

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

---

Comparación técnica entre gaviones y enrocado como defensas ribereñas  
ante máximas avenidas del río Yamobamba en Sanagoran, La Libertad.

---

Línea de investigación: Ingeniería Civil

Sub línea de investigación: Hidráulica

Autores:

Pérez Flores, Liz Laura

Álvarez Dávila, Marjorie Johana

Jurado Evaluador:

Presidente: Serrano Hernández, José Luis

Secretario: Narváez Aranda, Ricardo

Vocal: Cabanillas Quiroz, Guillermo

Asesor:

Salazar Perales, Álvaro Fernando

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8871-2368>

TRUJILLO - PERÚ

2023

**Fecha de sustentación:** 2023/02/28



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

---

Comparación técnica entre gaviones y enrocado como defensas ribereñas ante máximas avenidas del río Yamobamba en Sanagoran, La Libertad.

---

Línea de investigación: Ingeniería Civil

Sub línea de investigación: Hidráulica

Autores:

Pérez Flores, Liz Laura

Álvarez Dávila, Marjorie Johana

Jurado Evaluador:

Presidente: Serrano Hernández, José Luis

Secretario: Narváez Aranda, Ricardo

Vocal: Cabanillas Quiroz, Guillermo

Asesor:

Salazar Perales, Álvaro Fernando

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8871-2368>

TRUJILLO - PERÚ

2023

**Fecha de sustentación:** 2023/02/28

**COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE GAVIONES Y ENROCADO COMO  
DEFENSAS RIBEREÑAS ANTE MÁXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAMOBAMBA  
EN SANAGORAN, LA LIBERTAD.**

**JURADO CALIFICADOR**

.....  
**ING. SERRANO HERNÁNDEZ JOSÉ LUIS**

**CIP: 54464**

**PRESIDENTE**

.....  
**DR. NARVÁEZ ARANDA RICARDO**

**CIP: 58776**

**SECRETARIO**

.....  
**ING. CABANILLAS QUIROZ GUILLERMO**

**CIP: 17902**

**VOCAL**

.....  
**ING. SALAZAR PERALES ALVARO FERNANDO**

**CIP: 210125**

**ASESOR**

## DEDICATORIA

Esta tesis se lo dedico a Dios en primer lugar por darme la dicha de tener unos padres maravillosos, por cuidarme, guiarme y porque siempre me han apoyado en los buenos y malos momentos de mi vida, por educarme con buenos principios, valores y modales.

A mi pequeño hijo Thiago por ser el motivo por el cual cada día quiero ser mejor madre, mejor hija, y una profesional de éxito.

A mis docentes por sus enseñanzas, sus consejos, su dedicación, su formación profesional, porque sin ellos no hubiera podido llegar hasta aquí.

Dedico esta tesis a mi madre por su esfuerzo y su amor, creyendo siempre en mí. Por sus enseñanzas y valores los cuales me han hecho ser la persona que soy ahora.

A Dios quien ha sido mi soporte y ayuda en los momentos malos y buenos, bendiciéndome en cada emprendimiento, en cumplir mis metas.

**Br. Pérez Flores Liz Laura**

**Br. Marjorie Álvarez Dávila**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios en primer lugar por permitir tener a nuestros padres con nosotros gozando de buena salud y bienestar, por tener la dicha de tener a nuestras familias con nosotros.

Agradecemos a nuestro padre por su apoyo incondicional, cariño, paciencia y por el esfuerzo que día a día dieron para convertirnos en los profesionales que somos ahora porque siempre nos dieron lo necesario para poder lograr nuestras metas, a ellos las gracias infinitas por todo lo que hacen.

También el agradecimiento a nuestro asesor el Ing. Salazar Perales Álvaro Fernando por la dedicación y el tiempo brindado en este periodo de desarrollo de nuestra tesis, estamos muy agradecidas por su enseñanza profesional.

Finalmente, a la Universidad Privada Antenor Orrego que fue el lugar donde pasamos los días más importantes de nuestra carrera profesional, gracias a nuestros docentes por tantas enseñanzas, por compartir su conocimiento, por su formación profesional y personal, gracias por formar buenos profesionales.

## RESUMEN

Se procedió a desarrollar esta investigación, que tiene la finalidad de realizar una comparación técnica de gaviones y enrocados, para poder saber cuál estructura sería más viable en el río Yamobamba.

Iniciando con un estudio de avenidas máximas, trabajando con la estación pluviométrica convencional llamado “Huamachuco”, debido que tiene mayor extensión de información. Donde la distribución probabilística que más se ajusto es el Log Normal 3P, mediante la prueba bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov. Teniendo como caudal máximo instantáneo es de  $107.17 \text{ m}^3/\text{s}$ , la cual se obtuvo mediante el promedio aritmético, de los métodos del Hidrograma Unitario Triangular y DIPEO, la cual se consideró para un periodo de 100 años.

Para la defensa ribereña se proyectó un diseño de enrocado, debido a que el río arrastra grandes bloques de bolonería y piedra, esto genera un alto potencial de erosión en el cauce. Teniendo un diámetro medio del enrocado que fluctúa entre 0.3m y 1.5m como mínimo y máximo respectivamente. El diseño del filtro ha sido diseñado para permitir una apropiada distribución del peso del enrocado, y proveer un asentamiento uniforme y reducir las presiones hidrostáticas presentes en el suelo.

« *Palabras Claves* » enrocado, gavión, hidráulica, defensa ribereña.

## ABSTRACT

Starting with a descriptive research design, which consists of analyzing a concrete situation, because it requires a thorough description and understanding of the current problem, its most characteristic features through field information, data collection, among other techniques.

Starting with a study of maximum avenues, working with the conventional pluviometric station called "Huamachuco", because it has a greater extension of information. Where the probabilistic distribution that best fit is the Log Normal 3P, using the Kolmogorov Smirnov goodness-of-fit test. The maximum instantaneous flow was 107.17 m<sup>3</sup>/s, obtained by the arithmetic average of the Triangular Unit Hydrograph and DIPEO methods, which was considered for a period of 100 years.

For the riverbank defense, a rockfill design was projected, because the river carries large boulders and stones, which generates a high erosion potential in the riverbed. The average diameter of the embankment fluctuates between 0.3m and 1.5m as minimum and maximum respectively. The design of the filter has been designed to allow an appropriate distribution of the weight of the rockfill, to provide a uniform settlement and to reduce the hydrostatic pressures present in the soil.

« Keywords » castled, gabion, hydraulics, riverside defense.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Problema.....</b>	<b>14</b>
1.1.1. Realidad problemática .....	14
1.1.2. Formulación del problema .....	15
<b>1.2. Justificación .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3. Objetivos de la investigación:.....</b>	<b>15</b>
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos .....	15
<b>II. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Antecedentes del estudio .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Marco teórico.....</b>	<b>17</b>
2.2.1. Estudio hidrológico.....	17
2.2.1.4. Método del hidrograma unitario .....	18
2.2.1.5. Método del Sistema DIPEO de Electrificación Rural .....	20
2.2.2. Socavación general .....	21
2.2.3. Muros con gaviones:.....	22
2.2.4. Diseño de un Enrocado: .....	22
2.2.4.1. Diámetro medio del material para el enrocado .....	23
2.2.4.2. Método del California Division of Highways.....	23
2.2.4.3. Método de Lopardo – Estelle.....	23
2.2.4.4. Método de Maynard.....	24
2.2.4.5. Método de Modificado de Isbash:.....	24

2.2.4.6.	Método del Bureau of Reclamation: .....	25
2.2.4.7.	Método de la División de Carreteras de California .....	25
2.2.4.8.	Método de Maynard, Ruff y Abt .....	25
2.2.4.9.	Límites de gradación de las piedras del revestimiento .....	26
2.2.4.10.	Material de filtro .....	27
2.2.4.11.	Características de la Roca:.....	27
<b>2.3.</b>	<b>Marco conceptual</b> .....	<b>28</b>
2.3.1.	Socavación .....	28
2.3.2.	Inundación .....	28
2.3.3.	Gavión .....	28
2.3.4.	Enrocado .....	28
<b>2.4.</b>	<b>Sistema de hipótesis</b> .....	<b>28</b>
2.4.1.	Variable.....	28
<b>III.</b>	<b>METODOLOGÍA EMPLEADA</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.</b>	<b>Población</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.</b>	<b>Muestra</b> .....	<b>30</b>
<b>3.3.</b>	<b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b> .....	<b>30</b>
<b>3.4.</b>	<b>Diseño de contrastación</b> .....	<b>30</b>
<b>3.5.</b>	<b>Procesamiento y análisis de datos</b> .....	<b>30</b>
<b>IV.</b>	<b>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1.</b>	<b>Estudio topográfico</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2.</b>	<b>Estudio de avenidas máximas</b> .....	<b>35</b>
<b>4.3.</b>	<b>Movimiento insipiente para verificar el potencial erosivo del río.</b> ....	<b>40</b>
<b>4.4.</b>	<b>Dimensionamiento de gavión</b> .....	<b>42</b>
4.4.1.	Parámetros de entrada .....	42
4.4.2.	Altura de gavión .....	42
4.4.3.	Ancho mínimo de la base del gavión .....	43
4.4.4.	Longitud del colchón de socavación .....	43
4.4.5.	Espesor del colchón antisocavante.....	44
4.4.6.	Resultados del dimensionamiento .....	44
<b>4.5.</b>	<b>Dimensionamiento de enrocado</b> .....	<b>44</b>
4.5.1.	Parámetros de entrada .....	44
4.5.2.	Taludes recomendados .....	45
4.5.3.	Método de California Division of Highways .....	45

4.5.4. Método de Lopardo – Estelle .....	45
4.5.5. Método de Maynard .....	46
4.5.6. Método modificado de Isbash .....	46
4.5.7. Método del Bureau of Reclamation .....	47
4.5.8. Método de la División de Carreteras de California.....	47
4.5.9. Método de Maynard, Ruff y Abt .....	48
4.5.10. Resumen de resultados para el diámetro medio de los elementos de enrocado .....	49
4.5.11. Límites de gradación de las piedras del revestimiento .....	50
4.5.12. Altura de enrocados .....	51
4.5.13. Diseño de filtro .....	51
<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>58</b>
<b>IX. ANEXOS .....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Socavación general .....	21
<b>Figura 2</b> Localización para el levantamiento topográfico .....	31
<b>Figura 3</b> Vista en planta .....	32
<b>Figura 4</b> Perfil longitudinal del río .....	33
<b>Figura 5</b> Secciones transversales .....	34
<b>Figura 6</b> Escenarios sin estructuras .....	39
<b>Figura 7</b> Curva granulométrica de calicatas .....	52
<b>Figura 8</b> Curva granulométrica para envolvente de falla .....	52
<b>Figura 9</b> Curva granulométrica del material base .....	52
<b>Figura 10</b> Curva granulométrica para material de filtro .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Distribuciones probabilísticas para estudios hidrológicos .....	18
<b>Tabla 2</b> Coeficiente de contracción $\mu$ .....	22
<b>Tabla 3</b> Coeficientes de corrección para la aplicación del método de Maynard ...	24
<b>Tabla 4</b> Granulometría propuesta por el AASHTO .....	26
<b>Tabla 5</b> Rangos granulométricos para enrocados .....	26
<b>Tabla 6</b> Granulometría de material de filtro .....	27
<b>Tabla 8</b> Operacionalización de la variable .....	29
<b>Tabla 9</b> Puntos GPS .....	32
<b>Tabla 10</b> Estaciones meteorológicas de estudio .....	35
<b>Tabla 11</b> Registros de precipitaciones máximas de 24 horas .....	36
<b>Tabla 12</b> Prueba bondad de ajuste de las distribuciones probabilísticas .....	37
<b>Tabla 13</b> P24 horas de Log normal 3p .....	37
<b>Tabla 14</b> Caudales máximos con diferentes métodos .....	38
<b>Tabla 15</b> Promedio instantáneo de caudales máximos .....	38
<b>Tabla 16</b> Parámetros de entrada para el dimensionamiento de gaviones .....	42
<b>Tabla 17</b> Alturas para gaviones .....	42
<b>Tabla 18</b> Ancho mínimo del ancho para gaviones .....	43
<b>Tabla 19</b> Longitud del colchón de socavación .....	43
<b>Tabla 20</b> Resultados del dimensionamiento del gavión .....	44
<b>Tabla 21</b> Parámetros de entrada para el dimensionamiento de enrocado .....	44

