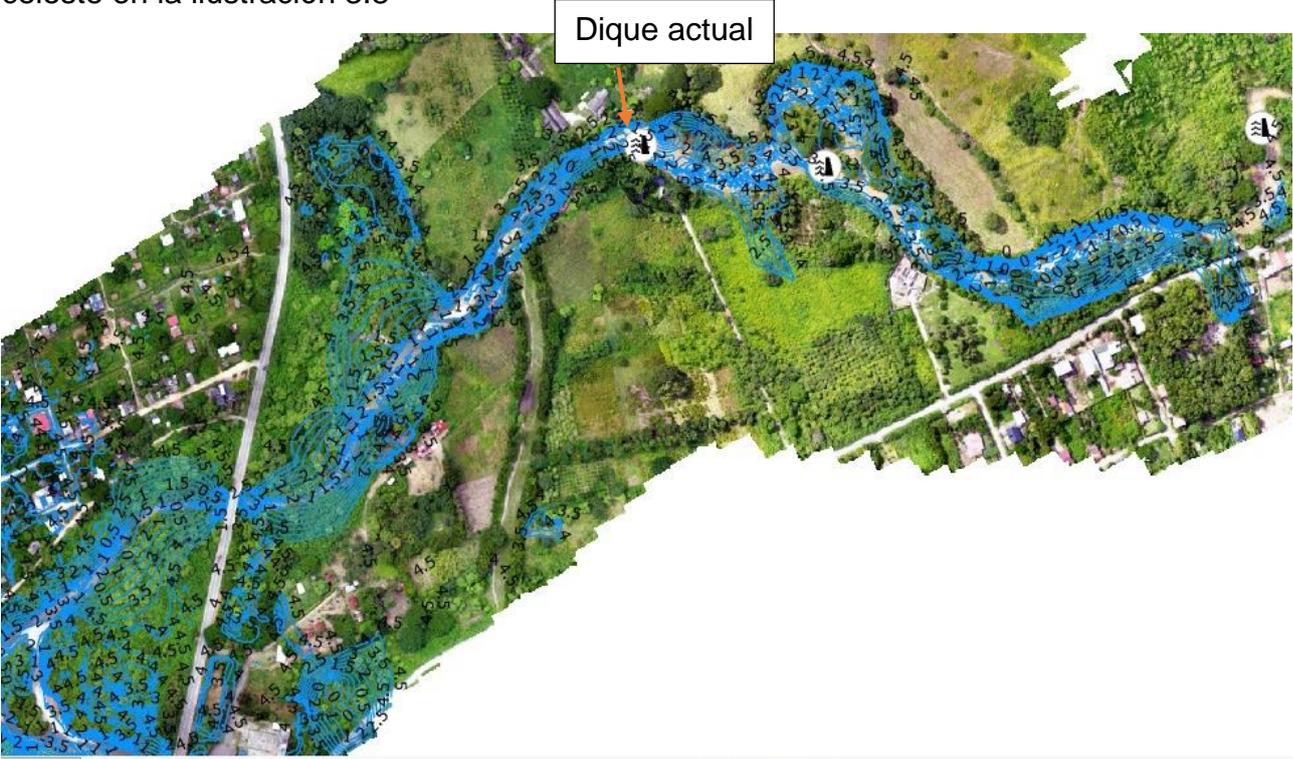


Ilustración 3-10 Zona afectada en caso de rotura del dique

Al ser simulado con el caudal de  $80 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$  se obtuvo un nivel de agua de 2.31 metros por encima de la corona del dique preexistente, es decir, la cota del nivel de agua llega a los 6.81 metros sobre el nivel del mar, tal como se muestra en la ilustración 3.5. El flujo del agua pasó por toda la longitud del dique, dado que no cuenta con vertedero que permita conducir el flujo del agua de manera más controlada.

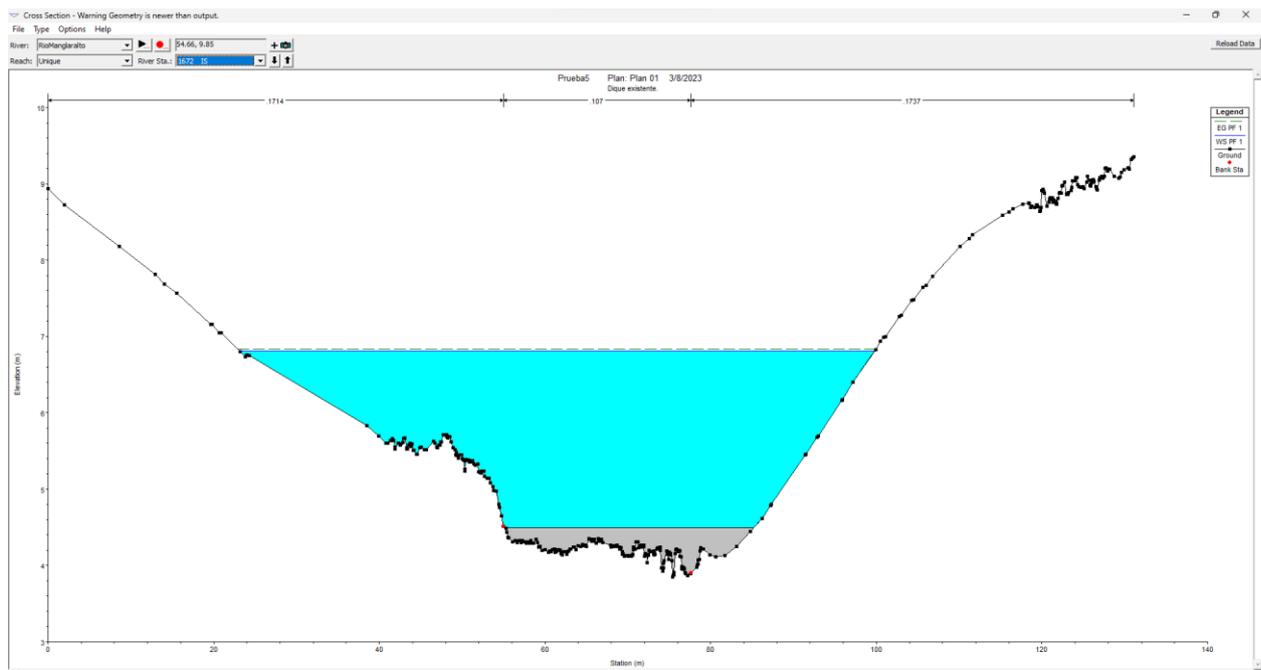


Ilustración 3-11 Simulación del dique existente

Una vez calibrado el caudal, se procede a modelar el dique propuesto, el cual se escogió la altura de 7.25 metros sobre el nivel del mar como cota de corona y un vertedero de 5.50 metros sobre el nivel del mar, tal como se muestra en la ilustración 3.6. El dique fue ubicado en el punto 1499, con una longitud de 45 metros total y ancho de 8.90 metros. De esta manera se puede comparar como cambiará el flujo del agua en la peor inundación existente con el dique existente y si se debe tomar medidas de prevención para proteger las estructuras actuales teniendo como base la inundación sin el dique propuesto.



Ilustración 3-12 Simulación del dique propuesto

Al simular el dique propuesto, se obtiene un nivel de agua de 7.14 metros sobre el nivel del mar, es decir, 1.64 metros sobre el vertedero y un borde libre de 86 centímetros, más del 30 % tal y como recomienda la normativa. En esta condición extrema, la cual es el mayor caudal existente, se puede asegurar que el nivel del agua no sobrepasará el dique y se estará de manera segura dado que cuenta con más del 30 % de borde libre como protección. Como se observa en la ilustración 3.7, el dique tiene una pendiente de 75.96 grados, dado por su relación 4:1 (4 vertical, uno horizontal); lo cual permitió realizar cálculos de caudal y de diseño estructural como si fuesen tres rectángulos.

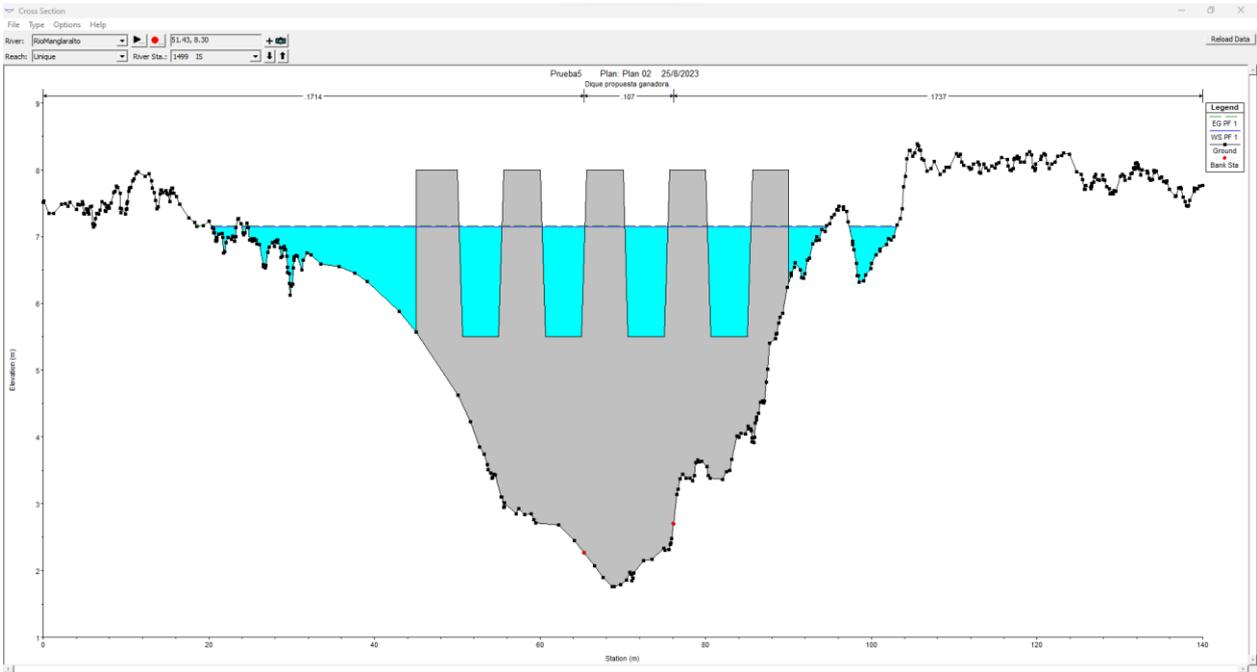


Ilustración 3-13 Simulación del dique con los vertederos

Con la nueva simulación se obtuvo el mismo nivel de agua en el puente, es decir a una cota de 4.50 metros sobre el nivel del mar, dado que el dique propuesto se encuentra aguas arriba del puente, y su afectación es mínima, por lo que no se debe recomendar obras que protejan al puente del nuevo nivel del agua y se podrá garantizar su uso en todo momento, razón por la cual Manglaralto no quedará incomunicada durante los periodos de lluvias extremas. En la ilustración 3.7 se observa el mismo comportamiento del río por debajo del puente.

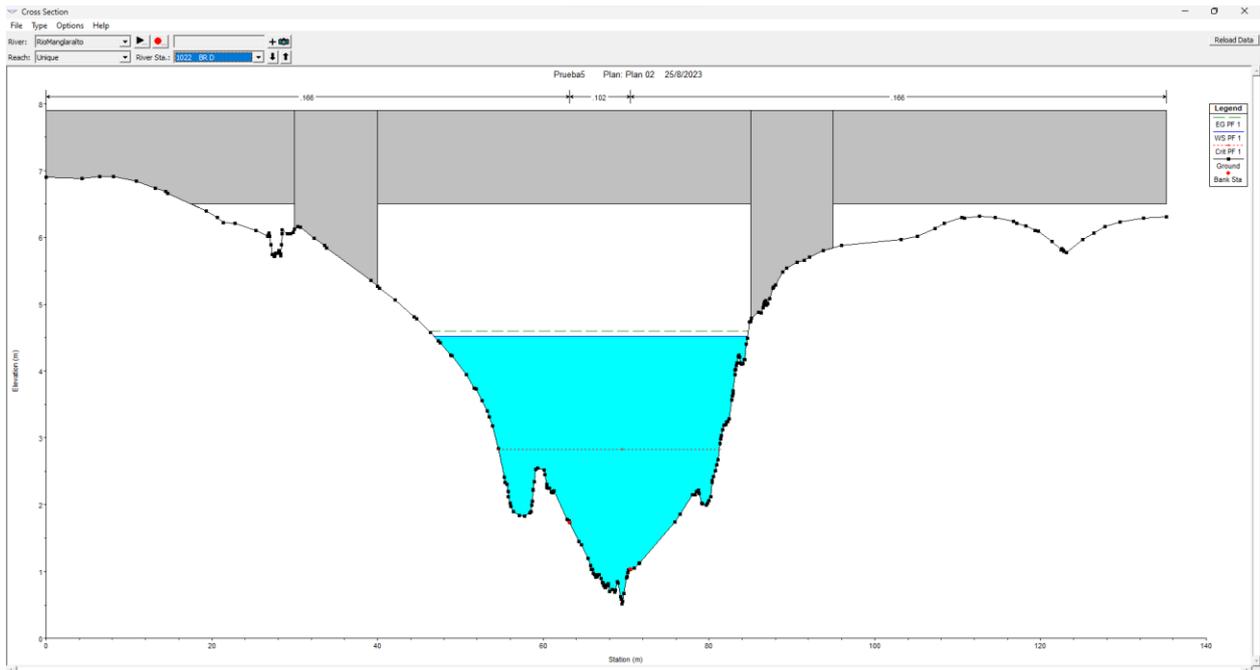


Ilustración 3-14 Simulación del nivel de agua en el puente con el dique propuesto.

El dique preexistente también es simulado con el dique propuesto y se observa un crecimiento en el caudal del río, obteniéndose una cota del río de 7.27 metros sobre el nivel del mar, 2.77 metros sobre la cota de corona del dique existente. Esta altura del nivel del agua comparado con la altura de la inundación del 2020 tiene una diferencia de 46 centímetros, es decir, un aumento de 6.75 %, la cual es mínima y no representa un peligro para el funcionamiento de la estructura.