<b>Tabla 22</b>	Taludes recomendados para el dimensionamiento .....	45
<b>Tabla 23</b>	Diámetros por la ecuación California Division of Highways.....	45
<b>Tabla 24</b>	Diámetros por la ecuación Lopardo – Estelle.....	46
<b>Tabla 25</b>	Diámetro por la ecuación de Maynard.....	46
<b>Tabla 26</b>	Diámetro por la ecuación de Isbash .....	47
<b>Tabla 27</b>	Diámetro por la ecuación de Bureau of Reclamation .....	47
<b>Tabla 28</b>	Diámetro por la ecuación de División de Carreteras de California .....	47
<b>Tabla 29</b>	Diámetro por la ecuación de Maynard, Ruff y Abt.....	48
<b>Tabla 30</b>	Resumen de resultados de diámetro medio .....	49
<b>Tabla 31</b>	Porcentajes de gradación.....	50
<b>Tabla 32</b>	Resumen de resultados para la gradación de los enrocados.....	50
<b>Tabla 33</b>	Alturas para enrocados .....	51
<b>Tabla 34</b>	Cuadro comparativo .....	56

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b>	Área de estudio 1.....	59
<b>Anexo 2</b>	Área de estudio 2.....	59
<b>Anexo 3</b>	Tesista en área de estudio .....	60
<b>Anexo 4</b>	Registro histórico de lluvias máximas.....	61
<b>Anexo 5</b>	Prueba de datos dudosos.....	62
<b>Anexo 6</b>	Distribuciones probabilísticas .....	62
<b>Anexo 7</b>	Prueba de bondad de ajuste para precipitación máxima .....	64
<b>Anexo 8</b>	Precipitación máxima anual para diferentes TR .....	64
<b>Anexo 9</b>	Progresivas 0+720 a 0+780.....	65
<b>Anexo 10</b>	Progresivas 0+780 a 0+860.....	66
<b>Anexo 11</b>	Progresivas 0+880 a 0+940.....	67
<b>Anexo 12</b>	Progresivas 0+960 a 0+1020.....	68
<b>Anexo 13</b>	Progresivas 0+640 a 0+700.....	69
<b>Anexo 14</b>	Progresivas 0+720 a 0+780.....	70
<b>Anexo 15</b>	Progresivas 0+800 a 0+860.....	71
<b>Anexo 16</b>	Progresivas 0+880 a 0+940.....	72
<b>Anexo 17</b>	Progresivas 0+940 a 1+000.....	73

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Problema.

#### 1.1.1. *Realidad problemática*

Este proyecto se encuentra en el pueblo de Sanagoran, provincia Sánchez Carrión cuyo problema principal son los desbordes del río Yamobamba a raíz de las quebradas cercanas, que al activarse en tiempo de lluvias trae consigo gran cantidad de material, tales como lodo, piedras, agua ocasionando deslizamientos e inundaciones en el distrito.

Esto se debe principalmente a la falta de defensas ribereñas a lo largo de la cuenca del río dentro del área de influencia, así como de las quebradas circundantes que al no estar encauzadas provocan que el embalsamiento del río, esto data de bastante tiempo por falta de recursos y de gestión de las autoridades locales, siendo los más perjudicados la población que ante estos eventos naturales sufren pérdidas en infraestructura, económicas, sanitarias y hasta humanas.

Actualmente hay indicios de material sedimentado en forma de embalse en la intersección de la quebrada Tambo sobre el río Yamobamba, dejados por los derrumbes; la cavidad y desprendimientos de las rocas.

Estos fenómenos modifican con frecuencia la morfología de manera que condicionan totalmente el proyecto en estudio. Se acentúan en los meses de diciembre y abril meses en los cuales se acercan las altas precipitaciones pluviales afectando el tránsito de la carretera de Sanagoran a la ciudad de Huamachuco y otros centros poblados.

Actualmente en el Distrito de Sanagoran, en el Río Yamobamba hubo fuertes deslizamientos durante la última época de lluvias lo que hace urgente proponer una alternativa de solución para que en los siguientes años este problema no se vuelva a repetir y así las poblaciones no se puedan ver afectadas.

### **1.1.2. Formulación del problema**

¿Cuál defensa ribereña tendrá mejor comportamiento hidráulico y resistencia para mitigar las inundaciones causadas por el río Yamobamba en el distrito de Sanagoran?

### **1.2. Justificación**

El actual proyecto de investigación nos facilitara conocer la necesidad de considerar la construcción de una defensa ribereña en el Río Yamobamba el cual permitirá garantizar la tranquilidad de los pobladores de dicho caserío ya el hecho de que haya causado estragos en la población ayudará a producir información actualizada, el cual servirá de referencia para investigaciones a futuro, así como también una guía para los estudiantes que muestren interés en emplear programas hidráulicos.

### **1.3. Objetivos de la investigación:**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Comparar técnicamente dos tipos de defensas ribereñas gaviones y enrocado para determinar cuál tiene mejor comportamiento hidráulico y resistencia ante máximas avenidas en el Río Yamobamba que cruza por el Centro Poblado Sanagoran.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar el estudio topográfico de las zonas más desfavorables ante un desborde del mismo río Yamobamba para obtener sus vistas en planta, longitudinal y secciones transversales
- Realizar un estudio de avenidas máximas para un caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años.
- Estimar el movimiento incipiente para verificar el potencial erosivo del cauce del río Yamobamba, con la curva de Shields.
- Realizar un estudio hidráulico para el dimensionamiento de gavión y el enrocado, para calcular sus dimensiones de la estructura efectiva para el área de estudio.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. Antecedentes del estudio

**La tesis titulada “Propuesta del diseño de defensas ribereñas en el tramo Caya del río Gorgor en el Distrito Gorgor – Cajatambo – Lima” (Moncada, 2019).**

El proyecto se efectuó para prevenir máximas avenidas en el centro poblado Gorgor, con la finalidad de reconstruir el cauce natural, ya que las personas que viven a su alrededor son los que más se perjudican con sus cultivos, ganado porcino y vacuno que no los pueden explotar por la falta de comunicación entre colinas. Para esto se propuso la construcción de una defensa ribereña con gaviones en el tramo Caya del río Gorgor según la norma E030-2018. Esto logro como resultados del EMS que el lugar de estudio está formado con grava de hasta 3” con limos y vegetación a niveles de -0.30m, el resultado de diseñar la defensa ribereña, dio como resultado un vuelco tolerable de 4.5%, un deslizamiento tolerable de 14.2%, presión tolerable de 3.2%, por último, un Angulo de fricción de 11.6°, con dimensiones de altura y 2.00m de ancho.

**- La tesis titulada “Diseño de defensa ribereña con enrocado, para mitigar inundaciones causadas por desbordes del Río Rímac” (Pérez y Ruth 2017).**

La principal finalidad del proyecto es salvaguardar la seguridad cuando existan eventos como desbordes del río provocado por el fenómeno del niño o niño costero, para esto se diseñó una defensa ribereña con enrocado. Estos eventos se presentan cada cierto periodo de retorno debido a variados cambios climáticos; esto genera a la vez grandes pérdidas económicas, pérdidas humanas, en la misma actividad agrícola y ganadera, al igual que en la infraestructura existente. La propuesta final del diseño, se ha considerado una metodología aplicada; estudios de ingeniería básica tales como topografía, geotecnia, geología, hidrológica, hidráulica y EIA.

**- La tesis titulada “Comparación técnica entre el uso de gaviones y geo celdas como estructuras de defensa ribereña” (Aguilar y Daniel 2016).**

En este trabajo se hace una comparación entre dos tipos de revestimientos contra la erosión ribereña. Estos revestimientos que se analizaron son los colchones de gaviones y las geos celdas con relleno de concreto; y se hizo mediante tres variables técnicas entre ellas, las variables para la comparación son la resistencia a la erosión y durabilidad, la rugosidad de la superficie de contacto y la firmeza del sistema de protección ante avenidas. Estas variables han sido establecidas para poder mostrar las características esenciales de análisis de los revestimientos comparados y estudiados. Se ha mostrado que los colchones de gaviones y las geos celdas con relleno de concreto tienen la capacidad de ser resistentes a las solicitaciones y desplazamientos mínimos del proyecto. Aun cuando, en sustento al análisis desarrollado, se ha definido que las geos celdas con relleno de concreto poseen el alto desempeño como recubrimiento contra la erosión ribereña.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Estudio hidrológico**

#### **2.2.1.1. Análisis de frecuencia.**

El principal objetivo de un análisis de frecuencia en series hidrometeorológicas, es la estimación de sus máximos valores de las variables a estudiar, con diferentes periodos de retorno mediante distribuciones probabilísticas ( Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC], 2011)

#### **2.2.1.2. Tiempo de retorno.**

Se define como el tiempo que transcurre para que un evento exceda o iguale al promedio de los eventos ocurridos históricamente ( Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC], 2011)

También se puede atribuir un periodo de retorno basado en el área de drenaje que tiene nuestra cuenca a estudiar. Ponce (2008), nos recomienda que áreas menores a 250 hectáreas, no llega a justificarse períodos de retorno superiores a 25 años.

### 2.2.1.3. Distribuciones probabilísticas.

En la estadística, existen diversas distribuciones probabilísticas, que es muy común en su uso de estudios hidrológicos, la cual son los siguientes.

**Tabla 1**

*Distribuciones probabilísticas para estudios hidrológicos*

Nombre de la distribución	Acrónimo	Referencia
Normal	(N)	(Gauss)
Log-Normal	(LN)	(Hazen, 1914)
Pearson tipo III	(P3)	(Foster, 1924)
Gamma 3 parámetros	(G3)	(Kristky, 1946)
Gamma	(G)	(Moran, 1957)
Log-Pearson tipo III	(LP3)	(U.S.WRC, 1981)
Valores extremos generalizados	(GEV)	(Jenkinson, 1955)

**Nota.** Se describe las diferentes distribuciones probabilísticas con sus respectivas referencias para dar detalle a las ecuaciones de cada distribución.

### 2.2.1.4. Método del hidrograma unitario

Desarrollado por Mockus y adoptado por el Soil Conservation Service (SCS). Este método, pese a su simplicidad, concede los parámetros primordiales del hidrograma, tal como: tiempo base ( $t_b$ ), caudal pico ( $Q_p$ ) y tiempo en el que se produce el pico ( $t_p$ ). El caudal pico,  $Q_p$ , se determina mediante la expresión:

$$Q_p = 0.208 * \frac{A * P_e}{t_p}$$

Donde:

$Q_p$  : Caudal pico [m<sup>3</sup>/s]

$A$  : Área de la cuenca aportante [km<sup>2</sup>]

$P_e$  : Lámina de precipitación efectiva [mm]

$t_p$  : Tiempo pico [hr]

El tiempo para alcanzar el pico,  $t_p$ , se determina mediante la ecuación:

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$$

Donde:

$d_e$  : Duración en exceso [hr]

$t_r$  : Tiempo de retraso [hr]

La duración en exceso,  $d_e$ , se determina a través de la siguiente ecuación:

$$d_e = 0.133 * t_c$$

El S.C.S. relaciona el tiempo de retraso,  $t_r$ , con el tiempo de concentración,  $t_c$ , col la siguiente formula:

$$t_r = 0.6 * t_c$$

A su vez, el tiempo de concentración,  $t_c$ , puede ser hallado a través de las ecuaciones usuales que fueron anteriormente señaladas.

### **Cálculo de la precipitación efectiva, $P_e$**

En primer lugar, se determina la lámina de lluvia correspondiente a la duración igual al tiempo de concentración mediante la fórmula de Dyck y Peschke (1978). Esto nos permite estimar la lámina (P) y la intensidad de precipitación para cada duración D. (en minutos) Basado en la precipitación máxima en 24 horas.

$$P = P_{24h} * \left[ \frac{D}{1440} \right]^{0.25}$$

Para el cálculo de la precipitación efectiva se hace uso del método del SCS. Este método considera que la precipitación efectiva ( $P_e$ ) es siempre menor que la precipitación total (P). La reducción se efectúa considerando una abstracción inicial (S) y número de curva (CN) que toma en cuenta la naturaleza del suelo de la cuenca.

Así, la precipitación efectiva se determina con la relación:

$$P_e = \frac{(P - Ia)^2}{P + 0.80S} = \frac{(P - 0.20S)^2}{P + 0.80S} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde:

Pe : Lámina de precipitación efectiva [mm]

P : Precipitación de diseño [mm]

S : Abstracción inicial,

CN : Numero de curva, según SCS.

Los números de curva han sido estimados en base a los números de curva presentados por Ven te Chow en el manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, reconocimiento de campo e imágenes satelitales de las cuencas aportantes.

#### **2.2.1.5. Método del Sistema DIPEO de Electrificación Rural**

El método al que se hace referencia es el desarrollado por el Instituto ORSTOM (Francia), el cual ha sido recogido y propuesto por el Convenio GTZ-EletoPerú en el Sistema DIPEO para la Electrificación Rural del Perú.

De acuerdo con este método, el caudal de avenidas extraordinarias en cuencas hidrográficas de 1 km<sup>2</sup> a 200 km<sup>2</sup> puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{P_{24h} * A * C_R * C_{P/R} * C_F}{T_C}$$

Donde:

P<sub>24</sub> : Precipitación máxima diaria en un periodo de retorno [mm]

P : Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

CR : Coeficiente de reducción, según el área de la cuenca [-]

### 2.2.2. Socavación general

En el análisis de la socavación general se tiene las siguientes variables definidas en la *figura 1*.

Qd: Caudal de diseño [m<sup>3</sup>/s]

Be: Ancho efectivo de la superficie en la sección transversal [m]

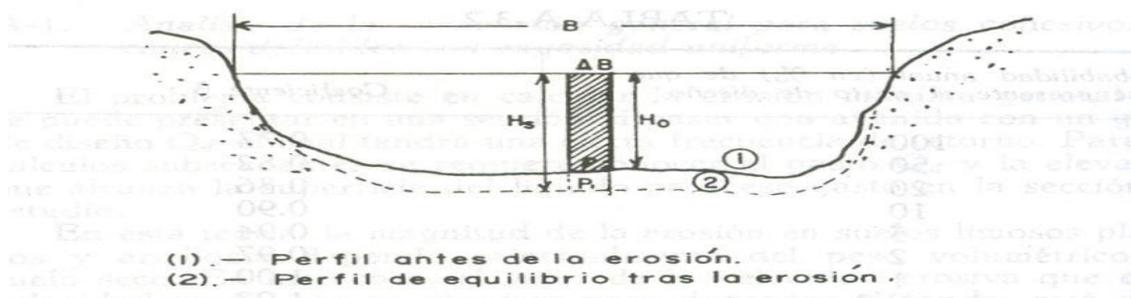
Hm: tirante medio del área hidráulica entre el ancho efectivo) [m]

Ho: profundidad antes de la erosión [m]

Hs: profundidad socavada [m]

**Figura 1**

*Socavación general*



*Nota.* Se describe la socavación general

Según el planteamiento de Lischtvan-Lebediev, la erosión se detendrá cuando a una profundidad alcanzada, el valor  $V_r$  de la velocidad de la corriente capaz de producir arrastre llega a ser igual al valor  $V_e$  correspondiente a la velocidad que se necesita para que el fondo se degrade. Las expresiones de  $V_e$  y  $V_r$  son las siguientes:

$$V_e = 0.68\beta d_m^{0.28} H_s^x \quad V_r = \frac{\alpha H_0^{5/3}}{H_s} V_r = \frac{\alpha H_0^{5/3}}{H_s}$$

Donde:

B: Coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida

dm: Diámetro medio (en mm) de los granos del fondo.

$\alpha$ : está dado por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{q_d}{H_m^{5/3} B e u}$$

**Tabla 2**  
*Coefficiente de contracción  $\mu$*

V (m/s)	Luz Libre (m)												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
<1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.6	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
>4	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

*Nota.* Se describe los coeficientes de contracción para la luz libre.

### **2.2.3. Muros con gaviones:**

La fabricación de muros de gaviones es una técnica constructiva que incorpora cajas o jaulas hexagonales hechas de malla metálica rellenas de piedras de varios tamaños para dar estabilidad a la estructura. Estas mallas son gaviones. Suelen ser de malla electro soldada para darles mayor rigidez, estética y resistencia, para las paredes se suele utilizar barras de acero galvanizado de 3 a 10 mm de diámetro. Estos son fijos y forman un sólido debido a la densidad del relleno.

### **2.2.4. Diseño de un Enrocado:**

Para la ejecución del diseño de un enrocado se toma en cuenta muchos factores dentro de ellos están: evaluar todas las infraestructuras de drenaje y riego en áreas agrícolas, infraestructuras viales, abastecimiento de agua entre otras; esto quiere decir que hay que evaluar las estructuras que estén en riesgo de erosión en función a máximas avenidas.

#### **2.2.4.1. Diámetro medio del material para el enrocado**

Para el diseño del enrocado de protección, se ha hecho uso de diversos métodos disponibles, entre los que se tiene:

Método del California Division of Highways

Método de Lopardo – Estelle

Método de Maynard

Método del U.S. Department of Transportation

Método de Modificado de Isbash

Método del Bureau of Reclamation

Método de la División de Carreteras de California

Método de Maynard, Ruff y Abt

#### **2.2.4.2. Método del California Division of Highways**

$$\frac{u}{\sqrt{g.R.D}} = 1.92. [\text{sen}(\phi - \theta)]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

u : Velocidad de la corriente [m/s]

R : Densidad relativa sumergida del enrocado de protección

$\phi$  : Ángulo de reposo [°]

$\theta$  : Ángulo del talud [°]

D : Tamaño del material [m]

#### **2.2.4.3. Método de Lopardo – Estelle**

$$\frac{u}{\sqrt{g.R.D}} = 1.3. \left(\frac{H}{D}\right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(1 - \left(\frac{\text{sen}\theta}{\text{sen}\phi}\right)^2\right)^{\frac{1}{4}}$$

Donde:

u : Velocidad de la corriente [m/s]

R : Densidad relativa sumergida del enrocado de protección

$\phi$  : Ángulo de reposo [°]  $\theta$  : Ángulo del talud [°]

H : Tirante normal [m]

D : Tamaño del material [m]

#### 2.2.4.4. Método de Maynard

$$d_{50} = C_1 \cdot (y \cdot F^3)$$

$$F = C_2 \left( \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} \right)$$

Donde:

$d_{50}$  : Diámetro medio de las rocas [m]

$y$  : Profundidad del flujo

$V$  : Velocidad media del flujo [m/s]

$F$  : Número de Froude [-]

$C_1$  y  $C_2$ : Coeficientes de corrección [-]

**Tabla 3**

*Coeficientes de corrección para la aplicación del método de Maynard*

COEFICIENTES		CONDICIÓN
C1	0.28	Fondo plano
	0.28	Talud 1V: 3H
	0.32	Talud 1V: 2H
C2	1.50	Tramos en curva
	1.25	Tramos rectos
	2.00	Extremos de espigones

*Nota.* Se describe los coeficientes de corrección para el método de Maynard.

#### 2.2.4.5. Método de Modificado de Isbash:

$$W = \frac{0.0232 \cdot G_p \cdot V^6}{(G_p - 1)^3 \cdot \cos^3 \phi}, W = 0.85 \cdot (\gamma_s \cdot d^3)$$

Donde:

$W$  : Peso de las piedras de diámetro medio ( $d_{50}$ ) [kg]

$G_p$  : Gravedad específica de las piedras, usualmente = 2.65 [-]

$\phi$  : Ángulo que forma el talud de revestimiento con la horizontal [°]

$V$  : Velocidad del flujo en el lecho [m/s]

$d_{50}$  : Diámetro de la piedra para la cual el 50% del material por peso [m]

#### 2.2.4.6. **Método del Bureau of Reclamation:**

$$d_{100} = \frac{0.0668 \cdot V^2}{G_p - 1}, d_{50} = 0.76 \cdot d_{100}$$

$d_{100}$  : Diámetro de las piedras [m]

$V$  : Velocidad media de la corriente [m/s]

$G_p$  : Gravedad específica de las piedras, usualmente = 2.65 [-]

#### 2.2.4.7. **Método de la División de Carreteras de California**

$$W = \frac{0.0113 \cdot G_p \cdot V^6}{(G_p - 1)^3 \cdot \text{sen}^3(70 - \phi)}, W = 0.85 \cdot (\gamma_s \cdot d^3)$$

Donde:

$W$  : Peso de las piedras de diámetro medio ( $d_{50}$ ) [kg]

$V$  : Velocidad media de la corriente [m/s]

$G_p$  : Gravedad específica de las piedras, usualmente = 2.65 [-]

$\phi$  : Ángulo que forma el talud de revestimiento con la horizontal [°]

#### 2.2.4.8. **Método de Maynard, Ruff y Abt**

$$d_{30} = 0.3 \cdot h \cdot FS \cdot \left[ \left[ \frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right]^{0.5} \cdot \frac{V_t}{\sqrt{g \cdot h}} \right]^{2.5}, d_{50} = \frac{d_{30}}{0.70}$$

Donde:

$d_{30}$  : Tamaño de la roca tal que el 30% en peso es más fino [m]

$h$  : Profundidad del agua al pie del talud del enrocado [m]

$V_t$  : Velocidad medial local de la corriente al pie del talud [m/s]

$F_s$  : Factor de seguridad, usualmente igual a 1.2 [-]

$\gamma_w$  : Peso específico del agua [kg/m<sup>3</sup>]

$\gamma_p$  : Peso específico de las piedras [kg/m<sup>3</sup>]

#### 2.2.4.9. Límites de gradación de las piedras del revestimiento

La gradación de las piedras dentro del revestimiento puede afectar la resistencia a la erosión de la escollera protectora, por lo que se requiere una clasificación adecuada de las piedras dentro de la escollera. Los límites de pendiente se establecieron en base a las recomendaciones descritas en las Especificaciones de protección de terraplenes de AASHTO.

**Tabla 4**  
*Granulometría propuesta por el AASHTO*

RANGO DEL TAMAÑO DE PIEDRAS	RANGO DE PESO DE PIEDRAS	PORCENTAJE DE GRADACIÓN MÁS PEQUEÑA QUE
1.5 D50 a 1.7 D50	3.0 W50 a 5.0 W50	100
1.2 D50 a 1.4 D50	2.0 W50 a 2.75 W50	85
1.0 D50 a 1.5 D50	1.0 W50 a 1.5 W50	50
0.4 D50 a 0.6 D50	0.1 W50 a 0.2 W50	15

*Nota.* Se describe la granulometría propuesta por el AASHTO.

Los rangos granulométricos en función al diámetro medio para los distintos tramos se presentan a continuación:

**Tabla 5**  
*Rangos granulométricos para enrocados*

% de gradación más pequeña que	RANGO DEL TAMAÑO DE PIEDRAS (M)				
	YAMOBAMBA	PRINCIPAL US	PRINCIPAL	PRINCIPAL DS	CARACMACA
100	1.35	0.45	1.20	0.75	1.50
85	1.08	0.36	0.96	0.60	1.20
50	0.90	0.30	0.80	0.50	1.00
15	0.36	0.12	0.32	0.20	0.40

*Nota.* Se describe los rangos granulométricos para enrocados.

#### 2.2.4.10. **Material de filtro**

La granulometría del filtro deberá obedecer el siguiente criterio para prevenir el movimiento del material de base dentro del filtro y asegurar que el material de filtro sea más permeable que el material de la base. Se utiliza la granulometría de la calicata C-07 como representativo del lecho de los 3 ríos, cuyo huso granulométrico se presenta en el informe geotécnico.

$$\frac{d_{15}(\text{Capa gruesa})}{d_{85}(\text{Capa fina})} < 5 < \frac{d_{15}(\text{capa gruesa})}{d_{15}(\text{capa fina})} < 40$$

Este criterio se verifica en la interface del suelo con el filtro y el filtro con el enrocado para asegurar el funcionamiento óptimo del filtro. Los resultados de este análisis llevan a un filtro con diámetro medio de 40 mm. La gradación del filtro se presenta en la Tabla .5

**Tabla 6**

*Granulometría de material de filtro*

<b>TAMAÑO DE MALLA ESTÁNDAR</b>	<b>% QUE PASA (PESO)</b>
38 mm (1 1/2 pulgadas)	100
25 mm (1 pulgada)	89
19 mm (3/4 pulgadas)	80
10 mm (3/8 pulgadas)	56
4.75 mm (N° 4)	33
2.00 mm (N° 10)	17
0.85 mm (N° 20)	10

*Nota.* Se describe la granulometría del material de filtro.