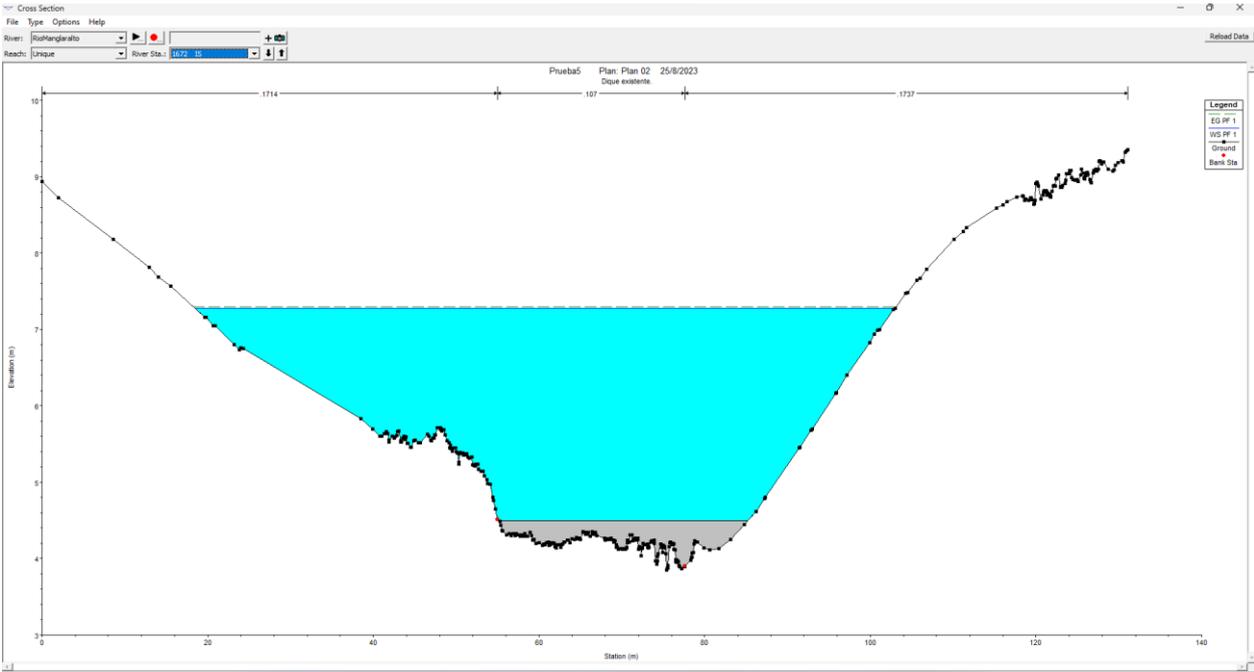


Ilustración 3-15 Simulación del dique existente.

# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS AMBIENTAL

### 4.1. Descripción del proyecto

El proyecto consiste en la construcción de un dique en el río Manglaralto. Con este se busca mejorar la producción de los pozos que abastecen de agua cruda para el suministro de agua de las comunidades Cadeate, Libertador Bolívar, Manglaralto, Montañita, Rio Chico, San Antonio con una población de 33,000, beneficiando el sector turístico y la economía local. El dique actuará como un depósito de agua pluvial, recargando el acuífero subterráneo y garantizando un suministro seguro de agua dulce para la comunidad.

La construcción del dique proporciona un acceso mejorado al sistema de agua potable, reduciendo los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua y mejorando la calidad de vida de los habitantes. Este proyecto está alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6, "Agua limpia y saneamiento", al enfocarse en asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua.

Se decidió realizar el diseño con materiales cercanos al lugar, los cuales benefician de manera económica y social a los habitantes de la parroquia Manglaralto. El recubrimiento de hormigón evitará que el dique desprenda materiales que terminarán en el cauce del río, disminuyendo su capacidad de conducción, tal como pasaría con un recubrimiento de material suelto y arcilloso.

El proyecto involucra modificaciones en el entorno fluvial, como por ejemplo cambios en el lecho del río, hábitats acuáticos, régimen hidrológico; y paisajístico, por tanto, es esencial realizar un análisis ambiental. Esto permitirá identificar los posibles efectos negativos en el ecosistema local y desarrollar medidas de mitigación adecuadas. El análisis es fundamental para garantizar que el proyecto contribuya a la sostenibilidad ambiental y a la conservación de la biodiversidad en la zona.

#### 4.2. Línea base ambiental

Manglaralto es una localidad costera ubicada en la provincia de Santa Elena, en Ecuador, que se caracteriza por su riqueza ambiental y su proximidad al Océano Pacífico. A continuación, se proporciona una descripción completa de su entorno ambiental, abarcando diferentes factores:

1. **Clima:** Manglaralto tiene un clima tropical, típico de la región costera de Ecuador. Presenta una estación seca y una estación húmeda. Durante la estación húmeda, que va de diciembre a abril, se registran altos niveles de precipitación entre 200 y 700 mm/año (Carrión et al., 2018), mientras que la estación seca, de mayo a noviembre, es más seca y con menos lluvias.

2. **Suelo:** La zona cuenta con suelos de origen aluvial y sedimentario, típicos de las áreas cercanas al mar. Estos suelos son ricos en materia orgánica y nutrientes, lo que favorece el desarrollo de vegetación y la biodiversidad acuerdo a SUCS se tiene arena y grava como suelos predominantes en la zona.

3. **Vida silvestre:** El entorno de Manglaralto alberga una diversidad de vida silvestre característica de los manglares y ecosistemas costeros. Se pueden encontrar aves marinas como pelícanos y fragatas, así como diversas especies de reptiles como iguanas y tortugas marinas que llegan a anidar en las playas cercanas (Carrión-Mero, Morante-Carballo, et al., 2021)

4. **Aire:** El aire en Manglaralto suele ser fresco y húmedo debido a su proximidad al mar. La brisa marina contribuye a una sensación agradable y a la dispersión de contaminantes (Merchan et al., 2021).

5. **Agua superficial:** La localidad está rodeada por cuerpos de agua como el mar y manglares, creando un ambiente acuático muy importante para la biodiversidad. Los manglares actúan como zonas de crianza para varias especies marinas y protegen las costas de la erosión (Carrión-Mero, Javier Montalván, et al., 2021).

**6. Aspectos socioeconómicos:** Manglaralto es una comunidad costera con una economía centrada en la pesca, el turismo y la agricultura. La pesca proporciona empleo y sustento a muchos de sus habitantes, mientras que el turismo ha ido creciendo en importancia debido a sus hermosas playas y ecosistemas naturales (Franco et al., 2017).

En resumen, Manglaralto presenta un entorno ambiental diverso y valioso, con un clima tropical, suelos fértiles, una rica vida silvestre, aire fresco y una abundancia de agua superficial. Estos factores ambientales influyen en la vida de las personas que residen allí, donde la pesca, el turismo y la agricultura juegan un papel importante en la economía local. Es fundamental proteger y conservar este entorno para asegurar el bienestar de la comunidad y la sostenibilidad de sus recursos naturales.

#### **4.3. Actividades del proyecto**

Antes de la implementación de reservorios, es crucial tener en cuenta los aspectos e impactos ambientales asociados con su desarrollo. Es por esta razón que se han identificado cuatro fases clave: construcción, llenado, operación y cierre. Cada una de estas etapas debe ser cuidadosamente evaluada para comprender y mitigar su influencia en el entorno ambiental.

##### **Fase de Construcción:**

Antes de iniciar la construcción del dique, embalse o presa, se deben llevar a cabo diversas actividades importantes:

- i. Expropiación de tierras: Se realizará la adquisición legal de las tierras necesarias para edificar el dique y embalse. Es esencial considerar el reasentamiento forzado de la población desplazada debido a esta acción.
- ii. Reconfiguración de vías de acceso: Se efectuará la adecuación de las vías de acceso a la obra para facilitar el transporte de materiales y equipos.
- iii. Desvío del río: Se planificará y ejecutará el desvío temporal del cauce del río para permitir la construcción en seco del dique o embalse, el cual se planificará en la época seca.

- iv. Movimiento de tierras: Implica diversas actividades como la excavación de canales laterales, preparación del terreno para la cimentación y relleno con material mejorado. También se incluirá la utilización de maquinarias y explotación de canteras para obtener materiales para obras de hormigón.
- v. Construcción de la estructura hidráulica: Se llevará a cabo el transporte y montaje de materiales necesarios para construir los diferentes elementos del dique, como el vertedero, cuerpo del dique, y protecciones.

Es esencial tener en cuenta todos estos aspectos durante la fase de construcción para garantizar una implementación adecuada y minimizar los impactos ambientales en la zona circundante.

#### **Fase de operación:**

Durante la fase operativa, se llevarán a cabo diversas tareas de mantenimiento de manera regular. Estas incluyen:

- (i) Inspecciones periódicas del nivel del dique y de los sedimentos acumulados.
- (ii) Análisis de los parámetros de calidad del agua en el pozo 1, pozo 2 y del caudal aguas abajo.
- (iii) El retiro de los sedimentos y maleza anual en época seca producto de la socavación y su correcta disposición como mantenimiento del dique, dejando el suelo en la cota 1.50 metros sobre el nivel del mar (nivel del cauce del río, aguas arriba del dique).

#### **Fase de cierre:**

El dique que se abandone o cierre tendrá que someterse a modificaciones adecuadas para evitar perturbaciones perjudiciales en el flujo del agua y garantizar que, en caso de que se rompa, no cause daños significativos.

**Fase de operación y mantenimiento (OPEX):**

Especificaciones	Unidad	Material	Cantidad	Costo		
				Unitario	Parcial	Total
Limpieza del sedimento retenido <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluación de la cantidad de material retenido sobre la cota 1.50 msnm</li> <li>Limpieza</li> </ul>	m <sup>2</sup>	Equipo topográfico	2,025	0.94	1903.50	1903.50
	m <sup>3</sup>	Excavadora de largo alcance 424 HP	50.62	7.50	379.65	379.65
Resane y reparación del recubrimiento de hormigón <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluación de fisuras</li> <li>Resane con mortero</li> </ul>	m <sup>2</sup>	Mortero cementicio Herramientas menores	10	8.00	80.00	80.00
Reemplazo del pedraplén ubicada aguas abajo del dique <ul style="list-style-type: none"> <li>Pedraplén</li> </ul>	m <sup>3</sup>	Piedra de diámetro mayor a 30 cm	8	23	184.00	184.00
<b>TOTAL</b>						USD 2547.15

La operación y mantenimiento (OPEX) del dique tipo vertedero es una actividad esencial para asegurar su eficiencia y funcionamiento en su vida útil. Este proceso involucra la limpieza anual del sedimento retenido aguas arriba, llevada a cabo durante la temporada seca, con el objetivo de mantener el almacenamiento del reservorio y la recarga del acuífero. Para llevar a cabo esta tarea, se estipula un costo aproximado de USD 2547.15 anual, que cubre los gastos asociados con el equipo, mano de obra y recursos necesarios. Se debe mantener la cota del cauce del río aguas arriba a 1.50 metros sobre el nivel del mar después de cada limpieza es fundamental para evitar daños a la estructura por socavación.

#### **4.4. Identificación de impactos ambientales**

Una evaluación preliminar del impacto ambiental implica no solo la identificación de las actividades que puedan afectar al ambiente, sino también la identificación de los medios posiblemente afectados, los factores y aspectos ambientales involucrados, y los posibles impactos ambientales. En la Tabla 4.1 se detallan los medios afectados, los factores y aspectos relevantes, así como los impactos ambientales generados por las actividades del proyecto.

## Método/s de identificación de impacto ambiental.

Tabla 4-1 Identificación de impactos ambientales

<b>Tabla de identificación impactos ambientales</b>	
<b>Factor</b>	<b>Impacto cualitativo</b>
Características del agua	El agua del río tendrá un cambio en su salinidad, dado que esta se verá reducida, porque el dique evitará que el agua del mar siga su cauce río arriba en los casos de la subida de marea.
Nivel del agua	El nivel del agua en la zona de embalse aumentará hasta los 5.5 metros sobre el nivel del mar, es decir, 3.5 metros por encima de lo actual.
Acuífero	Aumentará el volumen de agua en el acuífero, dado que, el suelo en donde aumentará el volumen de manera superficial es permeable y hará que se infiltre de manera constante al acuífero.
Flora	Se verá afectada por el aumento del volumen en el río, lo cual arrastrará las plantas y cierta vegetación arbustiva ubicadas en las orillas del río, por lo cual se analiza su retiro.
Fauna	Los insectos subterráneos se moverán hacia la parte seca y las aves buscarán ya no podrán ubicarse en los árboles afectados. Los animales porcinos tenderán a tomar agua en la nueva llanura de inundación, sin embargo, una chanchera ilegal será retirada.

#### 4.5. Valoración de impactos ambientales

Se utilizó un método cuantitativo para valorar impacto ambiental, el cual va de 1 a 5; siendo 1 los impactos nulos, mientras que se otorgó la máxima calificación de 5 para los impactos críticos.

**1 = Impacto nulo:**

**2 = Impacto compatible**

**3 = Impacto moderado**

**4 = Impacto severo**

**5 = Impacto crítico**

*Tabla 4-2 Valoración de impactos ambientales*

<b>Tabla valoración de impactos ambientales</b>	
<b>Factor</b>	<b>Impacto cuantitativo</b>
Características del agua	4 = Impacto severo
Nivel del agua	4 = Impacto severo
Acuífero	3 = Impacto moderado
Flora	2 = Impacto compatible
Fauna	2 = Impacto compatible

Actividades	Aspecto Ambiental	Impacto	Identificación de impactos ambientales para este estudio										Valor acción		
			Importancia de Impacto (Imp)	Magnitud de Impacto (Mg)	Interacción (Ia)	Recuperación (R)	Desarrollo (De)	Duración (Du)	Intensidad (I)	Extensión (E)	Relevancia de Impacto (T)	Possibilidad de ocurrencia (P)	Severidad (S)	Importancia de Impacto (Imp)	Magnitud de Impacto (Mg)
			$T = S * P$										$Mg = E + I + Du + De + R + Ia$		$Imp = Mg * T$
Expropiación de tierras	Demolición de chanchera	Contaminación de aire	2	3	6	0	0	0	0	1	1	2	12		
		Contaminación de agua	2	3	6	0	0	0	0	0	1	1	6		
Selección del campamento	Ruido	Uso de concretera	2	3	6	0	1	0	0	0	1	2	12		
	Retiro de flora	Construcción de caseta	2	2	4	0	0	1	1	0	1	3	12		
Construcción del dique	Característica del agua	Reducción de salinidad	1	3	3	2	2	2	0	2	0	8	24		
	Nivel del agua	Aumento de cota	1	3	3	1	2	2	0	2	0	7	21		

#### 4.6. Medidas de prevención/mitigación

Tipos de medidas de prevención o mitigación estudiadas en su investigación y su plan de manejo ambiental propuesto.