#### 2.2.4.11. **Características de la Roca:**

“Para el diseño del enrocado se usarán piedras con estas características: durables en forma angular si es posible, deben ser duras, resistentes a la acción del agua, libres de sobrecarga, limos y arcillas, escombros y también deben reunir las especificaciones de graduación. Si en caso las rocas tienen polvo, arcilla o tierra deberán ser lavadas antes de usarse.

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Socavación**

Un río esta siempre sujeto a un proceso de excavación, sedimentación, y transporte de material ya sea por un proceso natural o artificial.

### **2.3.2. Inundación**

Se define como un aumento del nivel del agua por encima del nivel normal del cauce, por desbordamientos de ríos, lluvias torrenciales, entre otros.

### **2.3.3. Gavión**

Consiste en la elaboración de cajas de forma rectangular hechas con mallas metálicas de acero inoxidable o hierro galvanizado rellenas con piedras.

### **2.3.4. Enrocado**

Es una infraestructura constituida con piedras de gran tamaño colocadas de forma ordenada para proteger el escurrimiento del agua o las ondas de un río, o mar contra sus márgenes.

## **2.4. Sistema de hipótesis**

Si hacemos la comparación técnica entre los gaviones y enrocado para las defensas ribereñas ante máximas avenidas del Río Yamobamba, se tendrá una más eficiente alternativa de protección de alrededor de un 60% en toda el área de influencia al escoger la estructura adecuada.

### **2.4.1. Variable categórica**

Máximas avenidas generadas en el río Yamobamba

**Tabla 7***Operacionalización de la variable*

<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala</b>
Es la zona donde se ubica todos los elementos geográficos del río, así como infraestructura existente, comunidades, etc.	Su medición se realizará mediante técnicas topográficas e hidrológicas.	Longitud	Longitud del cauce del río	Desde 0+760 hasta la 1+020km
		Profundidad	Cota promedio de fondo del río	2665 msnm
		Caudal	Caudal máximo	107.17 m <sup>3</sup> /s
		Diámetro del enrocado	Diámetro medio	0.90 m

*Nota.* Elaboración propia

### III. METODOLOGÍA EMPLEADA

#### 3.1. Población

Cuenca del río Yamobamba, considerando sus afluentes.

#### 3.2. Muestra

Río Yamobamba desde la Progresiva 0+760 hasta la progresiva 1+260 Km.

#### 3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación:

- Wincha
- Teodolito
- Método del flotador

#### 3.4. Diseño de contrastación

El Diseño a usar en este proyecto de investigación es: **Diseño de Investigación descriptiva.**

Consiste principalmente en analizar una situación concreta, debido a que se requiere de una descripción y comprensión a fondo de la problemática actual, sus rasgos más característicos mediante una información de campo, preguntas a la población, recolección de datos, entre otras técnicas.

De acuerdo al fin que se desea llegar es investigación aplicada porque, busca aplicar y/o utilizar de los conocimientos adquiridos para obtener los objetivos planteados y esto se va a sustentar en la discusión de los resultados de nuestro proyecto.

#### 3.5. Procesamiento y análisis de datos

Aplicación de herramientas y Softwares siguientes:

- Software AUTOCAD.
- Software Microsoft Excel.

## IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

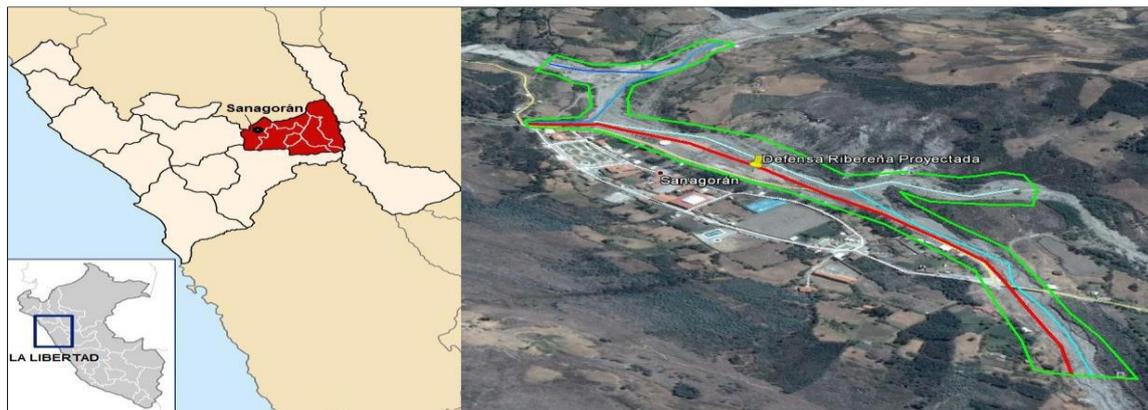
### 4.1. Estudio topográfico

En este subcapítulo tiene como objetivo el levantamiento topográfico sobre el río Yamobamba, incluyendo los niveles del lecho del río, terrenos y estructuras adyacentes, que estén dentro del área de influencia. Este levantamiento se realizó a partir de tres (3) puntos geodésicos de control, que servirán a su vez para futuros proyectos en la zona de trabajo.

La zona de trabajo tiene aproximadamente 22.71 Ha, y se encuentra ubicada en el distrito de Sanagorán, Provincia de Sánchez Carrión, en la parte norcentral de La Libertad, asentada en la cordillera de los Andes, a una altitud de 2670 msnm, cuya ubicación se muestra en la siguiente figura.

#### Figura 2

*Localización para el levantamiento topográfico*



*Nota.* Procesamiento en Google Earth Engine y ArcGIS

Los puntos de control geodésicos denominados “TP-1”, “TP-2” y “TP-3” de orden “C”, se encuentran ubicados de la siguiente manera:

- Punto geodésico “TP-1”: Se ubica en la margen izquierda (Nor – Oeste) de la localidad de Sanagorán.
- Punto geodésico “TP-2”: Se ubica en la margen derecha (Nor- Este) de la localidad de Sanagorán.
- Punto geodésico “TP-3”: Se ubica dentro de una casa de la localidad en la margen derecha (Nor-Este).

**Tabla 8**  
*Puntos GPS*

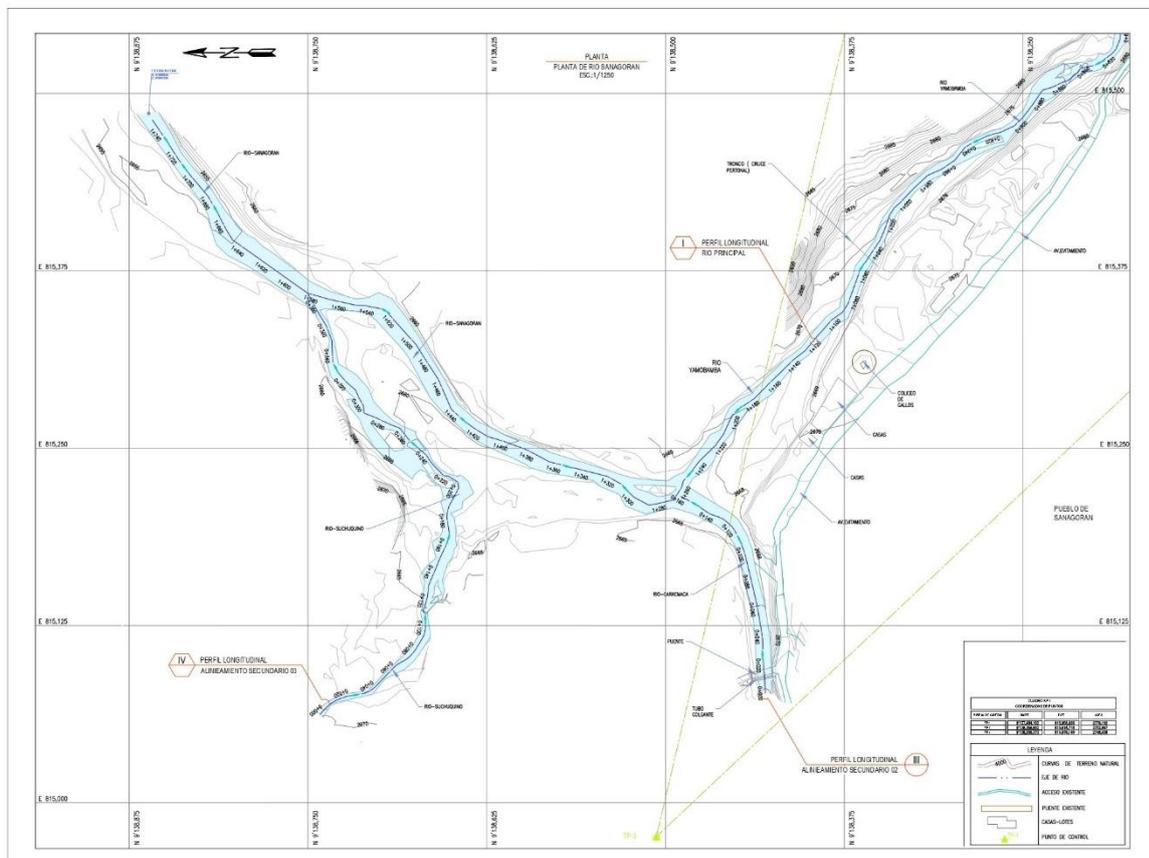
PUNTOS GPS MONUMENTADOS – COORDENADAS WGS-84			
Punto geodésico	Norte	Este	Elevación (m)
TP-1	9'137,484.102	815,945.628	2,779.102
TP-2	9'138,356.852	815,618.718	2,752.867
TP-3	9'138,506.373	814,976.149	2,748.638

*Nota.* Procesamiento en Google Earth Engine y ArcGIS

El trabajo de gabinete residió en la exportación de la data de los equipos topográficos del GPS diferencial y de la estación total a un computador para el posterior procesamiento de los datos, para finalmente ser leídos por el software adecuado (AutoCAD Civil 3D). Exportando planos en Vista en Planta y el perfil longitudinal del río y secciones transversales.

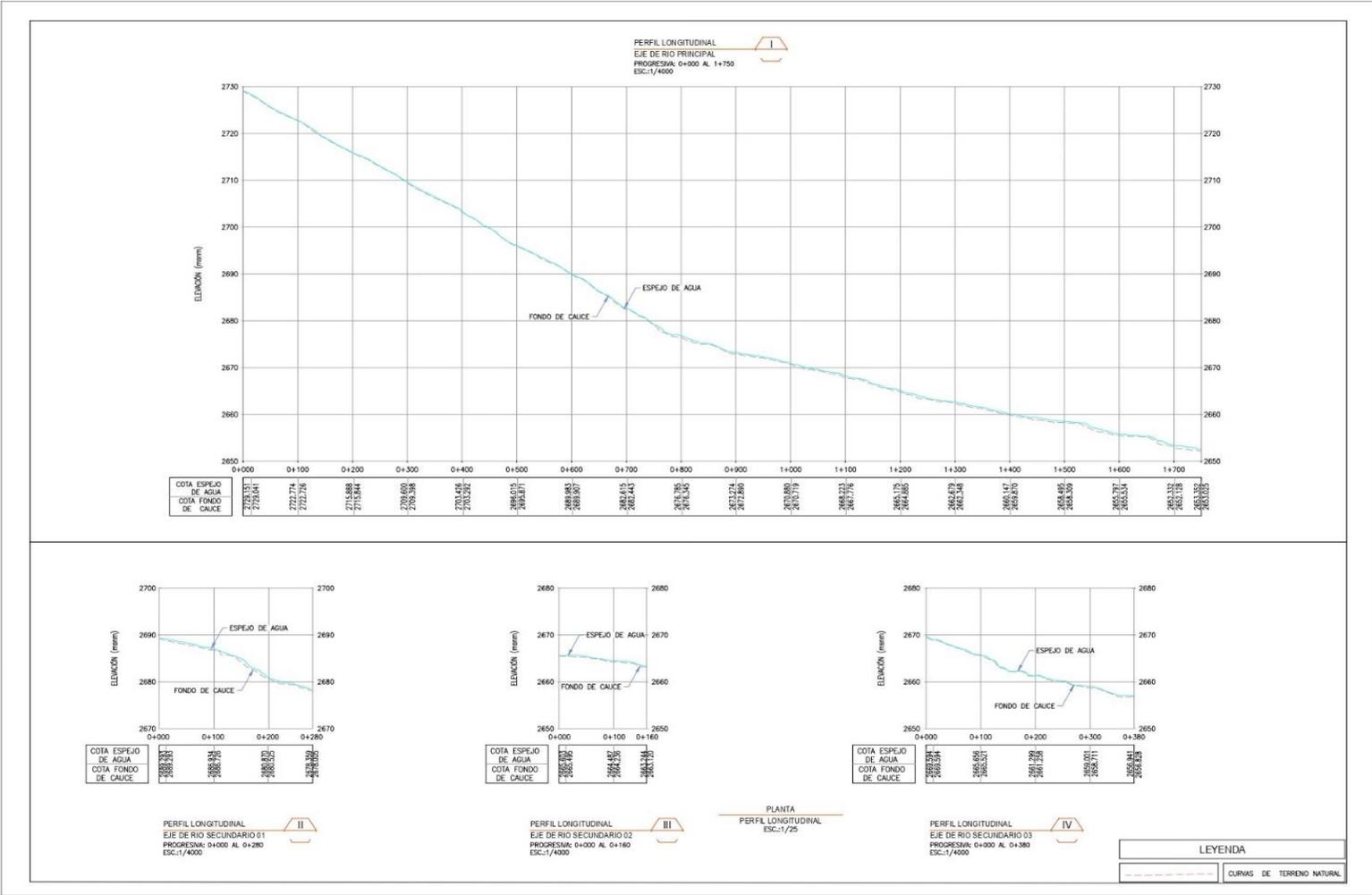
**Figura 3**

Vista en planta



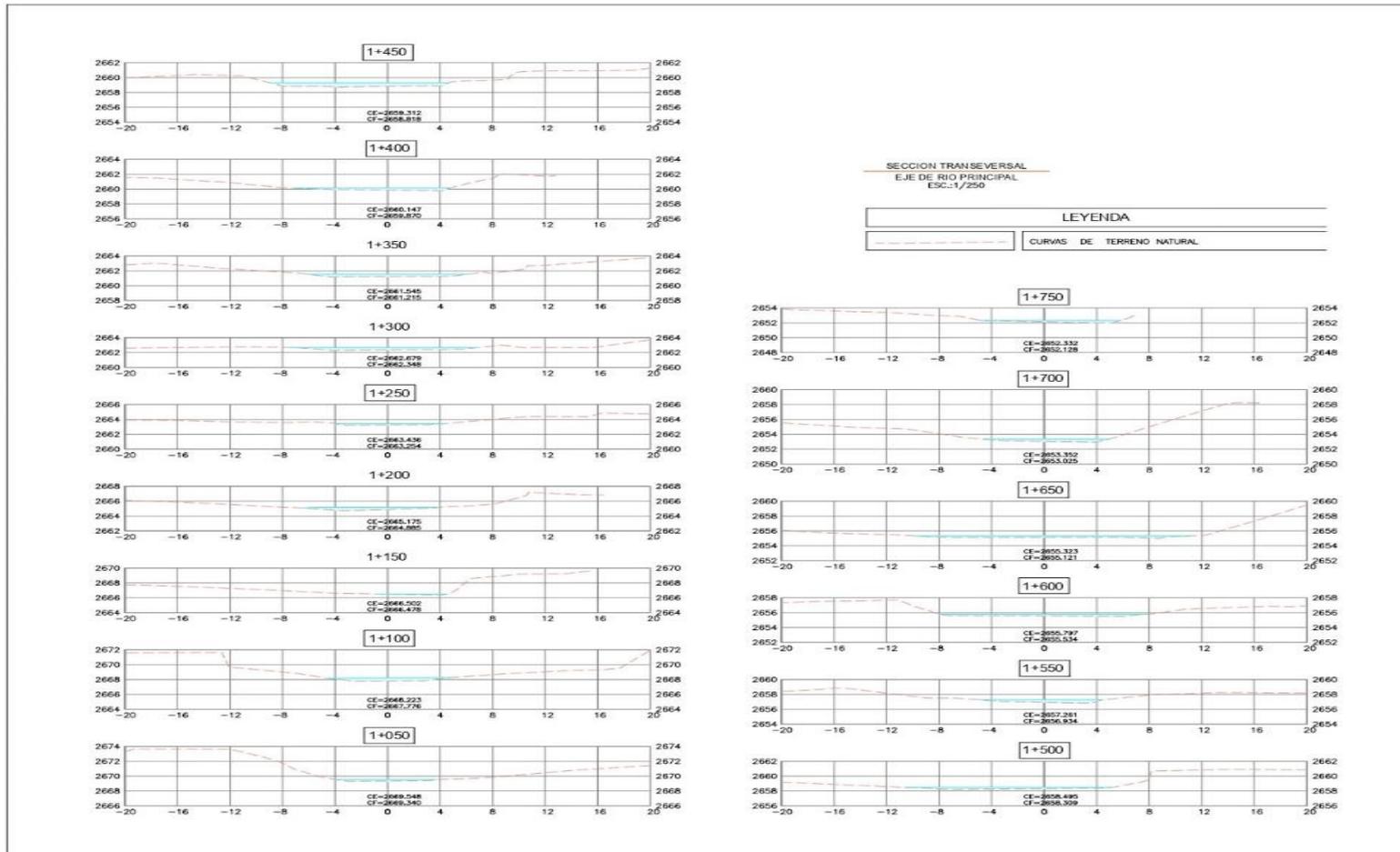
*Nota.* Elaboración en CAD.

**Figura 4**  
*Perfil longitudinal del río*



Nota. Elaboración en CAD.

**Figura 5**  
**Secciones transversales**



Nota. Elaboración en CAD.

## 4.2. Estudio de avenidas máximas

El análisis de régimen de precipitaciones máximas en 24 horas o análisis de frecuencia resulta muy importante para la estimación de las máximas avenidas en las cuencas de aporte y es una alternativa viable al no contar con información hidrométrica de los ríos. A partir de este análisis es posible inferir caudales máximos para obtener los niveles de agua en máximas avenidas y proponer la disposición de defensas ribereñas. Se cuenta con información de 2 estaciones meteorológicas cercanas a la zona, operadas por el SENAMHI, ambas estaciones están activas y cuentan con registros de información mayor a 40 años. En la *Tabla 10*, se presentan las estaciones consideradas con el fin de realizar el análisis de frecuencia.

**Tabla 9**

*Estaciones meteorológicas de estudio*

ESTACIÓN	TIPO DE ESTACIÓN	OPERADOR	ALTITUD (MSNM)	COORDENADAS WGS 84	
				ESTE	NORTE
Huamachuco	MET	SENAMHI	3,290	825,268	9,133,324
Huangacocha	MET	SENAMHI	3,780	823,253	9,121,500

*Nota.* Se describe las estaciones meteorológicas para el cálculo del caudal instantáneo.

La evaluación de precipitaciones máximas se realizó en base a la información proporcionada por el cliente, haciendo uso de las estaciones meteorológicas Huamachuco y Huangacocha. En la *Tabla 11*, se presentan los registros de precipitaciones máximas diarias.

Para el análisis de frecuencia se optó por usar los registros de la estación Huamachuco debido a que esta tiene un mayor periodo de registro y es la más cercana a la zona de interés. Se utilizaron las pruebas de bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov para comparar la correlación entre la serie de datos y varias distribuciones estadísticas y de esta manera determinar la distribución con el mejor ajuste

**Tabla 10***Registros de precipitaciones máximas de 24 horas*

Año	Huamachuco	Huangacocha	Año	Huamachuco	Huangacocha
1964 -1965	42.9	-	1989 -1990	35.8	32.4
1965 -1966	25.2	-	1990 -1991	-	23.4
1966 -1967	28.5	-	1991 -1992	-	26.4
1967 -1968	40.0	-	1992 -1993	26.3	21.6
1968 -1969	33.5	-	1993 -1994	52.2	47.0
1969 -1970	49.3	-	1994 -1995	39.2	25.5
1970 -1971	30.2	-	1995 -1996	34.7	26.0
1971 -1972	36.0	-	1996 -1997	30.8	20.4
1972 -1973	27.4	38.0	1997 -1998	35.7	35.3
1973 -1974	48.0	32.0	1998 -1999	49.4	57.6
1974 -1975	39.5	26.0	1999 -2000	34.1	35.0
1975 -1976	25.3	16.2	2000 -2001	29.6	28.2
1976 -1977	40.0	24.4	2001 -2002	34.0	34.8
1977 -1978	30.0	21.3	2002 -2003	31.2	39.6
1978 -1979	39.9	23.5	2003 -2004	24.8	32.3
1979 -1980	46.0	23.5	2004 -2005	43.3	27.7
1980 -1981	-	43.5	2005 -2006	51.1	26.6
1981 -1982	41.4	29.1	2006 -2007	25.2	29.8
1982 -1983	49.1	36.7	2007 -2008	38.9	30.9
1983 -1984	35.2	41.4	2008 -2009	31.5	27.6
1984 -1985	36.5	40.3	2009 -2010	47.3	37.6
1985 -1986	-	30.5	2010 -2011	32.5	34.8
1986 -1987	35.2	39.7	2011 -2012	40.6	39.5
1987 -1988	37.5	45.1	2012 -2013	51.3	45.3
1988 -1989	36.2	33.7	2013 -2014	53.8	49.3

*Nota.* Se describe los registros de máximas lluvias de 24 horas desde 1964 hasta 2014.

. Se hace uso de las distribuciones Normal Estándar, Log Normal 2 Parámetros, Log Normal 3 Parámetros, Gumbel y Log Gumbel. En la *Tabla 12* se presentan los resultados de las pruebas de bondad de ajuste considerando intervalos de confianza de 95%.

**Tabla 11***Prueba bondad de ajuste de las distribuciones probabilísticas*

DISTRIBUCIÓN	DELTA TEÓRICO	DELTA TABULAR	AJUSTE	COMPATIBILIDAD
Normal Estándar	0.075	0.192	Si	
Log Normal 2 P	0.067	0.192	Si	
Log Normal 3 P	0.059	0.192	Si	Mejor Ajuste
Pearson Tipo III	0.073	0.192	Si	
Gumbel	0.089	0.192	Si	
Log Gumbel	0.135	0.192	Si	

*Nota.* Se describe los registros de máximas lluvias de 24 horas desde 1964 hasta 2014.

Se seleccionó la distribución Log Normal 3 Parámetros por ser la más representativa de la serie de datos. Las precipitaciones máximas asignadas a la zona del proyecto para diferentes periodos de retorno son las siguientes:

**Tabla 12***P24 horas de Log normal 3p*

Periodo de retorno (años)	Pm24hrs (mm)
10	48.80
25	54.10
50	57.90
100	61.50
200	64.90
500	69.40

*Nota.* Se describe los registros de máximas lluvias de 24 horas para cada TR.

Los resultados presentados en la *Tabla 13* serán utilizados para el cálculo de caudales máximos instantáneos. Se considera un periodo de retorno igual a 500 años para el cálculo de la socavación general en el cauce del río según recomendaciones del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), los niveles máximos de agua serán calculados considerando un periodo de retorno igual a 100 años.

Se muestran a continuación el resumen de los resultados obtenidos mediante la aplicación de los métodos Hidrograma Unitario del S.C.S y DIPEO de Electrificación Rural. Los resultados de los métodos se presentan en la *tabla 14* y en la *tabla 15* se presenta el promedio aritmético de las estimaciones por los dos métodos.

**Tabla 13**  
*Caudales máximos con diferentes métodos*

Cuenca	Método	Caudales máximos (M <sup>3</sup> /S)		
		100	200	500
Yamobamba	H.U. Triangular	101.86	112.98	127.10
	DIPEO	112.48	117.04	122.33
Tambo	H.U. Triangular	14.42	16.16	18.38
	DIPEO	31.46	32.74	34.22
Caracmaca	H.U. Triangular	118.63	132.00	149.02
	DIPEO	148.79	154.82	161.82

*Nota.* Se describe los caudales máximos para diversas ecuaciones

Hay una significativa diferencia entre lo que arroja uno u otro método, eso se puede visualizar en la siguiente tabla.