*Tabla 4-3 Medidas de prevención/mitigación*

<b>Tabla medidas de prevención/mitigación</b>	
<b>Factor</b>	<b>Prevención/mitigación</b>
Características del agua	Reducir la salinidad del agua.
Nivel del agua	Calcular con exactitud mediante el modelo hidrológico la llanura de inundación.
Acuífero	Evitar que el agua salina contamine el agua subterránea.
Flora	No retirar la vegetación arbustiva cerca de la llanura de inundación, solo aquellas que queden en la ribera del río.
Fauna	Evitar que los animales porcinos representen una amenaza a las especies autóctonas.

Medio	Factor Ambiental	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Medida propuesta	Costo en USD
Físico	Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características</li> <li>• Nivel</li> <li>• Acuífero</li> <li>• Consumo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de salinidad en el agua superficial y subterránea.</li> <li>• Aumento de extracción de agua subterránea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitación sobre manejo efectivo de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$500</li> </ul>
	Suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Socavación</li> <li>• Uso para construcción</li> <li>• Generación de residuos</li> <li>• Construcción de taludes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosión.</li> <li>• Modificación en cobertura vegetal.</li> <li>• Taludes de hormigón.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revegetación de áreas reacondicionadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$281.30</li> </ul>

	Aire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruido</li> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de ruido por la caída de agua en el dique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revegetación de áreas reacondicionadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$900</li> </ul>
Biótico	Flora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tala de árboles</li> <li>• Flora cubierta por el agua</li> <li>• Retiro de flora.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deforestación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revegetación de áreas reacondicionadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$900</li> </ul>
	Fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atracción de especies invasoras.</li> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación de animales subterráneos en llanura de inundación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Siembra de vegetación en corona del dique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$900</li> </ul>
Social	Cultural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuevo uso del agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación por uso recreativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitación sobre educación sanitaria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$500</li> </ul>
	Turismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de visitantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación por comida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Siembra de vegetación en corona del dique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$281.30</li> </ul>

Costo total de prevención y mitigación = USD. 4262.60

# CAPÍTULO 5

## 5. PRESUPUESTO

### 5.1. Estructura Desglosada de Trabajo

En un dique de tierra con una pantalla de hormigón en el centro y recubierto de hormigón, la pantalla de hormigón actúa como una barrera impermeable para evitar que el agua penetre en el cuerpo del dique de tierra. El recubrimiento de hormigón en la superficie también tiene una función de impermeabilización y protección adicional. En este caso, no existe una fijación física entre el dique de tierra y la pantalla de hormigón, ya que son dos elementos distintos.

#### 1. Preparación del Sitio:

a. Desbroce y limpieza (Incluye desalojo).- En este rubro se despejará y preparará el terreno requerido para la construcción del dique de acuerdo con las especificaciones y documentos contractuales. En las áreas designadas en los planos, se llevará a cabo el retiro de árboles, arbustos, troncos, cercas vivas, matorrales y cualquier otra vegetación; apegado a estrictos parámetros ambientales, lo cuales impactarán de la menor manera al ambiente. Además se considera la extracción de la capa de tierra vegetal, hasta la cota senañada en los planos. La tarea de despeje, retiro de maleza y limpieza será mediante métodos manuales y mecánicos, abarcando el tocón, tala, repique y cualquier otro proceso necesario para lograr los resultados requeridos.

b. Trazado y replanteo. - Mediante la utilización de instrumentos como estación total, nivel, se llevará a cabo el trazado y nivelación del terreno. El principal propósito de este proceso es establecer las referencias de ejes y marcarlas con estacas; las mismas que permanecerán ancladas durante todo el proceso de construcción. La metodología de trazado y replanteo que se aplicará en las áreas de construcción será definición con precisión y ubicación exacta con piola y estaca en zonas de relleno y excavación, marcado por las elevaciones especificadas en los planos.

## 2. Excavación (excavación para la cimentación)

Este trabajo consistirá en la excavación sin clasificación, en cualquier tipo de terreno de material granular (exceptuando macizos rocosos meteorizados y sin meteorizar) y de todos los materiales de cualquier clase, que sean encontrados durante la ejecución de la obra, este rubro será aplicado para los siguientes trabajos de excavación:

- Movimiento de tierra para obras viales
- Terraplenes
- Plataformas
- Diques
- Canales
- Excavaciones para muros

## 3. Cimentación del dique

- a. Entibado metálico.- El apuntalamiento se lo utilizará cuando se deban practicar excavaciones en cualquier construcción que hubiese peligro inmediato o remoto de ocasionar perjuicios o producir derrumbes. Tipo de tablaestacas a usar: tipo pantalla, sobre todo en donde se encuentre el nivel freático alto.
- b. Replanteo. - Se colocará sobre la superficie del material de relleno debidamente compactado, a los niveles exactos, se construirá este replanteo de concreto de 0.05 m. de espesor y  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ , se controlará los niveles y pendientes con la pendiente y la sección transversal estipuladas y señalados en los planos durante su construcción.
- c. Armado del acero de refuerzo.- Se emplearán barras corrugadas de acero de refuerzo, las mallas de alambre de acero de refuerzo, el alambre y barras lisas de acero, satisfarán las siguientes normas: NTE INEN 101, NTE INEN 102, NTE INEN 103, NTE INEN 104, NTE INEN 105, NTE

INEN 106, NTE INEN 107, NTE INEN 108, NTE INEN 109, NTE INEN 110

- d. Encofrado.- Los moldes para encofrado serán de madera, lo suficientemente fuertes para resistir la carga del hormigón, sin que se produzcan desplazamientos o flexiones durante la vertida o vibrada del hormigón, serán debidamente alineados y nivelados de tal manera que formen elementos de dimensiones como lo indican los planos. Los encofrados tendrán superficie lisa, no presentarán grietas u orificios que permitirán el escurrimiento del hormigón, además se colocaron en la cara interna del encofrado una película betuminosa antes de colocar el hormigón para poder desencofrar.
- e. Hormigón  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>.- Para la fabricación de este hormigón se deberá usar adicionalmente un inhibidor de corrosión, éste deberá cumplir con lo estipulado en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP.001-F-2002, y también con la AASHTO M 194, ASTM C 494, hormigón de clase B, relacionado con la resistencia requerida a compresión con un mínimo de  $F'c = 35$  Mpa., cualesquiera de ellas; se utilizará un impermeabilizante integral para hormigón con base en los lignosulfatos de acción altamente impermeabilizante y plastificante.

La Clase B de acuerdo con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP.001-F-2002, relacionada con la resistencia requerida a compresión como un mínimo  $F'c = 35$  Mpa., contenido de cemento, tamaño de agregado relación agua-cemento.

- 4. Pantalla de hormigón: En el centro del dique de tierra, se construye la pantalla de hormigón. Esta pantalla se diseña para ser impermeable y proporcionar una barrera eficaz contra la filtración del agua.
  - a. Hormigón  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>.- Para la fabricación de este hormigón se deberá usar adicionalmente un inhibidor de corrosión, éste deberá cumplir con lo estipulado en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP.001-F-2002, y también con

la AASHTO M 194, ASTM C 494, hormigón de clase B, relacionado con la resistencia requerida a compresión con un mínimo de  $F'c = 35$  Mpa., cualesquiera de ellas; se utilizará un impermeabilizante integral para hormigón con base en los lignosulfatos de acción altamente impermeabilizante y plastificante.

La Clase B de acuerdo con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP.001-F-2002, relacionada con la resistencia requerida a compresión como un mínimo  $F'c = 35$  Mpa., contenido de cemento, tamaño de agregado relación agua-cemento.

5. Relleno de cuerpo del dique:
  - a. Relleno tipo pedraplén: El suelo seleccionado es material de mejoramiento con las características mencionadas en el plano. El suelo deberá ser distribuido, conformado y compactado cada 30 cm; la densidad de la capa compactada deberá ser el 95%.
6. Recubrimiento de Hormigón: En la superficie del dique de tierra, se aplica un recubrimiento de hormigón de 30 cm de espesor con una malla electrosoldada. Este recubrimiento tiene múltiples funciones: proporciona protección contra la erosión causada por el viento y el agua, ayuda a prevenir la infiltración de agua en el dique y puede mejorar la apariencia estética.
7. Protecciones:
  - a. Varillas de anclaje.- Se emplearán barras corrugadas de acero de refuerzo, las mallas de alambre de acero de refuerzo, el alambre y barras lisas de acero, satisfarán las siguientes normas: NTE INEN 101, NTE INEN 102, NTE INEN 103, NTE INEN 104, NTE INEN 105, NTE INEN 106, NTE INEN 107, NTE INEN 108, NTE INEN 109, NTE INEN 110
  - b. Hormigón  $f'c = 280$  kg/cm<sup>2</sup>.- Para la fabricación de este hormigón se deberá usar adicionalmente un inhibidor de corrosión, éste deberá cumplir con lo estipulado en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP.001-F-2002, y también con la AASHTO M 194, ASTM C 494, hormigón de clase B, relacionado con la resistencia requerida a compresión con un mínimo de  $F'c = 28$  Mpa.,

cualesquiera de ellas; se utilizará un impermeabilizante integral para hormigón con base en los lignosulfatos de acción altamente impermeabilizante y plastificante.

La Clase B de acuerdo con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP.001-F-2002, relacionada con la resistencia requerida a compresión como un mínimo  $F'c = 35$  Mpa., contenido de cemento, tamaño de agregado relación agua-cemento.

#### 8. Capa Vegetal:

- a. Tierra vegetal. - Este rubro de tierra vegetal o tierra de cultivo servirá para rellenar zonas donde se aplique áreas verdes en construcción o áreas donde serán colocadas especies ornamentales, cuyo objetivo será sembrar o cultivar plantas o arbustos que sean de aspecto decorativo o que integren la obra al ambiente, de acuerdo al diseño que se indique en los planos. Esta capa vegetal deberá contener nutrientes minerales tales como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, conteniendo materia orgánica (humus). Este suelo será flojo exento de mezclas de subsuelo, basura y otras materias perjudiciales para el desarrollo adecuado de la vegetación. Esta capa tendrá aproximadamente un espesor de 30 cm.
- b. Arbustos. - Este trabajo consistirá en el suministro y plantación de especies de vegetación baja propicias de la zona de implantación de la obra, de manera que se integren con el ecosistema.

#### 9. Reunión con la comunidad:

- a. Esta sección conlleva la ejecución de un conjunto de actividades cuya finalidad es la de fortalecer el conocimiento sobre las técnicas de siembra y cosecha de agua y el respeto por el patrimonio natural y a la participación de los habitantes que serán beneficiados por la construcción y operación del dique en la comunidad de Manglaralto.

Las actividades estarán dirigidas hacia la población directamente involucrada con la obra y demás actores sociales que se localizan dentro del área de influencia.



## **5.2. Rubros y análisis de precios unitarios**

Dentro de los rubros considerados para este proyecto están:

### **5.2.1. Ensayos**

5.2.1.1 Características de suelo superficial: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo en la superficie.

### **5.2.2. Trabajos Preliminares**

5.2.2.1 Desbroce y limpieza (incl. Desalojo): Esta etapa implica la eliminación de vegetación y obstáculos del área de trabajo, incluyendo la disposición adecuada de los materiales retirados.

5.2.2.2 Trazado y replanteo: Se establecen las ubicaciones precisas de las estructuras y características del dique en el terreno, marcando los puntos de referencia y límites.

### **5.2.3. Obras Temporales**

5.2.3.1 Bodega, caseta: Construcción de estructuras temporales para almacenar herramientas, equipos y suministros.

5.2.3.2 Cerramiento de alambre de púas (3 filas): Instalación de cercas temporales para delimitar el área de trabajo y brindar seguridad.

5.2.3.3 Mejoramiento del camino de acceso empedrado de ancho y con un espesor = 0.30 m: Adecuación de del camino existente con grava para facilitar el acceso y el transporte de equipos.

### **5.2.4. Movimiento de Tierra**

5.2.4.1 Excavación para cimentación del dique: Creación de zanjas o excavaciones para establecer la base sobre la que se construirá el dique.

5.2.4.2 Relleno compactado con roca para cuerpo de dique: Llenado y compactación del material en capas para formar el cuerpo del dique.

5.2.4.3 Relleno mezcla de materiales (arena fina con arcilla): Colocación y compactación de una mezcla de materiales adecuados para dar forma y estabilidad al dique.

5.2.4.4 Relleno piedra triturada 4 pulgadas: Llenado y compactación de piedra triturada de 1 pulgada para capas específicas del proyecto.

### **5.2.5. Cimentación**

5.2.5.1 Replanteo: Preparación de hormigón de  $f'c = 240 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$  con un espesor de  $5[cm]$  para asegurar que la tierra compactada no se mezcle con el hormigón de cimentación, dado un volumen de  $4.05[m^3]$  de replanteo.

5.2.5.2 Construcción de armadura de acero: Se construye la armadura de acero de para la cimentación y la columna principal, la cual será de varillas de  $12[mm]$  longitudinal y varillas de  $10[mm]$  de transversal cada 25 centímetros.

5.2.5.3 Encofrado: Construcción y colocación de encofrado con tablas para dar forma al hormigón en las tres zapatas.

5.2.5.4 Fundición con hormigón  $f'c = 350 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$ : Aplicación de concreto de alta resistencia ( $350 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$ ) para construir las zapatas.

5.2.5.5 Curado del hormigón: Humedecer las zapatas de hormigón para evitar su fisura.

5.2.5.6 Desencofrado: Retiro de tablas utilizadas para el encofrado, una vez haya pasado 3 días de la fundición.

### **5.2.6. Cuerpo del dique**

5.2.6.1 Encofrado cuerpo de vertedero: Construcción y colocación de encofrado con tablas para dar forma al hormigón de la columna central del dique.

5.2.6.2 Fundición con hormigón  $f'c = 350\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$  para cuerpo de vertedero: Aplicación de concreto de alta resistencia ( $350\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ ) para construir la columna central del dique.

5.2.6.3 Curado del hormigón de cuerpo de vertedero: Humedecer la columna de hormigón para evitar fisuras.

5.2.6.4 Desencofrado cuerpo de vertedero: Retiro de tablas utilizadas para el encofrado, una vez haya pasado 3 días de la fundición.

5.2.6.5 Encofrado de recubrimiento de vertedero: Construcción y colocación de encofrado con tablas para dar forma al hormigón de los recubrimientos laterales de ambos taludes.

5.2.6.6 Fundición con hormigón  $f'c = 350\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$  con malla electrosoldada para recubrimiento de vertedero: Aplicación de concreto de alta resistencia ( $350\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ ) para recubrir los taludes y evitar la filtración de agua.

5.2.6.7 Curado del hormigón de recubrimiento de vertedero: Humedecer los taludes recubiertos de hormigón para evitar fisuras.