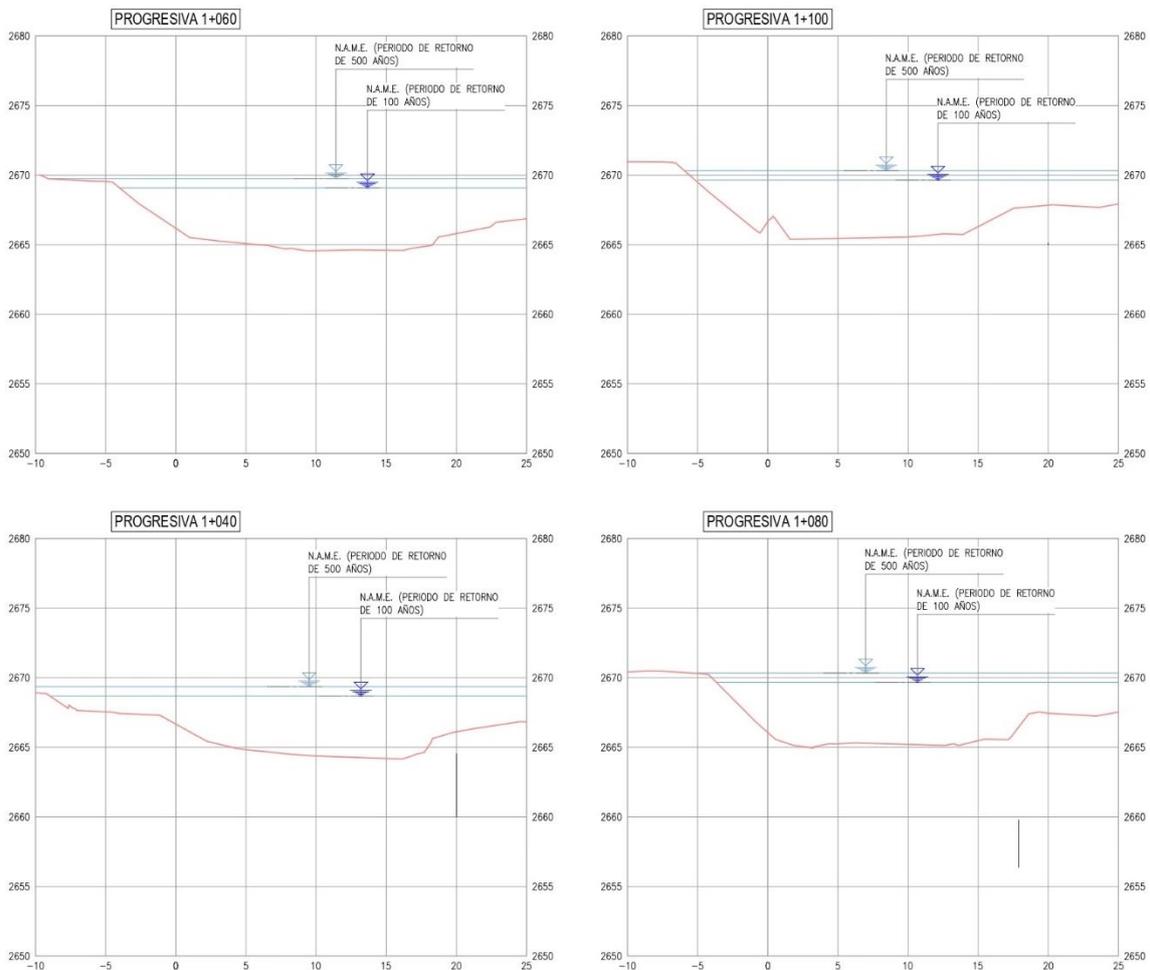
**Tabla 14**  
*Promedio instantáneo de caudales máximos*

Cuenca/ Periodo de retorno	Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)		
	100	200	500
Yamobamba	107.17	115.01	124.72
Tambo	22.94	24.45	26.30
Caracmaca	133.71	143.41	155.42

*Nota.* Se describe el promedio aritmético caudales máximos.

Teniendo los respectivos resultados en las secciones transversales de la topografía, teniendo diferentes niveles de agua. Y visualizando posibles desbordes en las riberas.

**Figura 6**  
*Escenarios sin estructuras*



Nota. Elaboración en CAD.

Donde se puede visualizar, posibles desbordamientos en las riberas y por ello se procede a dimensionar las estructuras de protección, y escoger a la cual tiene mejor comportamiento hidráulico y resistencia ante máximas avenidas en el Río Yamobamba que cruza por el Centro Poblado Sanagoran.

#### 4.3. Movimiento insipiente para verificar el potencial erosivo del río.

Para determinar el movimiento insipiente que nos ayuda a verificar si existe un potencial erosivo del río, mediante el modelo de Shields. Considerando que el estudio de suelos, se obtuvo por los informes y expedientes, de la municipalidad distrital.

- Cálculo del esfuerzo cortante

$$\text{Peso específico } (\delta) = 1000 \text{ Kg} - \text{f/m}^3$$

$$\text{Profundidad media (h)} = 3.00 \text{ metros}$$

$$\text{Pendiente del cauce (S)} = 0.05$$

Donde se tiene la siguiente ecuación:

$$\tau = \delta * h * S$$

$$\tau = 0.15 \text{ Kg} - \text{f/m}^2$$

- Cálculo de la velocidad de corte (U)

$$\text{Esfuerzo cortante } (\tau) = 0.15 \text{ Kg} - \text{f/m}^2$$

$$\text{Densidad } (\rho) = 102.04$$

$$U^* = \left(\frac{\tau}{\rho}\right)^{1/2} = 0.04 \text{ m/s}$$

- Cálculo del número de Reynolds (Re)

$$\text{Velocidad de corte } (U^*) = 0.04 \text{ m/s}$$

$$\text{Diametro de la curva granulométrica } (d_{50}) = 18\text{mm}$$

$$\text{Velocidad cinemática } (\nu) = 0.8 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = U * \frac{d}{\nu} = 9000 \text{ (Turbulento al ser mayor a 4000)}$$

- Determinación del esfuerzo cortante adimensional

$$\text{Peso específico } (\delta) = 1000 \text{ Kg} - \text{f/m}^3$$

$$\text{Peso específico de la partícula } (\delta_s) = 2410 \text{ Kg} - \text{f/m}^3$$

$$\text{Diametro de la curva granulométrica } (d) = 18\text{mm}$$

$$\text{Esfuerzo cortante } (\tau) = 0.15 \text{ Kg} - \text{f/m}^2$$

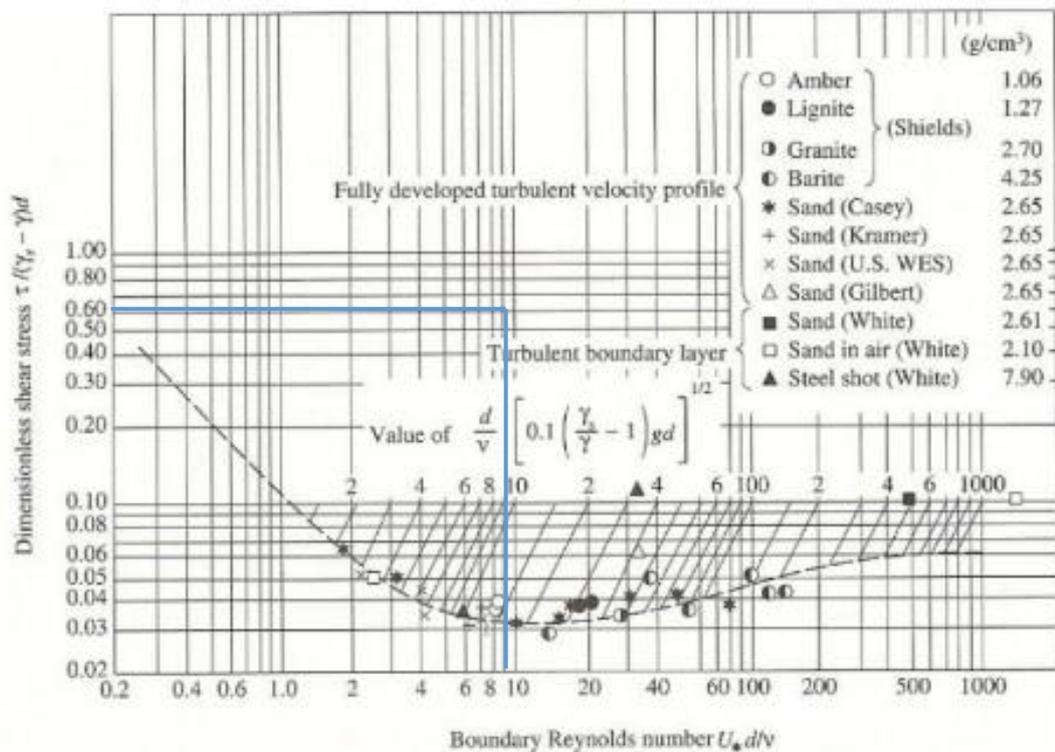
$$\tau_s = \frac{\tau}{(\delta_s - \delta) * d} = 0.59$$

- Diagrama de Shields

En el eje de las abscisas se traza verticalmente para un número de Reynolds de 9 K (donde refleja un movimiento turbulento) y para el eje de las ordenadas se traza horizontalmente para un esfuerzo cortante adimensional de 0.59. Donde la intersección, se encuentra por encima de la curva, dando consigo que tiene una velocidad con un perfil turbulento y además existe movimiento erosivo en el cauce del río de estudio.

**Figura 7**

Trazo de intersección del Modelo de Shields.



Nota. Extraída de (Echevarria, 2014)

#### 4.4. Dimensionamiento de gavión

##### 4.4.1. Parámetros de entrada

Se considera a los parámetros del estudio hidrológico desarrollado para un periodo de retorno de 100 años. Donde las mediciones se obtuvieron de informes de la Municipalidad Distrital en sus expedientes técnicos (**Anexo 18**).

**Tabla 15**

*Parámetros de entrada para el dimensionamiento de gaviones*

Rio	Tramo	Velocidad máxima (m/s)	Tirante normal (m)	Tirante TR: 100 años (m)
<b>Rio Yamobamba</b>	<b>Yamobamba</b>	<b>4.78</b>	<b>3.11</b>	<b>6.95</b>
Rio Principal	Principal US	2.91	1.44	4.32
Rio Principal	Principal	4.74	3.32	6.98
Rio Principal	Principal DS	3.83	3.14	6.97
Rio Caracmaca	Caracmaca	5.1	3.36	6.92

*Nota.* Se describe los parámetros de entradas que se usara para el dimensionamiento

##### 4.4.2. Altura de gavión

La altura del gavión se calcula por la siguiente ecuación matemática.

$$H = y + BL$$

$$BL = \Phi \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

**Tabla 16**

*Alturas para gaviones*

Rio	Tramo	Borde Libre	Altura (m)	Altura a utilizar
<b>Rio Yamobamba</b>	<b>Yamobamba</b>	<b>5.30</b>	<b>8.41</b>	<b>8.50</b>
Rio Principal	Principal US	1.96	3.40	3.50
Rio Principal	Principal	5.21	8.53	9.00
Rio Principal	Principal DS	3.40	6.54	7.00
Rio Caracmaca	Caracmaca	6.03	9.39	9.50

*Nota.* Se describe las alturas propuestas de gavión para diversos tramos de estudio

#### 4.4.3. Ancho mínimo de la base del gavión

El ancho mínimo de la base del gavión se calcula por la siguiente ecuación matemática.

$$B > \frac{H}{2}$$

**Tabla 17**

*Ancho mínimo del ancho para gaviones*

Rio	Tramo	Altura a utilizar (m)	Base (m)
Rio Yamobamba	Yamobamba	8.50	4.25
Rio Principal	Principal US	3.50	1.75
Rio Principal	Principal	9.00	4.50
Rio Principal	Principal DS	7.00	3.50
Rio Caracmaca	Caracmaca	9.50	4.75

*Nota. Se describe las alturas propuestas de gavión para diversos tramos de estudio*

#### 4.4.4. Longitud del colchón de socavación

La longitud depende directamente por la socavación y como se usará un tipo colchón, se utiliza la siguiente expresión.

$$L > 1.5 \text{ a } 2.0 e$$

Donde “e” es la profundidad de la socavación. Y al reemplazar se puede obtener el rango de longitudes para el dimensionamiento.