5.2.6.8 Desencofrado de recubrimiento de vertedero: Retiro de tablas utilizadas para el encofrado, una vez haya pasado 3 días de la fundición.

5.2.6.9 Encofrado de losa de vertedero: Construcción y colocación de encofrado con tablas para dar forma al hormigón de la losa del vertedero.

5.2.6.10 Fundición con hormigón  $f'c = 240\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$  con malla electrosoldada para losa de vertedero: Aplicación de concreto de óptima resistencia ( $240\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ ) para la losa del vertedero.

5.2.6.11 Curado del hormigón de losa de vertedero: Humedecer la losa de hormigón para evitar fisuras y futuras filtraciones.

5.2.6.12 Desencofrado de losa de vertedero: Retiro de tablas utilizadas para el encofrado, una vez haya pasado 3 días de la fundición.

5.2.6.13 Encofrado de dique: Construcción y colocación de encofrado con tablas para dar forma al hormigón de las columnas superiores del dique.

5.2.6.14 Fundición con hormigón  $f'c = 240[\frac{kg}{cm^2}]$  con malla electrosoldada para losa de vertedero: Aplicación de concreto de óptima resistencia ( $240[\frac{kg}{cm^2}]$ ) para las columnas superiores del dique.

5.2.6.15 Curado del hormigón de dique: Humedecer las columnas superiores de hormigón para evitar fisuras y futuras filtraciones.

5.2.6.16 Desencofrado de losa de vertedero: Retiro de tablas utilizadas para el encofrado, una vez haya pasado 3 días de la fundición.

### **5.2.7. Obras Complementarias**

5.2.7.1 Geotextil: Instalación de materiales geotextiles para controlar la erosión y mejorar la estabilidad del suelo.

5.2.7.2 Geomembrana: Colocación de membranas impermeables para prevenir la filtración de agua.

5.2.7.3 Expropiación: Cálculo y consideración de los costos asociados con la adquisición de terrenos necesarios para el proyecto.

5.2.7.4 Vegetación: Colocar tierra natural y vegetación a la parte superior del dique, las cual tendrá un área de  $56.26[m^2]$  para una vista más ecológica.

5.2.7.5 Señalización temporal de la obra: Instalación de señales temporales para indicar zonas de construcción y mantener la seguridad.

### **5.2.8. Componente Ambiental**

5.2.8.1 Capacitación en operación y mantenimiento de la infraestructura: Programas de formación para garantizar que el personal pueda manejar y mantener adecuadamente las estructuras construidas.

5.2.8.2 Educación sanitaria: Iniciativas para educar a la comunidad local sobre aspectos sanitarios relacionados con el proyecto.

5.2.8.3 Revegetación de áreas reacondicionadas: Restauración de áreas modificadas mediante la siembra de vegetación adecuada.

5.2.8.4 Manejo efectivo de agua de riego Capacitación con programas de formación para que la población sepa aprovechar el agua dulce del río.

### **5.3. Descripción de cantidades de obra**

- **Ensayos**

Se recomienda 3 ensayos de caracterización de suelo, en el centro del río y en ambas orillas.

- **Trabajos Preliminares**

El volumen de tierra por retirar para realizar la construcción es de  $40.50[m^3]$ , dando un costo de USD33.21; mientras que el trazado y replanteo es de  $400.50[m^2]$  dando un costo de USD468.59.

- **Obras Temporales**

Para almacenar las herramientas y materiales de construcción, se escogió construir una caseta de madera de  $15[m^2]$ , con un costo de USD279.45; para evitar invasión a la zona del dique y para dejar los alambres existentes tal como estaban, se decidió poner 20 metros de alambre de púas de cada lado, dándonos 120 metros y un costo de USD142.80; el mejoramiento de

camino de acceso, se lo hará solo en un área de  $270[m^2]$ , dado que el resto del camino es bueno, teniendo un costo de USD1215.

- **Movimiento de Tierra**

En este rubro se incluyó el costo de la excavación para la cimentación, el relleno al cuerpo del dique con rocas al 80 %, mientras que se usará material fino compactado en el otro 20 % y un relleno de grava 4 pulgadas para la parte superior del dique. Todo esto nos dio un costo de USD16528.55.

- **Cimentación**

Para la cimentación, se escogió diseñar 3 zapatas de  $0.6[m]$  de ancho que va en toda la longitud del dique ( $45[m]$ ) cimentada a 1 metro de profundidad; mientras que el replantillo solo tendrá una altura de 5 centímetros, por lo que tendrá un volumen  $4.05[m^2]$ . El costo de toda la cimentación (replantillo, construcción de armadura, encofrado, fundición, curado y desencofrado) tiene un costo de USD12,949.60.

- **Cuerpo del dique**

En este rubro se realiza el encofrado, fundición, curado y desencofrado de todo el dique superficial, es decir, solo se excluye la cimentación. El rubro más importante de cada uno es el de fundición, siendo  $49.95[m^3]$  de hormigón de alto desempeño para el cuerpo del vertedero, teniendo un costo de USD5244.75; para el recubrimiento de ambos taludes, se necesitan  $99.90[m^3]$  de hormigón de alto desempeño, teniendo un costo de USD11188.80; para la losa del vertedero se necesitan  $37.35[m^3]$  de hormigón, teniendo un costo de USD3735; finalmente para las columnas superiores del dique se necesitan  $33.25[m^3]$  de hormigón, teniendo un costo de USD3325. A las 4 partes, se le suma el costo de encofrado, curado y desencofrado, dando un costo total para el cuerpo del dique de USD32237.90.

- **Obras Complementarias**

En este rubro se consideró los costos de implementar 2 capas de geotextil y 1 de geomembrana, teniendo 1493[m<sup>3</sup>] para el primero y 747[m<sup>3</sup>] para el segundo, siendo sus costos de USD1179.47 y USD590.13 respectivamente. Además, el costo de expropiación de 450[m<sup>2</sup>] de terreno, dando un costo de USD517.50, dado que no existen estructuras ni construcciones en dicho terreno y obteniendo previamente la conformidad de los propietarios. Para la vegetación que irá en la parte superior del dique, la cual es de 56.26[m<sup>2</sup>], tendrá un costo de USD562.60; por el último la señalización temporal tendrá un costo de USD300, dando esto un costo de obras complementarias de USD3149.70.

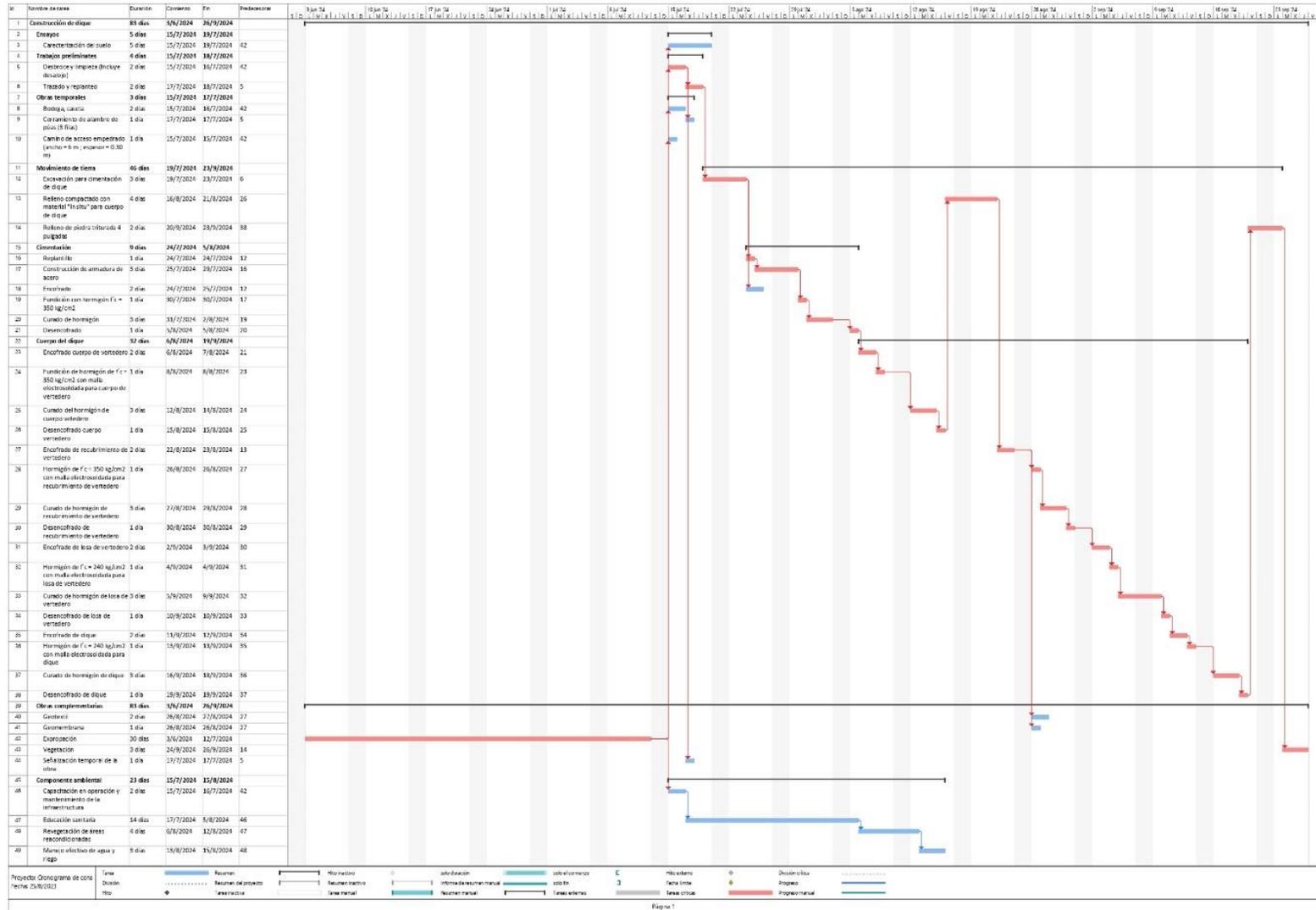
- **Componente Ambiental**

En este componente se incluye la capacitación de operación y mantenimiento de la estructura, la educación sanitaria y el manejo efectivo de agua de riego, teniendo un costo de USD500 cada uno y la revegetación de áreas reacondicionadas, la cual es de 270[m<sup>2</sup>] tiene un costo de USD2700, dando así un costo de componente ambiental de USD4200.

#### **5.4. Valoración integral del costo del proyecto**

El costo total del proyecto es USD85,290.00, este tiene un área de construcción de 400.5[m<sup>2</sup>] , por lo que el costo unitario por m<sup>2</sup> es de USD214.34, al realizar una comparación con el dique existente el cual tiene un costo aproximado de USD94000.00 y un área de construcción de 240 m<sup>2</sup>, por lo que nuestra propuesta es viable económicamente

## 5.5. Cronograma de obra



Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
<b>Construcción de dique</b>	<b>83 días</b>	<b>3/6/2024</b>	<b>26/9/2024</b>	
<b>Ensayos</b>	<b>5 días</b>	<b>15/7/2024</b>	<b>19/7/2024</b>	
Carecterización del suelo	5 días	15/7/2024	19/7/2024	42
<b>Trabajos preliminares</b>	<b>4 días</b>	<b>15/7/2024</b>	<b>18/7/2024</b>	
Desbroce y limpieza (Incluye desalojo)	2 días	15/7/2024	16/7/2024	42
Trazado y replanteo	2 días	17/7/2024	18/7/2024	5
<b>Obras temporales</b>	<b>3 días</b>	<b>15/7/2024</b>	<b>17/7/2024</b>	
Bodega, caseta	2 días	15/7/2024	16/7/2024	42
Cerramiento de alambre de púas (3 filas)	1 día	17/7/2024	17/7/2024	5
Camino de acceso empedrado (ancho = 6 m ; espesor = 0.30 m)	1 día	15/7/2024	15/7/2024	42
<b>Movimiento de tierra</b>	<b>46 días</b>	<b>19/7/2024</b>	<b>23/9/2024</b>	
Excavación para cimentación de dique	3 días	19/7/2024	23/7/2024	6
Relleno compactado con roca mayor a 30[cm] para cuerpo de dique	4 días	16/8/2024	21/8/2024	26
Relleno de piedra triturada 4 pulgadas	2 días	20/9/2024	23/9/2024	38
<b>Cimentación</b>	<b>9 días</b>	<b>24/7/2024</b>	<b>5/8/2024</b>	
Replanteo	1 día	24/7/2024	24/7/2024	12
Construcción de armadura de acero	3 días	25/7/2024	29/7/2024	16
Encofrado	2 días	24/7/2024	25/7/2024	12
Fundición con hormigón f'c = 350 kg/cm <sup>2</sup>	1 día	30/7/2024	30/7/2024	17
Curado de hormigón	3 días	31/7/2024	2/8/2024	19
Desencofrado	1 día	5/8/2024	5/8/2024	20
<b>Cuerpo del dique</b>	<b>32 días</b>	<b>6/8/2024</b>	<b>19/9/2024</b>	
Encofrado cuerpo de vertedero	2 días	6/8/2024	7/8/2024	21

Fundición de hormigón de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ con malla electrosoldada para cuerpo de vertedero	1 día	8/8/2024	8/8/2024	23
Curado del hormigón de cuerpo vertedero	3 días	12/8/2024	14/8/2024	24
Desencofrado cuerpo vertedero	1 día	15/8/2024	15/8/2024	25
Encofrado de recubrimiento de vertedero	2 días	22/8/2024	23/8/2024	13
Hormigón de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ con malla electrosoldada para recubrimiento de vertedero	1 día	26/8/2024	26/8/2024	27
Curado de hormigón de recubrimiento de vertedero	3 días	27/8/2024	29/8/2024	28
Desencofrado de recubrimiento de vertedero	1 día	30/8/2024	30/8/2024	29
Encofrado de losa de vertedero	2 días	2/9/2024	3/9/2024	30
Hormigón de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con malla electrosoldada para losa de vertedero	1 día	4/9/2024	4/9/2024	31
Curado de hormigón de losa de vertedero	3 días	5/9/2024	9/9/2024	32
Desencofrado de losa de vertedero	1 día	10/9/2024	10/9/2024	33
Encofrado de dique	2 días	11/9/2024	12/9/2024	34
Hormigón de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con malla electrosoldada para dique	1 día	13/9/2024	13/9/2024	35
Curado de hormigón de dique	3 días	16/9/2024	18/9/2024	36
Desencofrado de dique	1 día	19/9/2024	19/9/2024	37
<b>Obras complementarias</b>	<b>83 días</b>	<b>3/6/2024</b>	<b>26/9/2024</b>	
Geotextil	2 días	26/8/2024	27/8/2024	27
Geomembrana	1 día	26/8/2024	26/8/2024	27
Expropación	30 días	3/6/2024	12/7/2024	

Vegetación	3 días	24/9/2024	26/9/2024	14
Señalización temporal de la obra	1 día	17/7/2024	17/7/2024	5
<b>Componente ambiental</b>	<b>23 días</b>	<b>15/7/2024</b>	<b>15/8/2024</b>	
Capacitación en operación y mantenimiento de la infraestructura	2 días	15/7/2024	16/7/2024	42
Educación sanitaria	14 días	17/7/2024	5/8/2024	46
Revegetación de áreas reacondicionadas	4 días	6/8/2024	12/8/2024	47
Manejo efectivo de agua y riego	3 días	13/8/2024	15/8/2024	48

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

1. Se elaboró el modelo de lluvia-escorrentía mediante el procesamiento de los datos topográficos, de suelo e hidrológicos obtenidos en campo y se obtuvo lo siguiente:
  - a. Un caudal de diseño de  $80\left[\frac{m^3}{s}\right]$  para un periodo de retorno de 100 años.
  - b. Identificar el lugar más adecuado para ubicar y construir el dique tipo vertedero, en las coordenadas 528798E 9796562N.
  - c. Inicialmente se plantearon 3 alternativas, que difieren en posición y tipo de material de construcción.
  - d. El dique será construido con material in situ y material importado de fácil acceso
2. Se diseñó el dique mediante la consideración de aspectos técnicos y de sostenibilidad, para la siembra y cosecha de agua obteniendo los planos hidráulicos, estructurales y de cimentación de la estructura.
  - a) La cimentación será de hormigón armado, y se impermeabilizará la estructura con geotextil y geomembrana; además se colocará un recubrimiento de hormigón para evitar filtraciones.
  - b) El diseño tiene una combinación integral de aspectos técnicos y de sostenibilidad.
  - c) El diseño estructural y de cimentación, garantiza la estabilidad debido a que se cumplen los criterios de volteo, asentamiento y deslizamiento para la estructura.
  - d) Este enfoque también ha permitido establecer condiciones propicias para la siembra y cosecha de agua, reteniendo un volumen superficial de  $28572m^3$  para fomentar la recarga del acuífero de manera eficiente.
3. Se realizó el análisis de los posibles impactos ambientales generados por la construcción y operación del dique, obteniendo como resultados la identificación de medidas de mitigación y buenas prácticas que reducirán al mínimo los efectos negativos en el entorno:

- a. Estas medidas aseguran que el proyecto cumpla con los estándares ambientales y pueda llevarse a cabo de manera responsable.
  - b. Se priorizó un diseño que se adapte al paisaje de los alrededores, por lo que se propuso colocar vegetación en la parte superior del dique, manteniendo así áreas verdes dentro del paisaje, y ocultando la obra gris a plena vista.
  - c. Tal como era de esperarse, el mayor impacto ambiental se da en el río, porque se modifica en altura y características.
  - d. El dique cumplirá su función de apoyar a la calidad del agua por la disminución de los niveles de salinidad porque servirá como barrera protectora para aguas arriba.
4. Se estimó el presupuesto referencial, mediante el análisis de precios unitarios de cada rubro para la construcción del dique.
- a. El costo global estimado es de USD85,841.76.
  - b. Al comparar este presupuesto con el costo del dique existente, valorado en USD99,752,34, (2021), se obtiene una diferencia significativa, lo cual es normal por los avances que se tienen con nuevas tecnologías a favor del diseño propuesto.
  - c. Se demuestra una optimización económica, además de que la implementación de este proyecto beneficiará a las zonas cercanas al sitio del dique, generando 80 empleos directos e indirectos y viabilidad del proyecto al considerar todos los costos involucrados, desde los materiales y la mano de obra hasta los costos indirectos y contingencias.
  - d. Mediante el uso de AutoCAD y HecRas, se han creado planos detallados y precisos que guiarán la ejecución del proyecto.
  - e. Se han elaborado las especificaciones técnicas necesarias para llevar a cabo la construcción del dique de acuerdo con el diseño establecido, asegurando la consistencia entre la planificación y la implementación.

## 6.2. Recomendaciones

1. Realizar ensayos de caracterización y salinidad de agua en los pozos del río, para tener una comparación de la salinidad y de otras características de la calidad de agua del acuífero.
2. Dar mantenimiento de manera anual al dique, en época de verano para retirar todo el sedimento acumulado, por lo menos una vez en el año, para:
  - a. La reducción de cargas y así alargar el periodo de servicio del dique.
  - b. En este mantenimiento deben mantenerse la cota de fondo del río en 1.5msnm para evitar socavación de la cimentación y por ende afectar la estabilidad del dique.
  - c. Limpiar este sedimento permite que el dique cumpla su función primaria: la de almacenar agua que se infiltre y recargue el acuífero que alimenta los pozos por un lado y mantiene la salinidad alejada por el bloque de agua dulce.
3. Aguas abajo del dique, en la caída de los canales tipo aliviaderos, colocar rocas de gran tamaño para proteger el pie del talud del dique. Por tanto, evitar dejar sin la protección de rocas en las orillas de los taludes, dado que estas previenen la socavación y suelen moverse por la fuerza del agua del río, por lo que es importante volver a ponerlas en su lugar cada vez que esto suceda, o en algún momento, analizar la posibilidad de colocar hormigón ciclópeo.
4. Monitorear el pozo 1, dado que fue cerrado por su alto contenido de salinidad por ser el más cercano a la desembocadura al mar, sin embargo, es posible que presente reducción de salinidad gracias al dique propuesto, y su acción o radio de intervención va a ir mejorando con el tiempo.

## BIBLIOGRAFIA

. Q. S. (2015). ESTIMATION OF TRAP EFFICIENCY OF SRIRAMSAGAR RESERVOIR. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04(23).  
<https://doi.org/10.15623/ijret.2015.0423020>

Álvarez, M., Puertas, J., & Peña, E. (2016). Análisis regional de frecuencia de precipitaciones extremas en el Norte de Mozambique. *Ingeniería Del Agua*, 20(1).  
<https://doi.org/10.4995/ia.2016.4176>

Blodgett, J. C., & Mcconaughey, C. E. (1986). *Rock Riprap Design for Protection of Stream Channels Near Highway Structures*. U.S. Geological Survey, 2.

Brown, E. T. (2017). Reducing risks in the investigation, design and construction of large concrete dams. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(2).  
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.11.002>

Carrión, P., Herrera, G., Briones, J., Sánchez, C., & Limón, J. (2018). Practical adaptations of ancestral knowledge for groundwater artificial recharge management of Manglaralto coastal aquifer, Ecuador. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 217. <https://doi.org/10.2495/SDP180341>

Carrión-Mero, P., Javier Montalván, F., Morante-Carballo, F., Llor-Flores De Valgas, C., Apolo-Masache, B., & Heredia, J. (2021). Flow and transport numerical model of a coastal aquifer based on the hydraulic importance of a dyke and its impact on water quality: Manglaralto—ecuador. *Water (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/w13040443>

Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Briones-Bitar, J., Herrera-Borja, P., Chávez-Moncayo, M., & Arévalo-Ochoa, J. (2021). Design of a technical-artisanal dike for surface water storage and artificial recharge of the manglaralto coastal aquifer. Santa Elena Parish, Ecuador. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(3), 515–523.  
<https://doi.org/10.18280/IJSDP.160312>

Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Varas, M., Herrera-Franco, G., Briones-Bitar, J., Malavé-Hernández, J., Fajardo-González, I., & Campoverde-Cabrera, J. (2020). Applied geology to the design of handcrafted dikes (tapes) and its impact in the recharge of the manglaralto coastal aquifer, Santa Elena, Ecuador. *Proceedings of the LACCEI*

- International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.307>
- Chow, V. Te. (1985). Hidráulica de Canales abiertos. In M. E. Suárez R (Ed.), Editorial Mc. Graw Hill.
- Chugaev, R. (1985). Estructuras Hidráulicas Presas Vertedoras. Agropromizdat, 1.
- Cooley, D. (2013). Return Periods and Return Levels Under Climate Change. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4479-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4479-0_4)
- Correal, J., Quiñones, R., & Valderrama, A. (2019). Manual de procedimientos para el laboratorio de suelos de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio. In Universidad Cooperativa de Colombia (Vol. 1, Issue 1).
- Cronshey, R. G., Roberts, R. T., & Miller, N. (1985). URBAN HYDROLOGY FOR SMALL WATERSHEDS (TR-55 REV. ).
- Cunnane, C., & Bengtsson, L. (1990). Statistical distribution for flood frequency analysis. *Journal of Hydraulic Research*, 28(5). <https://doi.org/10.1080/00221689009499053>
- Delgado Espinoza, F. (2017). Los sistemas precolombinos de manejo del agua en la Costa del Ecuador. *Antropología Cuadernos de Investigación*, 11. <https://doi.org/10.26807/ant.v0i11.83>
- Drouet Candel, A., Pérez Castro, T., & Cruz La Paz, O. (2021). Los sistemas de producción agrícola de las parroquias del norte de la provincia Santa Elena, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 42(4).
- Durán, A., Castro, M., Vélez, J., Briones, J., Carrión, P., Herrera, G., Morante, F., Gutiérrez, C., Bardales, J., Peña, F., Martos, S., & Mateos, L. (2020). Siembra y Cosecha de Agua (SyCA), técnicas ancestrales que solucionan problemas del siglo XXI. <https://doi.org/10.18687/laccei2020.1.1.299>
- Figura, J. (2018). 2.2. 3. Análisis del tamaño de las partículas de los suelos (ASTM D 422-03), AASHTO T 88 00 (2004). GUIA DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, 21. [repositorio.umsa.bo](http://repositorio.umsa.bo)
- Flores Berenguer, I., González Haramboure, Y., & García Tristá, J. (2022). Estabilidad de taludes en presas de tierra considerando el ángulo de succión del suelo no saturado. *Ingeniería y Desarrollo*, 40(01). <https://doi.org/10.14482/inde.40.01.620.123>

- Franco, G. H., Quinchuelaa, T. G., Macancela, N. A., & Mero, P. C. (2017). PARTICIPATIVE ANALYSIS OF SOCIO-ECOLOGICAL DYNAMICS AND INTERACTIONS. A CASE STUDY OF THE MANGLARALTO COASTAL AQUIFER, SANTA ELENA-ECUADOR. *Malaysian Journal of Sustainable Agricultural*, 1(1). <https://doi.org/10.26480/mjsa.01.2017.19.22>
- Gárate Ríos, J., Palomino Alvarado, G. del P., Pereyra Gonzales, T. V., & Torres Delgado, F. (2021). Gestión de recursos hídricos: una revisión internacional de literatura. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 2(1). <https://doi.org/10.51798/sijis.v2i1.49>
- Granda, R. (1994). La sociedad hidráulica zenú: Estudio arqueológico de 2,000 años de historia en las llanuras del Caribe colombiano. Clemencia Plazas, Ana Maria Falchetti, Juanita Saenz Samper, y Sonla Archila. Banco de la República, Santafe de Bogotá, 1993. ix + 299 pp., 56 plates, 87 figures, 8 maps, 44 tables, bibliography, 4 appendixes, English summary. No price given (paper). *Latin American Antiquity*, 5(4). <https://doi.org/10.2307/971824>
- Herrera-Franco, G. (2020). Aplicación del conocimiento ancestral mediante albarradas y tapes en la gestión del agua en la provincia de Santa Elena, Ecuador. *BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO*, 131(1). <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.131.1.005>
- Herrera-Franco, G., Alvarado-Macancela, N., Gavín-Quinchuela, T., & Carrión-Mero, P. (2018). Participatory socio-ecological system: Manglaralto-Santa Elena, Ecuador. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2(4). <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1481632>
- Herrmann, H., & Bucksch, H. (2014). applied hydrology. In *Dictionary Geotechnical Engineering/Wörterbuch GeoTechnik*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6\\_12310](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_12310)
- INAMHI. (2013). Condiciones Meteorológicas. Ecuador.
- Llerena Bonilla, P. M. (2022). Análisis para la obtención de límite líquido y límite plástico según la Norma ASTM D4318 en comparación con la norma BS 1377: 1990 en suelos de diferente plasticidad [Bachelor's thesis]. EPN, 2022.
- Lonin, S. A. (2001). Un modelo hidrodinámico del Canal del Dique y su sistema lagunar. *Boletín Científico CIOH*, 19. <https://doi.org/10.26640/22159045.96>
- Machu Picchu: a civil engineering marvel. (2001). *Choice Reviews Online*, 38(10). <https://doi.org/10.5860/choice.38-5410>

- Mendoza Tarabó, A. E., Yumisaca Tuquina, J. E., & Peralta Mendoza, S. P. (2022). Diversificación del turismo mediante rutas culturales en la parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena. *Siembra*, 9(2).  
<https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.3788>
- Merchan, B., Torres, R., Benalcazar, J., Carrión-Mero, P., Herrera-Franco, G., Berrezueta, E., & Jaya-Montalvo, M. (2021). Valuation of a community company and its impact on development strategies. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 250. <https://doi.org/10.2495/WRM210091>
- Morales, F. (2007). Sociedades precolombinas asociadas a la domesticación y cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Sudamérica. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 14(1).
- Mullo-Sinaluisa, A., Oquendo-Borbor, C., Velastegui-Montoya, A., Merchan-Sanmartín, B., Chávez-Moncayo, M., Herrera-Matamoros, V., & Carrión-Mero, P. (2022). Hill Dam Design to Improve Water Use in Rural Areas—Case Study: Sacachún, Santa Elena. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19).  
<https://doi.org/10.3390/su141912268>
- Nedrigi, V. (1983). *Manual de Diseño de Estructuras Hidráulicas*.
- Novak, P., Guinot, V., Jeffrey, A., & Reeve, D. E. (2018). Hydraulic Modelling – an Introduction. In *Hydraulic Modelling – an Introduction*. <https://doi.org/10.1201/9781315272498>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5).  
<https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Peng, J., Chen, S., & Dong, P. (2010). Temporal variation of sediment load in the Yellow River basin, China, and its impacts on the lower reaches and the river delta. *Catena*, 83(2–3). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.08.006>
- Pulido-Velazquez, M., Cabrera Marcet, E., & Garrido Colmenero, A. (2014). Economía del agua y gestión de recursos hídricos. *Ingeniería Del Agua*, 18(1).  
<https://doi.org/10.4995/ia.2014.3160>
- Salas, O. V. (2011). Ensayos triaxiales para suelos. *Métodos y Materiales*, 1, 14–24.
- Sánchez-Martín, J., Galindo, R., Arévalo, C., Menéndez-Pidal, I., Kazanskaya, L., & Smirnova, O. (2020). Optimized design of earth dams: Analysis of zoning and heterogeneous material in

- its core. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16).  
<https://doi.org/10.3390/su12166667>
- Santos, R., Cubillos, C., & Vargas, A. (2008). Modelación hidráulica de un sector de río caudaloso con derivaciones empleando HEC-RAS. *Avances En Recursos Hidráulicos*, 17.
- Soto, G. (2000). Captación de agua de las nieblas costeras (camanchaca), Chile. *Manual de Captación y Aprovechamiento Del Agua de Lluvia*.
- SP 23.13330.2011. (2011). *Cimentaciones de Estructuras Hidráulicas (Ministerio)*.
- Stadel, C. (2005). Cultivated Landscapes of Native Amazonia and the Andes. *Mountain Research and Development*, 25(4).  
[https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2005\)025\[0388:clonaa\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2005)025[0388:clonaa]2.0.co;2)
- Universidad Centroamericana. (2001). *Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y Absorción Del Agregado Fino*. Departamento de Mecánica Estructural, 01.
- Wang, P., Dong, S., & Lassoie, J. (2014). The Large Dam Dilemma. In *The Large Dam Dilemma*.  
<https://doi.org/10.1007/978-94-007-7630-2>
- Yin, C., Zhao, W., & Pereira, P. (2022). Soil conservation service underpins sustainable development goals. *Global Ecology and Conservation*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01974>
- Zhuravliov, G. (1979). *Estructuras Hidráulicas (en ruso)*.