**Tabla 18**

*Longitud del colchón de socavación*

Rio	Tramo	Socavación	Longitud mínima	Longitud máxima	Longitud a usarse
Rio Yamobamba	Yamobamba	4.00	60	8.00	6.00
Rio Principal	Principal US	1.50	2.25	3.00	2.50
Rio Principal	Principal	3.50	5.25	7.00	5.50
Rio Principal	Principal DS	3.00	4.50	6.00	4.50
Rio Caracmaca	Caracmaca	3.50	5.25	7.00	5.50

*Nota. Se describe las longitudes del colchón para diversos tramos de estudio*

#### 4.4.5. **Espesor del colchón antisocavante**

De los resultados de velocidad obtenidos, se observa que las velocidades del flujo tienen como máximo un valor de 5.10 m/s, y se concluye que el valor del espesor del colchón es:  $S = 0.3$  metros o 30 centímetros

#### 4.4.6. **Resultados del dimensionamiento**

Y se tiene la siguiente isometría del gavión que se utilizara, en la *figura 2*. Además de las dimensiones para cada tramo de estudio.

**Tabla 19**

*Resultados del dimensionamiento del gavión*

RIO	Tramo	Altura a utilizar	Ancho	Longitud de colchón de socavación	Espesor de colchón de socavación
<b>Rio Yamobamba</b>	<b>Yamobamba</b>	<b>8.50</b>	<b>4.25</b>	<b>6.00</b>	<b>0.30</b>
Rio Principal	Principal US	3.50	1.75	2.50	0.30
Rio Principal	Principal	9.00	4.50	5.50	0.30
Rio Principal	Principal DS	7.00	3.50	4.50	0.30
Rio Caracmaca	Caracmaca	9.50	4.75	5.5	0.30

*Nota. Se describe las longitudes del colcho para diversos tramos de estudio*

#### 4.5. **Dimensionamiento de enrocado**

##### 4.5.1. **Parámetros de entrada**

Se considera a los parámetros obtenidos de estudios técnicos que han desarrollada la Municipalidad Distrital y el estudio hidrológico desarrollado para un periodo de retorno de 100 años. Y Con ello poder empezar en el diseño

**Tabla 20**

*Parámetros de entrada para el dimensionamiento de enrocado*

Rio	Tramo	Velocidad máxima (m/s)	Tirante (m)
<b>Rio Yamobamba</b>	<b>Yamobamba</b>	<b>4.78</b>	<b>3.11</b>
Rio Principal	Principal US	2.91	1.44
Rio Principal	Principal	4.74	3.32
Rio Principal	Principal DS	3.83	3.14
Rio Caracmaca	Caracmaca	5.1	3.36

#### 4.5.2. Taludes recomendados

**Tabla 21**

*Taludes recomendados para el dimensionamiento*

Enrocado de protección	H:V	°	Símbolo
Angulo del talud	2:1	26.57	$\theta$
Angulo de reposo del material	1.2:1	40.00	$\phi$

*Nota.* Se describe los parámetros de entradas que se usara para el dimensionamiento

#### 4.5.3. Método de California Division of Highways

Se basa en la ecuación mencionada en el ítem (2.2.4.2).

$$\frac{u}{\sqrt{g.R.D}} = 1.92. [\text{sen}(\phi - \theta)]^{\frac{1}{2}}$$

**Tabla 22**

Diámetros por la ecuación California Division of Highways

TRAMO	LHS	RHS	DIFF	D (m)
Yamobamba	1.41	1.41	0.00	0.71
Principal US	1.49	1.49	0.00	0.24
Principal	1.44	1.44	0.00	0.67
Principal DS	1.58	1.58	0.00	0.36
Caracmaca	1.39	1.39	0.00	0.83

*Nota.* Se describe los diámetros que se usara para el dimensionamiento.

#### 4.5.4. Método de Lopardo – Estelle

Se basa en la ecuación mencionada en el ítem (2.2.4.3).

$$\frac{u}{\sqrt{g.R.D}} = 1.3. \left(\frac{H}{D}\right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(1 - \left(\frac{\text{sen}\theta}{\text{sen}\phi}\right) 2\right)^{\frac{1}{4}}$$

**Tabla 23***Diámetros por la ecuación Lopardo – Estelle*

TRAMO	LHS	RHS	DIFF	D (m)
Yamobamba	0.93	0.93	0.00	1.65
Principal US	0.93	0.93	0.00	0.61
Principal	0.93	0.93	0.00	1.62
Principal DS	0.93	0.93	0.00	1.06
Caracmaca	0.93	0.93	0.00	1.88

*Nota.* Se describe los diámetros que se usara para el dimensionamiento.

#### 4.5.5. Método de Maynord

Se basa en la ecuación mencionada en el ítem (2.2.4.4).

$$d_{50} = C_1 \cdot (y \cdot F^3)$$

$$F = C_2 \left( \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} \right)$$

**Tabla 24***Diámetro por la ecuación de Maynord*

TRAMO	F	D <sub>50</sub> (m)
Yamobamba	1.08	1.26
Principal US	0.97	0.42
Principal	1.04	1.19
Principal DS	0.86	0.64
Caracmaca	1.11	1.47

*Nota.* Se describe los diámetros que se usara para el dimensionamiento.

#### 4.5.6. Método modificado de Isbash

Se basa en la ecuación mencionada en el ítem (2.2.4.5).

$$W = \frac{0.0232 \cdot G_p \cdot V^6}{(G_p - 1)^3 \cdot \cos^3 \phi}, W = 0.85 \cdot (\gamma_s \cdot d^3)$$

**Tabla 25***Diámetro por la ecuación de Isbash*

TRAMO	W (KG)	D <sub>50</sub> (m)
Yamobamba	363.15	0.56
Principal US	18.49	0.21
Principal	345.29	0.55
Principal DS	96.10	0.36
Caracmaca	535.72	0.64

*Nota.* Se describe los diámetros que se usara para el dimensionamiento.

#### 4.5.7. Método del Bureau of Reclamation

Se basa en la ecuación mencionada en el ítem (2.2.4.6).

$$d_{100} = \frac{0.0668 \cdot V^2}{G_p - 1}, d_{50} = 0.76 \cdot d_{100}$$

**Tabla 26***Diámetro por la ecuación de Bureau of Reclamation*

TRAMO	D <sub>100</sub> (m)	D <sub>50</sub> (m)
Yamobamba	0.93	0.70
Principal US	0.34	0.26
Principal	0.91	0.69
Principal DS	0.59	0.45
Caracmaca	1.05	0.80

*Nota.* Se describe los diámetros que se usara para el dimensionamiento.

#### 4.5.8. Método de la División de Carreteras de California

Se basa en la ecuación mencionada en el ítem (2.2.4.7).

$$W = \frac{0.0113 \cdot G_p \cdot V^6}{(G_p - 1)^3 \cdot \text{sen}^3(70 - \phi)}, W = 0.85 \cdot (\gamma_s \cdot d^3)$$

**Tabla 27***Diámetro por la ecuación de División de Carreteras de California*

TRAMO	W (kg)	D <sub>50</sub> (m)
Yamobamba	636.11	0.68
Principal US	4.88	0.13
Principal	91.11	0.35
Principal DS	25.36	0.23
Caracmaca	141.36	0.41

#### 4.5.9. Método de Maynard, Ruff y Abt

Se basa en la ecuación mencionada en el ítem (2.2.4.8).

$$d_{30} = 0.3 \cdot h \cdot FS \cdot \left[ \left[ \frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right]^{0.5} \cdot \frac{V_t}{\sqrt{g \cdot h}} \right]^{2.5}, d_{50} = \frac{d_{30}}{0.70}$$

**Tabla 28**

*Diámetro por la ecuación de Maynard, Ruff y Abt*

TRAMO	D30 (m)	D50 (m)
Yamobamba	0.51	0.73
Principal US	0.18	0.26
Principal	0.49	0.70
Principal DS	0.29	0.42
Caracmaca	0.59	0.84

*Nota.* Se describe los diámetros que se usara para el dimensionamiento.

**4.5.10. Resumen de resultados para el diámetro medio de los elementos de enrocado**

**Tabla 29**

*Resumen de resultados de diámetro medio*

Método/ Tramo	California Division of Highways	Lopardo Estellé	Maynord	U.S. Department of Transportation	Isbash	Bureau of Reclamation	División de Carreteras de California	Maynord, Ruff y Abt	Promedio
Yamobamba	1.65	0.71	1.26	0.80	0.56	0.70	0.68	0.73	0.90
Principal US	0.61	0.24	0.42	0.27	0.21	0.26	0.13	0.26	0.30
Principal	1.62	0.67	1.19	0.76	0.55	0.69	0.35	0.70	0.82
Principal DS	1.06	0.36	0.64	0.41	0.36	0.45	0.23	0.42	0.49
Caracmaca	1.88	0.83	1.47	0.94	0.64	0.80	0.41	0.84	0.98
Tramo	Diámetro medio (m)								
<b>Yamobamba</b>	<b>0.90</b>								
Principal US	0.30								
Principal	0.80								
Principal DS	0.50								
Caracmaca	1.00								

*Nota.* Se describe los diámetros promedio, que se usara para el dimensionamiento.

#### 4.5.11. Límites de gradación de las piedras del revestimiento

Se procede a calcular la gradación de los enrocados en función al criterio recomendado por el AASHTO en sus especificaciones técnicas para terraplenes. El objetivo de esta gradación es de obtener una buena adherencia entre los elementos colocados.

**Tabla 30**  
*Porcentajes de gradación*

Rango del tamaño de piedras	Rango de peso de piedras	% Gradación más pequeña que
1.5 D <sub>50</sub> a 1.7 D <sub>50</sub>	3.0 W <sub>50</sub> a 5.0 W <sub>50</sub>	100
1.2 D <sub>50</sub> a 1.4 D <sub>50</sub>	2.0 W <sub>50</sub> a 2.75 W <sub>50</sub>	85
1.0 D <sub>50</sub> a 1.5 D <sub>50</sub>	1.0 W <sub>50</sub> a 1.5 W <sub>50</sub>	50
0.4 D <sub>50</sub> a 0.6 D <sub>50</sub>	0.1 W <sub>50</sub> a 0.2 W <sub>50</sub>	15

*Nota. Se describe los porcentajes de gradación según el tamaño y peso de las piedras.*

**Tabla 31**  
*Resumen de resultados para la gradación de los enrocados*

Porcentaje de gradación más pequeña que	Rango del tamaño de piedras (m)				
	Yamobamba	Principal US	Principal	Principal DS	Caracmaca
100	1.35	0.45	1.20	0.75	1.50
85	1.08	0.36	0.96	0.60	1.20
50	0.90	0.30	0.80	0.50	1.00
15	0.36	0.12	0.32	0.20	0.40

*Nota. Se describe los resultados de gradación de los enrocados.*

#### 4.5.12. *Altura de enrocados*

Se considera un borde libre igual al 130% del tirante máximo por tramo, se suma la socavación general para llegar a la altura propuesta para la defensa ribereña.