## ANEXOS

Estación de río	Borde derecho	Centro de río	Borde izquierdo
3340	0.2093	0.115	0.2047
3320	0.2093	0.115	0.2047
3300	0.2093	0.115	0.2047
3280	0.2093	0.115	0.2047
3240	0.2093	0.115	0.2047
3220	0.2093	0.115	0.2047
3200	0.2093	0.115	0.2047
3180	0.2093	0.115	0.2047
3160	0.2093	0.115	0.2047
3140	0.2093	0.115	0.2047
3120	0.2093	0.115	0.2047
3100	0.2093	0.115	0.2047
3080	0.2093	0.115	0.2047
3060	0.2093	0.115	0.2047
3040	0.2093	0.115	0.2047
3020	0.2093	0.115	0.2047
3000	0.2093	0.115	0.2047
2980	0.2093	0.115	0.2047
2960	0.2093	0.115	0.2047
2940	0.2093	0.115	0.2047
2920	0.2093	0.115	0.2047
2900	0.2093	0.115	0.2047
2880	0.2093	0.115	0.2047
2860	0.2093	0.115	0.2047
2840	0.2093	0.115	0.2047
2820	0.2093	0.115	0.2047
2800	0.2093	0.115	0.2047
2780	0.2093	0.115	0.2047
2760	0.2093	0.115	0.2047
2740	0.2093	0.115	0.2047
2720	0.2093	0.115	0.2047
2700	0.2093	0.115	0.2047
2680	0.2093	0.115	0.2047
2660	0.2093	0.115	0.2047
2640	0.2093	0.115	0.2047
2620	0.2093	0.115	0.2047
2600	0.2093	0.115	0.2047
2580	0.2093	0.115	0.2047
2560	0.1725	0.1035	0.17595
2540	0.1725	0.1035	0.17595
2500	0.1725	0.1035	0.17595

2480	0.1725	0.1035	0.17595
2460	0.1725	0.1035	0.17595
2440	0.1725	0.1035	0.17595
2420	0.1725	0.1035	0.17595
2400	0.1725	0.1035	0.17595
2380	0.1725	0.1035	0.17595
2360	0.1725	0.1035	0.17595
2340	0.1725	0.1035	0.17595
2320	0.1725	0.1035	0.17595
2300	0.1725	0.1035	0.17595
2280	0.1725	0.1035	0.17595
2260	0.1725	0.1035	0.17595
2240	0.1725	0.1035	0.17595
2220	0.1725	0.1035	0.17595
2200	0.1725	0.1035	0.17595
2180	0.1725	0.1035	0.17595
2160	0.1725	0.1035	0.17595
2140	0.1725	0.1035	0.17595
2120	0.1725	0.1035	0.17595
2100	0.1725	0.1035	0.17595
2080	0.1725	0.1035	0.17595
2060	0.1725	0.1035	0.17595
2040	0.1725	0.1035	0.17595
2020	0.1725	0.1035	0.17595
2000	0.1725	0.1035	0.17595
1980	0.1725	0.1035	0.17595
1960	0.1725	0.1035	0.17595
1940	0.1725	0.1035	0.17595
1920	0.1725	0.1035	0.17595
1900	0.1725	0.1035	0.17595
1880	0.1725	0.1035	0.17595
1860	0.1725	0.1035	0.17595
1840	0.1725	0.1035	0.17595
1820	0.17135	0.10695	0.17365
1800	0.17135	0.10695	0.17365
1780	0.17135	0.10695	0.17365
1760	0.17135	0.10695	0.17365
1740	0.17135	0.10695	0.17365
1720	0.17135	0.10695	0.17365
1693	0.17135	0.10695	0.17365
1673	0.17135	0.10695	0.17365
1672	Dique existente		
1653	0.17135	0.10695	0.17365
1600	0.17135	0.10695	0.17365
1580	0.17135	0.10695	0.17365

1560	0.17135	0.10695	0.17365
1540	0.17135	0.10695	0.17365
1520	0.17135	0.10695	0.17365
1500	0.17135	0.10695	0.17365
1499	Dique propuesta ganadora		
1480	0.17135	0.10695	0.17365
1460	0.17135	0.10695	0.17365
1440	0.17135	0.10695	0.17365
1420	0.17135	0.10695	0.17365
1400	0.17135	0.10695	0.17365
1380	0.17135	0.10695	0.17365
1360	0.17135	0.10695	0.17365
1340	0.17135	0.10695	0.17365
1320	0.17135	0.10695	0.17365
1300	0.17135	0.10695	0.17365
1280	0.17135	0.10695	0.17365
1260	0.17135	0.10695	0.17365
1240	0.17135	0.10695	0.17365
1220	0.17135	0.10695	0.17365
1200	0.17135	0.10695	0.17365
1180	0.17135	0.10695	0.17365
1160	0.17135	0.10695	0.17365
1140	0.17135	0.10695	0.17365
1120	0.17135	0.10695	0.17365
1100	0.17135	0.10695	0.17365
1043	0.166	0.102	0.166
1023	0.166	0.102	0.166
1022	Puente		
1003	0.166	0.102	0.166
983	0.166	0.102	0.166
940	0.166	0.102	0.166
920	0.166	0.102	0.166
900	0.166	0.102	0.166
880	0.166	0.102	0.166
860	0.166	0.102	0.166
840	0.166	0.102	0.166
820	0.166	0.102	0.166
800	0.166	0.102	0.166
780	0.166	0.102	0.166
760	0.166	0.102	0.166
740	0.166	0.102	0.166
720	0.166	0.102	0.166
700	0.2197	0.104	0.1833
640	0.2197	0.104	0.1833
620	0.2197	0.104	0.1833

600	0.2197	0.104	0.1833
580	0.2197	0.104	0.1833
560	0.2197	0.104	0.1833
540	0.2197	0.104	0.1833
520	0.2197	0.104	0.1833
500	0.2197	0.104	0.1833
480	0.2197	0.104	0.1833
460	0.2197	0.104	0.1833
440	0.2197	0.104	0.1833
420	0.2197	0.104	0.1833
400	0.2197	0.104	0.1833
380	0.2197	0.104	0.1833
360	0.2197	0.104	0.1833
340	0.146	0.047	0.057
320	0.146	0.047	0.057
300	0.146	0.047	0.057
280	0.146	0.047	0.057
260	0.146	0.047	0.057
240	0.146	0.047	0.057
220	0.146	0.047	0.057
200	0.146	0.047	0.057
180	0.146	0.047	0.057
160	0.146	0.047	0.057
140	0.146	0.047	0.057
120	0.146	0.047	0.057
100	0.146	0.047	0.057
80	0.146	0.047	0.057
60	0.146	0.047	0.057
40	0.146	0.047	0.057
20	0.146	0.047	0.057



6 jul 2023 2:07:28 p. m.  
17M 528817 9796583  
346° N











**PRESUPUESTO DE OBRA (Costo Directo y Costo Indirecto)**

Obra: Diseño de dique

Ubicación: Río Manglaralto, en el sector próximo a la extensión universitaria UPSE para la recarga del acuífero

Fecha: 18 de agosto de 2023

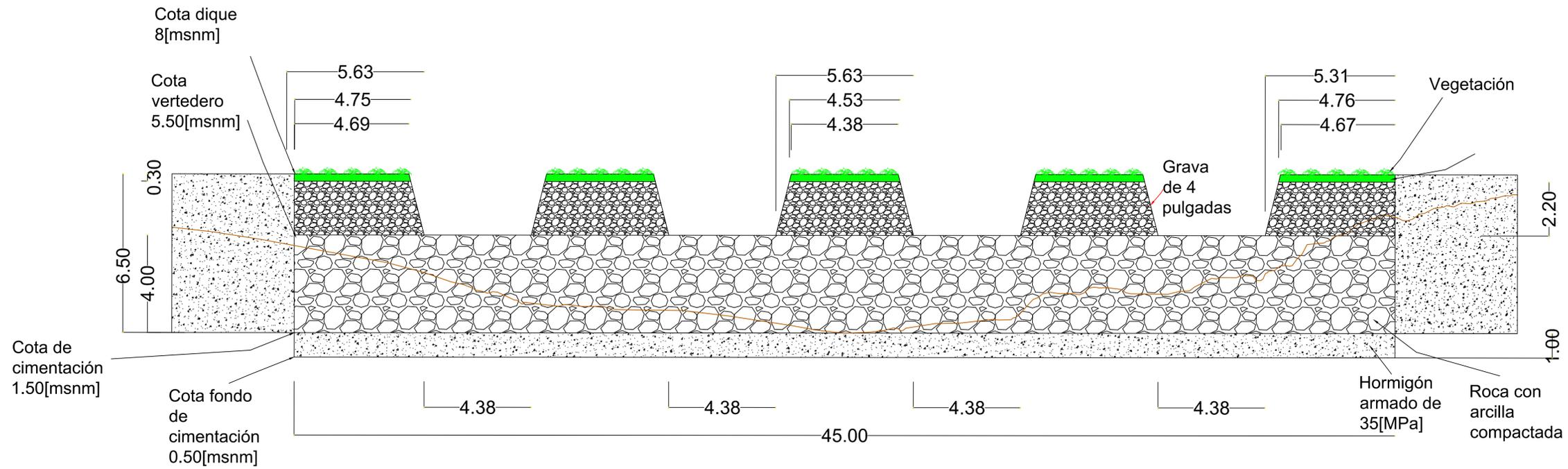
Número de Rubro	Item	Código	Descripción por rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio total	Porcentaje %
			<b>1. Ensayos</b>				<b>USD 330.00</b>	0.46%
1		N1	1.1 Características de suelo	Unidad	3.00	USD 110.00	USD 330.00	
			<b>2.Trabajos preliminares</b>				<b>USD 501.80</b>	0.70%
2		N2	2.1 Desbroce y limpieza (Incluye desalojo)	m3	40.50	USD 0.82	USD 33.21	
3		N3	2.2 Trazado y replanteo	m2	400.50	USD 1.17	USD 468.59	
			<b>3. Obras Temporales</b>				<b>USD 1 637.25</b>	2.29%
4		N4	3.1 Bodega, caseta	m2	15.00	USD 18.63	USD 279.45	
5		N5	3.2 Cerramiento de alambre de púas (3 filas)	ml	120.00	USD 1.19	USD 142.80	
6		N6	3.3 Mejoramiento al camino de acceso empedrado (ancho = 6 m y espesor = 0.30 m)	m2	270.00	USD 4.50	USD 1 215.00	

			<b>4. Movimiento de tierra</b>				<b>USD 16 528.55</b>	23.11 %
7		N7	4.1 Excavacion para cimentación del dique	m3	81.00	USD 11.51	USD 932.31	
8		N8	4.2 Relleno compactado con roca para cuerpo de dique	m3	671.7 6	USD 16.19	USD 10 875.79	
9		N9	4.3 Relleno mezcla de materiales (arena fina con arcilla)	m3	167.9 4	USD 18.27	USD 3 068.26	
10		N10	4.4 Relleno piedra triturada 4 pulgadas	m3	188.1 0	USD 13.74	USD 2 584.49	
			<b>5. Cimentación</b>				<b>USD 12 949.60</b>	18.10 %
11		N11	5.1 Replanteo	m3	4.05	USD 70.00	USD 283.50	
12		N12	5.2 Construcción de armadura de acero	m3	130.9 5	USD 16.19	USD 2 120.08	
13		N13	5.3 Encofrado	m2	273.6 0	USD 7.20	USD 1 969.92	
14		N14	5.4 Fundición con hormigón f'c = 350 kg/cm2	m3	81.00	USD 105.00	USD 8 505.00	
15		N15	5.5 Curado de hormigón	m3	81.00	USD 1.00	USD 81.00	
16		N16	5.6 Desencofrado	m2	273.6 0	USD 1.00	USD 273.60	
			<b>6. Cuerpo del dique</b>				<b>USD 32 237.90</b>	45.07 %
17		N17	6.1 Encofrado cuerpo de vertedero	m2	333.0 0	USD 7.20	USD 2 397.60	

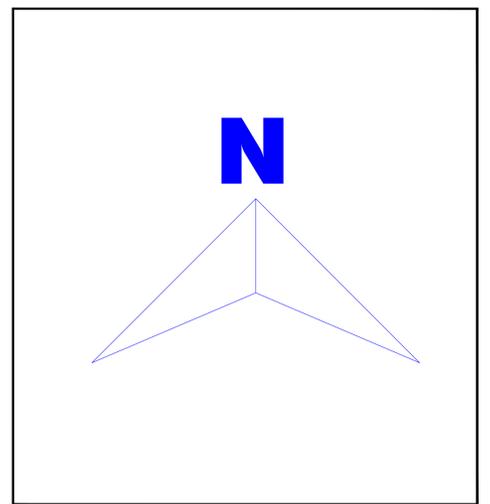
18		N18	6.2 Fundición de hormigón de $f'c=350$ kg/cm <sup>2</sup> para cuerpo de vertedero	m3	49.95	USD 105.00	USD 5 244.75	
19		N19	6.3 Curado del hormigón de cuerpo de vertedero	m3	49.95	USD 1.00	USD 49.95	
20		N20	6.4 Desencofrado cuerpo de vertedero	m2	333.0 0	USD 1.00	USD 333.00	
21		N21	6.5 Encofrado de recubrimiento de vertedero	m2	469.6 5	USD 7.20	USD 3 381.48	
22		N22	6.6 Fundición de hormigón de $f'c=350$ kg/cm <sup>2</sup> con malla electrosoldada para recubrimiento de vertedero	m3	99.90	USD 112.00	USD 11 188.80	
23		N23	6.7 Curado del hormigón de recubrimiento de vertedero	m3	99.90	USD 1.00	USD 99.90	
24		N24	6.8 Desencofrado de recubrimiento de vertedero	m2	469.6 5	USD 1.00	USD 469.65	
25		N25	6.9 Encofrado de losa de vertedero	m2	1.66	USD 7.20	USD 11.95	
26		N26	6.10 Fundición de hormigón de $f'c=240$ kg/cm <sup>2</sup> con malla electrosoldada para losa de vertedero	m3	37.35	USD 100.00	USD 3 735.00	
27		N27	6.11 Curado del hormigón de losa de vertedero	m3	37.35	USD 1.00	USD 37.35	
28		N28	6.12 Desencofrado de losa de vertedero	m2	1.66	USD 1.00	USD 1.66	
29		N29	6.13 Encofrado de dique	m2	235.1 9	USD 7.20	USD 1 693.37	
30		N30	6.14 Fundición de hormigón de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con malla electrosoldada para dique	m3	33.25	USD 100.00	USD 3 325.00	
31		N31	6.15 Curado del hormigón de dique	m2	33.25	USD 1.00	USD 33.25	
32		N32	6.16 Desencofrado de dique	m2	235.1 9	USD 1.00	USD 235.19	

			<b>7. Obras Complementarias</b>				<b>USD 3 149.70</b>	4.40%
33		N33	7.1 Geotextil	m2	1493.00	USD 0.79	USD 1 179.47	
34		N34	7.2 Geomembrana	m2	747.00	USD 0.79	USD 590.13	
35		N35	7.3 Expropiación	m2	450.00	USD 1.15	USD 517.50	
36		N36	7.4 Vegetación	m2	56.26	USD 10.00	USD 562.60	
37		N37	7.5 Señalización temporal de la obra	gb	1.00	USD 300.00	USD 300.00	
			<b>8. Componente ambiental</b>				<b>USD 4 200.00</b>	5.87%
38		N38	8.1 Capacitación en operación y mantenimiento de la infraestructura	gb	1.00	USD 500.00	USD 500.00	
39		N39	8.2 Educación sanitaria	gb	1.00	USD 500.00	USD 500.00	
40		N40	8.3 Revegetación de áreas reacondicionadas	m2	270.00	USD 10.00	USD 2 700.00	
41		N41	8.4 Manejo efectivo de agua de riego	gb	1.00	USD 500.00	USD 500.00	
						<b>TOTAL DE COSTOS DIRECTOS</b>	<b>USD 71 534.80</b>	100%
						<b>TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS (20%)</b>	USD 14 306.96	
						<b>COSTO TOTAL DE LA OBRA</b>	<b>USD 85 841.76</b>	

# Corte 1-1



Escala 1:100

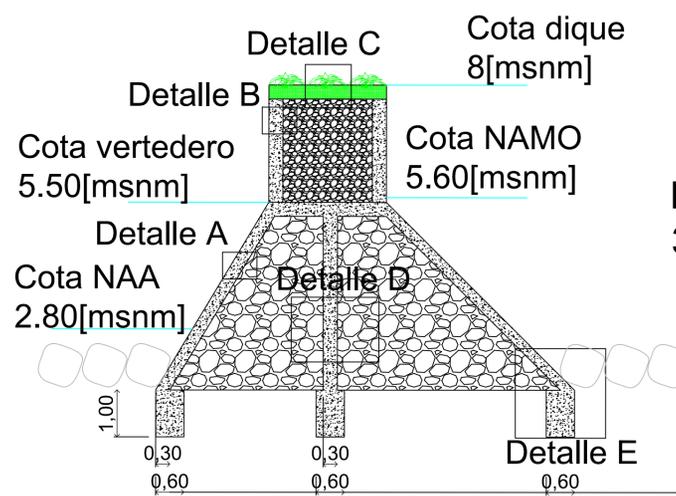


**UBICACIÓN:**

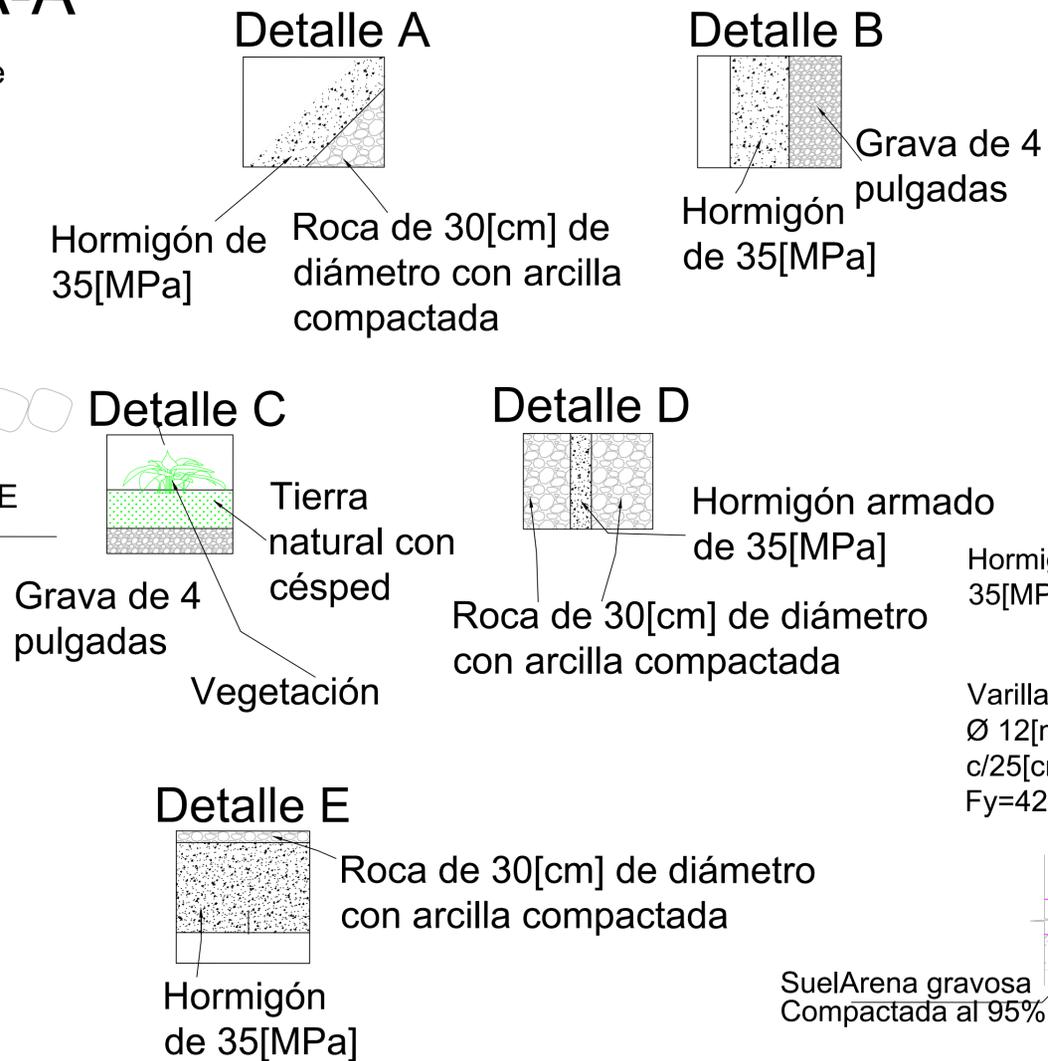
**DATOS DEL PREDIO:**  
 COORDENADAS: 528798E 9796562N  
 PROVINCIA: SANTA ELENA  
 PARROQUIA: MANGLARALTO

SIN ESCALA

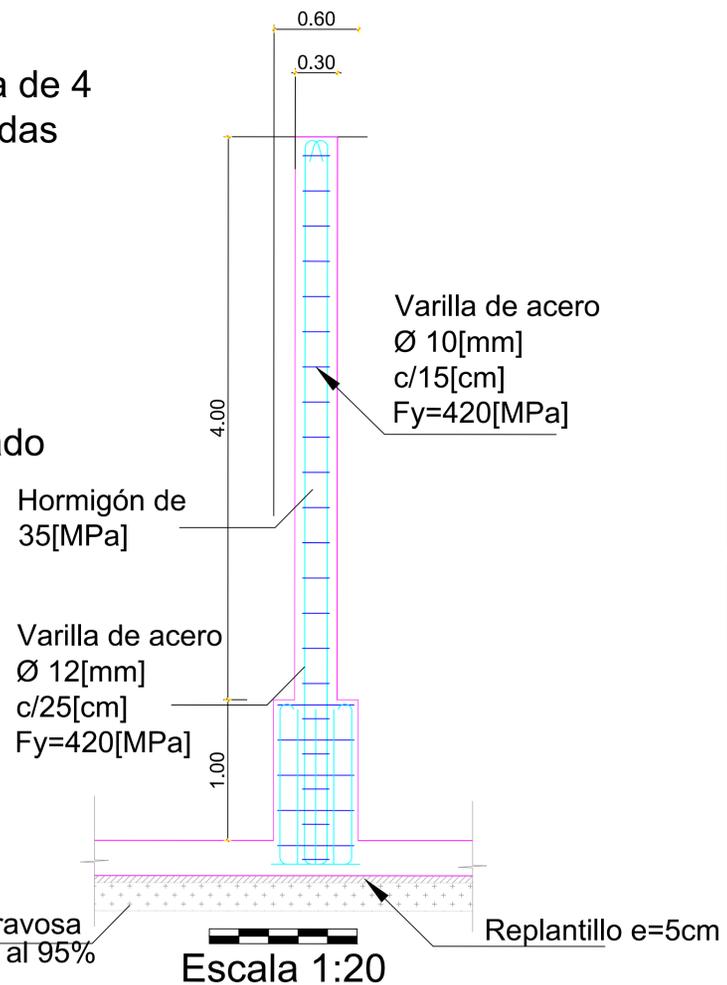
# Corte A-A



Escala 1:75



# Columna



Escala 1:20

**LEYENDA**

- Hormigón 35[MPa]
- Tierra natural con césped
- Dirección cauce del río
- Vegetación
- Pedraplén 30[cm]
- Terreno natural
- Varilla de acero Fy=420[MPa]

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:  
 Diseño de un dique en el río Manglaralto, en el sector próximo a la extensión universitaria UPSE para la recarga del acuífero

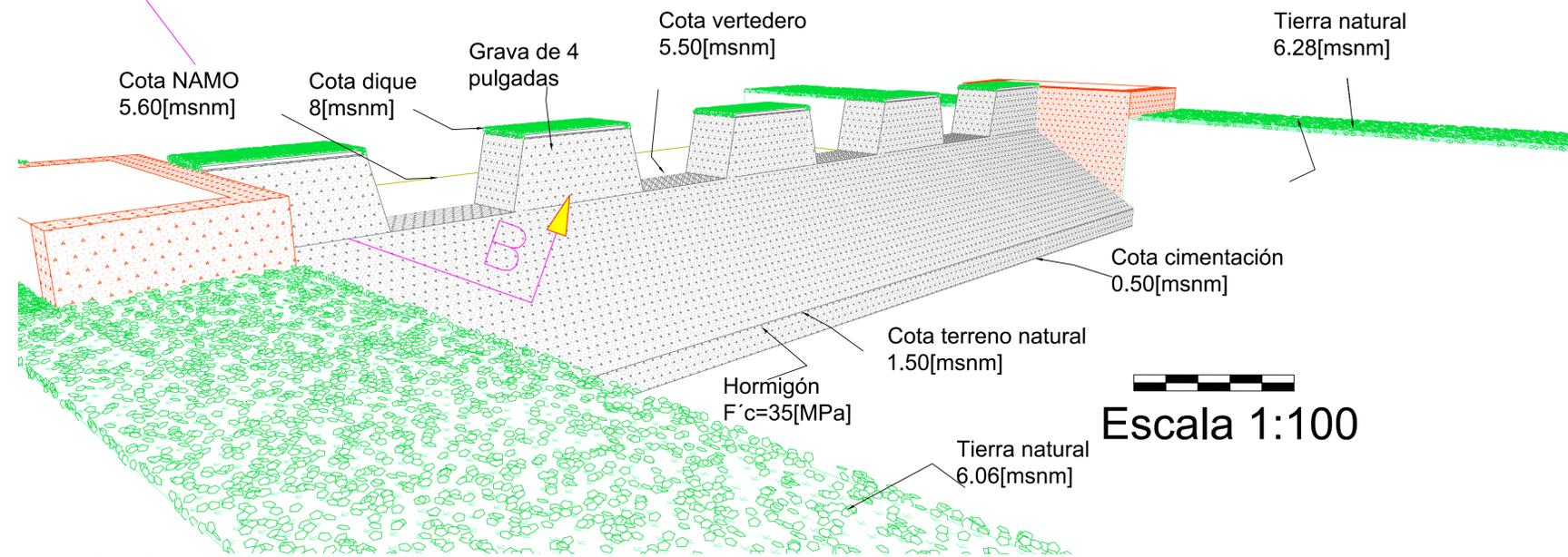
OBSERVACIONES:

ESCALA: INDICADAS

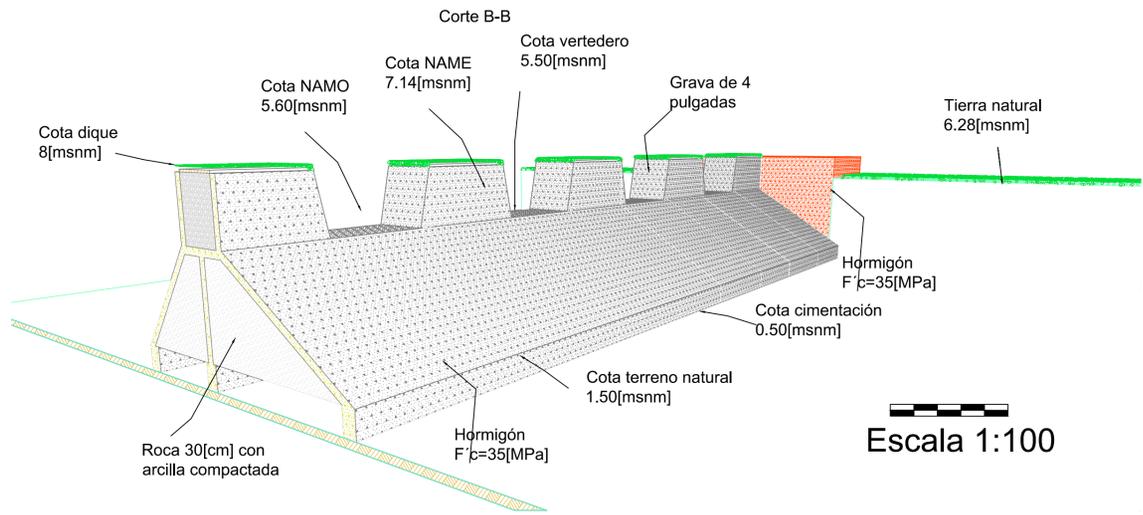
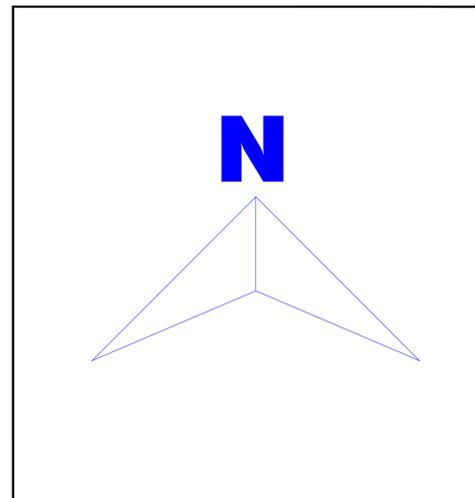
Coordinador de Materia Integradora: M.Sc. Lenin Dender  
 Tutor de Área de Conocimiento: M.Sc. Bethy Merchan  
 Estudiantes: Ibarra Cruz Marcelo Andrés, Vera Valencia María Johimara

CONTIENE:  
 VISTA LONGITUDINAL DEL DIQUE, DETALLES Y COLUMNA

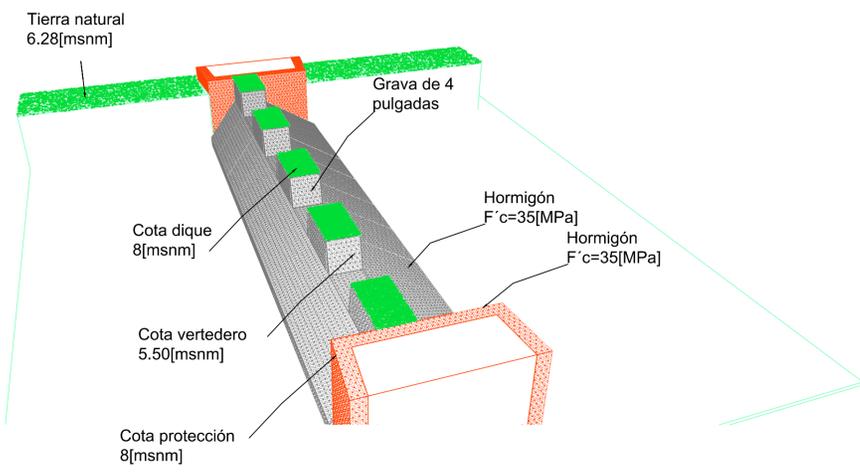
FECHA: 2 Agosto, 2023  
 LÁMINA: 1 / 3



Escala 1:100



Escala 1:100



Escala 1:150



**LEYENDA**

Hormigón 35[MPa]	
Tierra natural con césped	
Protecciones hormigón F'c=35[MPa]	
Vegetación	
Pedraplén 30[cm]	
Terreno natural	
Varilla de acero Fy=420[MPa]	

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:  
**Diseño de un dique en el río Manglaralto, en el sector próximo a la extensión universitaria UPSE para la recarga del acuífero**

OBSERVACIONES:

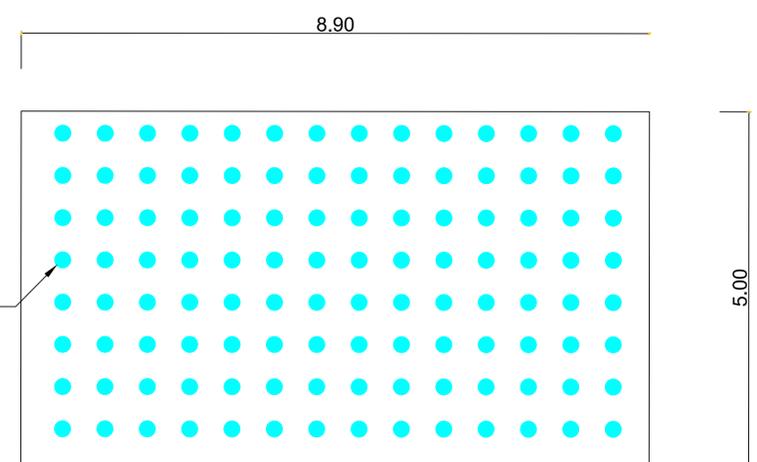
ESCALA: INDICADAS

Coordinador de Materia Integradora: M.Sc. Lenin Dender	Tutor de Área de Conocimiento: M.Sc. Bethy Merchan	Estudiantes: Ibarra Cruz Marcelo Andrés Vera Valencia María Johimara
---	---	--

CONTIENE:  
VISTAS 3D Y PROTECCIÓN DE TALUD

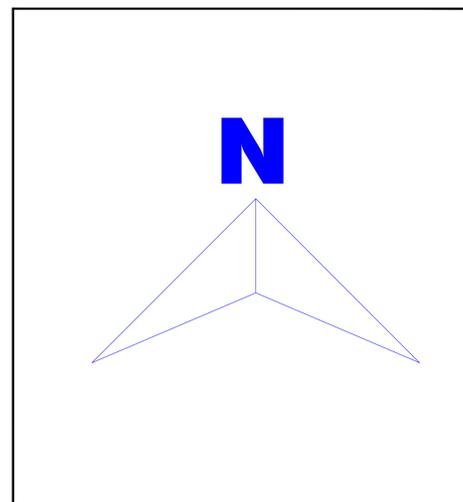
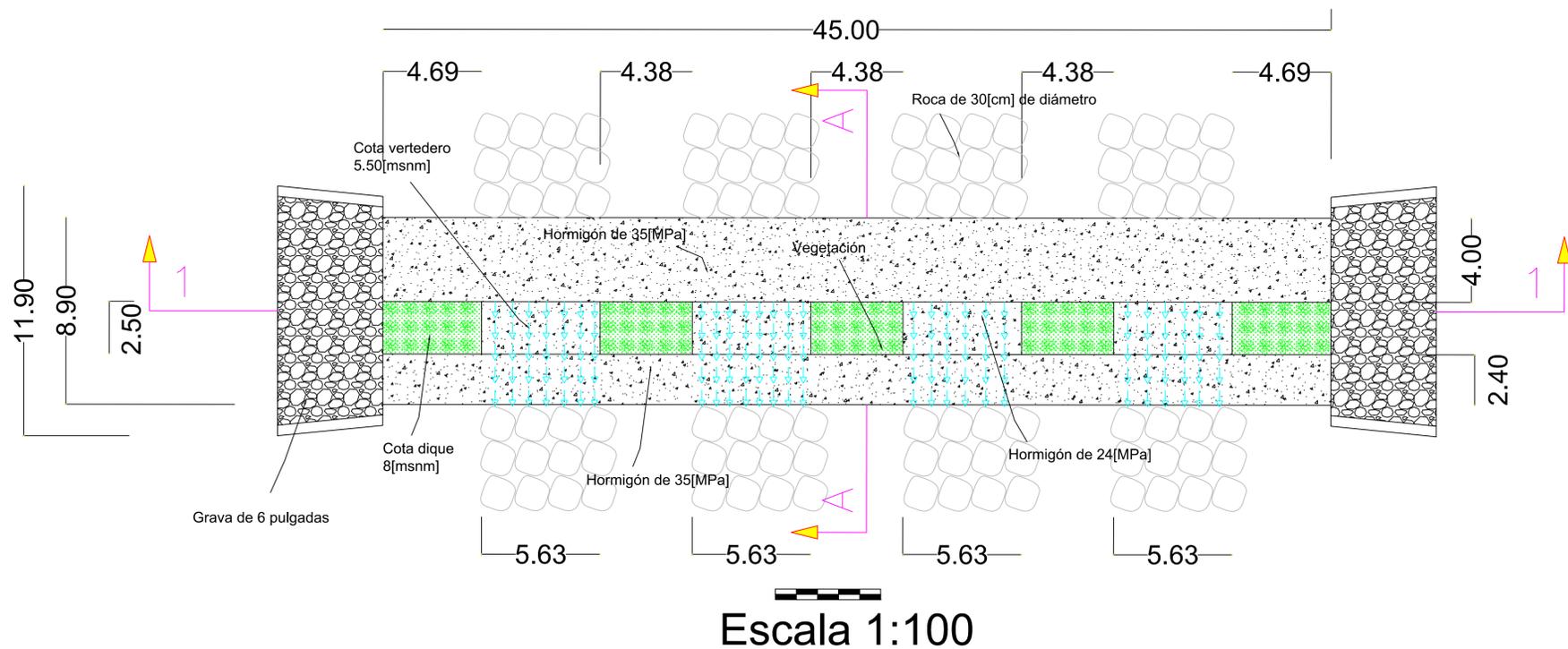
FECHA:  
2 Agosto, 2023

LÁMINA:  
2 / 3



Escala 1:50

# Vista en planta



**UBICACIÓN:**

**DATOS DEL PREDIO:**

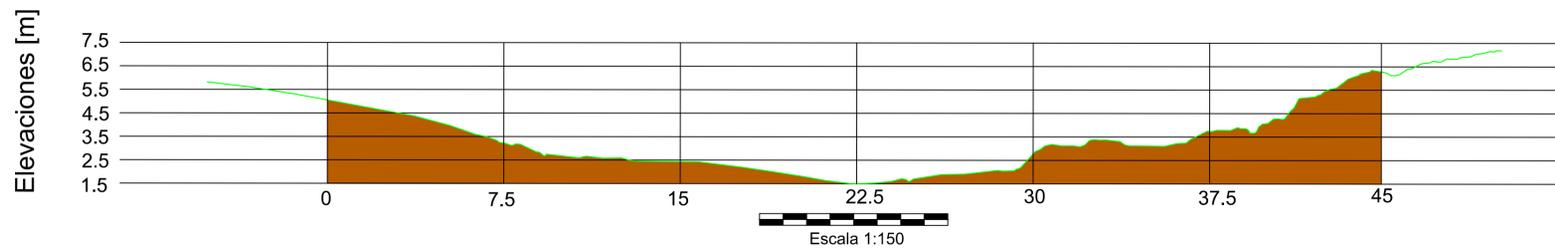
COORDENADAS:  
528798E  
9796562N

PROVINCIA:  
SANTA ELENA

PARROQUIA:  
MANGLARALTO

SIN ESCALA

# Nivel de terreno en el sitio de implantación del dique desde aguas arriba



**LEYENDA**

Hormigón 35[MPa]

Tierra natural con césped

Dirección cauce del río

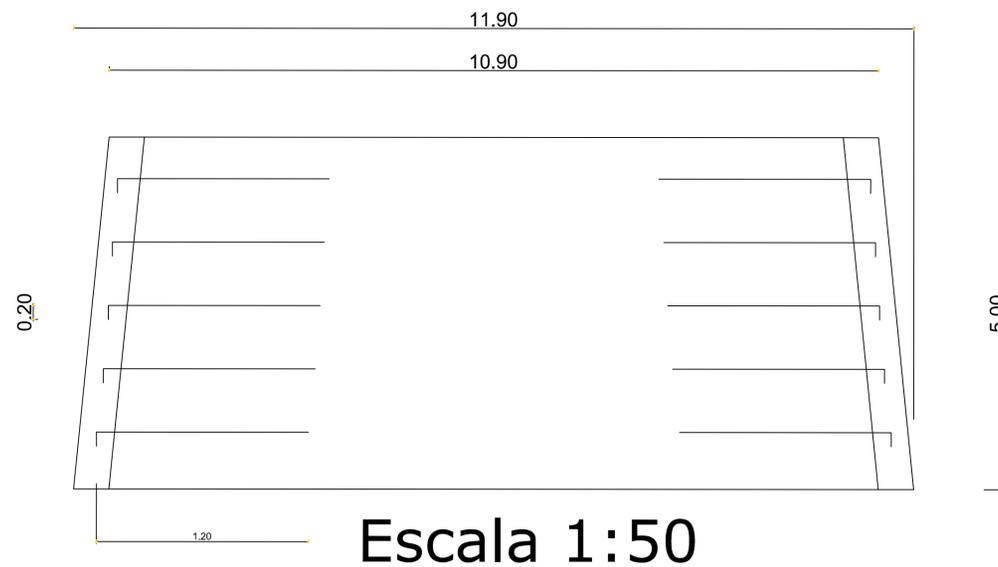
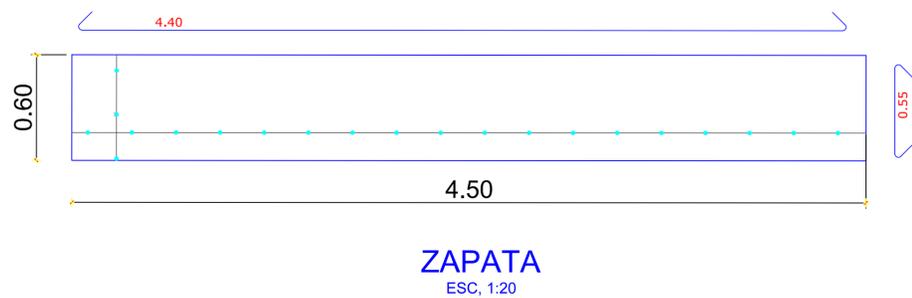
Vegetación

Pedraplén 30[cm]

Terreno natural

Varilla de anclaje 12[mm]

# Varilla de 12[mm] cada 25[cm]



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:  
Diseño de un dique en el río Manglaralto, en el sector próximo a la extensión universitaria UPSE para la recarga del acuífero

OBSERVACIONES:

ESCALA INDICADAS:

Coordinador de Materia Integradora: M.Sc. Lenin Dender

Tutor de Área de Conocimiento: M.Sc. Bethy Merchan

Estudiantes: Ibarra Cruz Marcelo Andrés, Vera Valencia María Johimara

CONTIENE:  
VISTA EN PLANTA, ELEVACIÓN DE TERRENO NATURAL Y PROTECCIÓN DE TALUD

FECHA:  
2 Agosto, 2023

LÁMINA:  
3 / 3