**Tabla 32**

*Alturas para enrocados*

Tramo	Tirante máximo (m)	Borde Libre (m)	Socavación con FS (m)	Altura Calculada (m)	Altura Propuesta (m)
<b>Yamobamba</b>	<b>4.23</b>	<b>5.50</b>	<b>4.00</b>	<b>9.50</b>	<b>9.50</b>
Principal US	1.66	2.16	1.50	3.66	4.00
Principal	3.51	4.56	3.50	8.06	8.00
Principal DS	3.14	4.08	3.00	7.08	7.00
Caracmaca	4.53	5.89	3.50	9.39	9.50

*Nota. Se describe las alturas propuestas para el enrocado.*

#### 4.5.13. *Diseño de filtro*

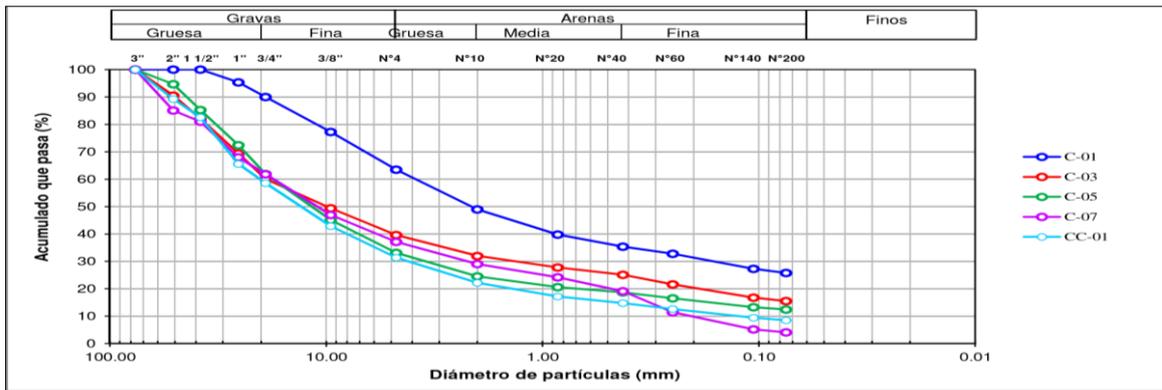
Un filtro debe cumplir las siguientes especificaciones:

a) En primera instancia, se deberá cumplir el paso del agua que se encuentra captada en sus poros y, b) evitar que las partículas finas, lleguen hacer arrastradas por la fuerza del flujo de agua y comiencen a colarse a través de sus poros. Es por ello que los criterios convencionales con fines de diseños filtros se basan principalmente en la curva granulométrica del material base, y a con ella poder diseñar el filtro que llegue a cumplir con las características específicas.

El material base para nuestro diseño lo obtuvimos a partir de varias gráficas de granulometría de calicatas ejecutadas en la zona proyectada de defensa ribereña (Figura 8), teniendo como resultado una curva envolvente (Figura 9). En la figura 5 observamos la curva granulométrica del material base, cumpliendo con la especificación de que cuando el material por proteger contenga una cantidad apreciable de grava, se considerará como material base el que tenga menor diámetro que la malla N°4

**Figura 8**

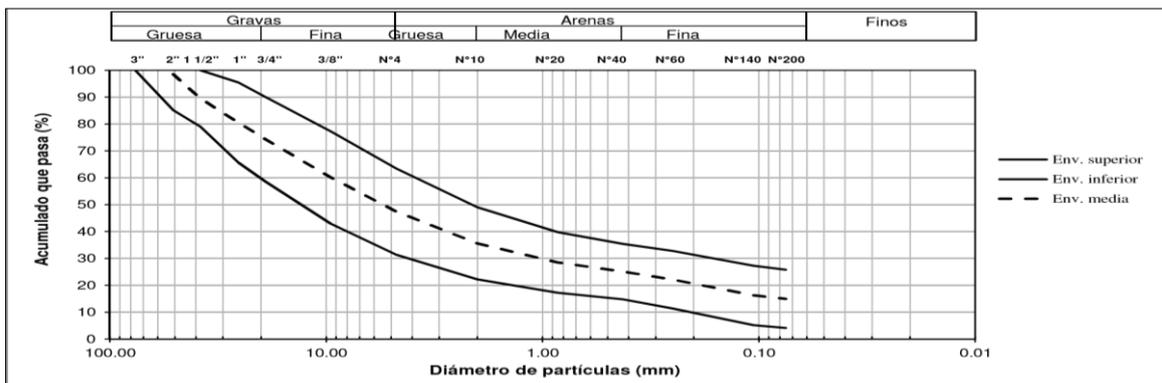
*Curva granulométrica de calicatas*



*Nota. Se detalla la curva granulométrica de las diferentes muestras.*

**Figura 9**

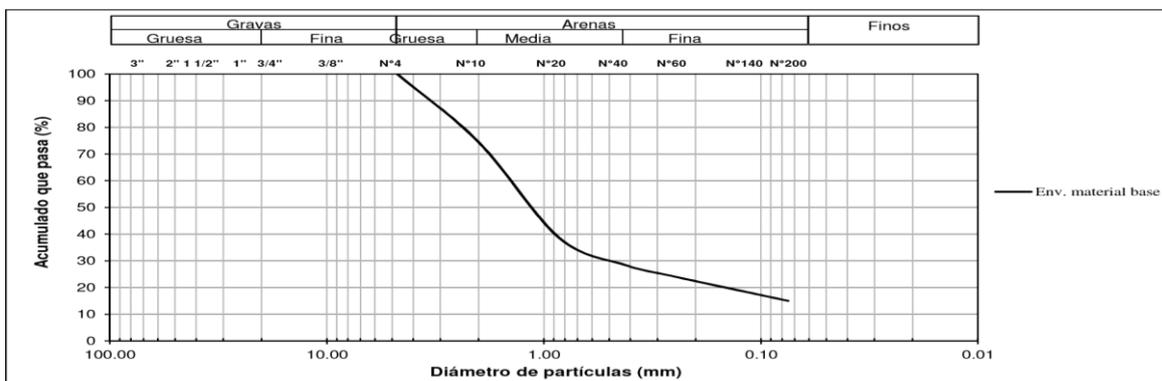
*Curva granulométrica para envolvente de falla*



*Nota. Se detalla la curva granulométrica con sus 3 envolventes.*

**Figura 10**

*Curva granulométrica del material base*



*Nota. Se detalla la curva granulométrica con sus tres envolventes.*

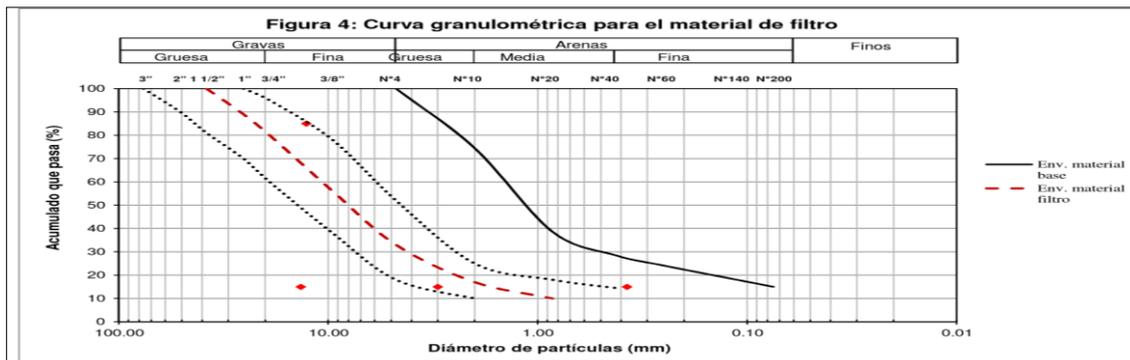
Seguendo las indicaciones realizadas de Terzaghi y Bertram, el filtro debe cumplir con las siguientes especificaciones.

- $\frac{d_{15}(\text{Filtro})}{d_{85}(\text{Mat.Base})} < 5 \leftrightarrow d_{15}(\text{Filtro}) = 5 d_{85}(\text{Mat.base}) \rightarrow d_{15}(\text{Filtro}) = 13.5\text{mm}$
- $\frac{d_{15}(\text{Filtro})}{d_{15}(\text{Mat.Base})} < 5 \leftrightarrow d_{15}(\text{Filtro}) = 5 d_{15}(\text{Mat.base}) \rightarrow d_{15}(\text{Filtro}) = 0.375 \text{ mm}$
- $\frac{d_{15}(\text{Filtro})}{d_{85}(\text{Mat.Base})} < 40 \leftrightarrow d_{15}(\text{Filtro}) = 40 d_{15}(\text{Mat.base}) \rightarrow d_{15}(\text{Filtro}) = 3.0\text{mm}$
- $\frac{d_{85}(\text{Filtro})}{\text{Abertura max drenaje}} < 2 \leftrightarrow d_{85}(\text{Filtro}) = 2 d_{85} \text{ Ab. máx dre.} \rightarrow d_{85}(\text{Filtro}) = 12.7\text{mm}$

En la Figura 11, aparece la curva granulométrica del filtro y sus puntos de frontera, así como las características que definen su curva (curva punteada roja).

**Figura 11**

*Curva granulométrica para material de filtro*



*Nota. Se detalla la curva granulométrica para el material del filtro.*

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, se sostiene lo siguiente:

La aproximación estadística que más se acomodó a la función repartición (prueba de bondad de ajustes de Kolmogorov Smirnov), es la Log Normal 3 Parámetros, para la información meteorológica del área de estudio. Pero en cambio (Perez, 2017) y (Aguilar, 2016), tuvo como a la distribución Gumbel. Dando consigo que cada distribución probabilística se puede adecuar en diferentes realidades hidrometereológicas que existen en las áreas de estudio.

Que la defensa ribereña tipo enrocado, cumple su función para mitigar los desbordamientos por inundaciones fluviales en la zona de estudio, y ello lo sostiene (Perez, 2017). Donde detalla que este tipo de estructura puede soportar una cantidad de material grueso y bolonería arrastrado por el río, caso contrario con los gaviones, que no soportaría el impacto de dichos diámetros (Moncada, 2019).

También se detalla que las alturas de los enrocados en el diseño, vienen ser superior a lo de los gaviones, y ello se visualiza en los resultados de los tesis (Moncada, 2019) y (Perez, 2017). Y es debido que las fórmulas que se trabaja para enrocado, dan mayor un factor de seguridad, debido que los gaviones son diseñados para ríos que no tienen una mayor socavación o diámetros superiores a los 305 mm.

Es por ello que en relación de los resultados que se encuentran descritos en los antecedentes y los resultados de la actual investigación, se concluye que el enrocado podría ser el diseño adecuado para el río Yamobamba. Sin dejar atrás a los gaviones que también su diseño es razonable, pero no se adecua a la problemática del área de estudio.

## VI. CONCLUSIONES

Como conclusión general se tiene que el enrocado es el mejor tipo de defensa ribereña, por tener un mejor comportamiento hidráulico y resistencia ante máximas avenidas en el Río Yamobamba que cruza por el Centro Poblado Sanagoran, muy contrario con los gaviones que no tiene resistencia ante los diámetros de la bolonería del cauce del río de estudio.

Mientras las conclusiones de los objetivos específicos, son los siguientes:

Se realizó el estudio topográfico de las zonas más desfavorables ante un desborde del mismo río Yamobamba, la cual abarca un área de aproximadamente de 22.71 Has, donde las progresivas 0+720 hasta la 1+080km llega a tener niveles de superiores a la superficie, la cual las progresivas nos ayudaron a identificar con exactitud el tramo más desfavorable que necesita a las estructuras, es por ello que se realizó planos en diversas vistas: como la vista en planta (**figura 3**), el perfil longitudinal (**figura 4**) y sus secciones transversales (**figura 5**), para tener mayor detalle de ella.

Se realizó un estudio de avenidas máximas para fines de diseño, teniendo: un caudal máximo con un valor de  $107.17 \text{ m}^3/\text{s}$ , la cual se obtuvo mediante el promedio aritmético, de los métodos del Hidrograma Unitario Triangular y DIPEO, donde se consideró para un periodo de 100 años. La cual la estación a trabajar fue la estación pluviométrica convencional llamado "Huamachuco", debido que tiene mayor extensión de información. Donde la distribución probabilística que más se ajusto es el Log Normal 3P, mediante la prueba bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov. Considerando que se registraron datos promedios de velocidades de  $4.78 \text{ m/s}$  y tirantes normales de 3.11 metros, la cual fue proporcionada por la municipalidad distrital.

Se estimó el movimiento insipiente de las partículas del cauce del río a estudiar, encontrándose que se encuentra superior a la curva de Shields, dando consigo que el flujo es turbulento y existe movimiento de la partícula encontrándose en una zona potencial erosiva.

Se realizó un estudio hidráulico para el dimensionamiento de gavión y el enrocado, para escoger la estructura efectiva para el área de estudio, donde el enrocado es el más factible, debido a que el río arrastra grandes bloques de bolonería y piedra donde se puede visualizar en las imágenes tomadas en campo (**anexo 1 y 2**). Donde la cantidad de material grueso y bolonería arrastrado por el río, hace que una solución mediante gaviones sea menos factible ya que su integridad estaría comprometida por el golpe del material de arrastre y podría provocar un colapso de la estructura.

Y su característica principal es tener un diámetro medio de 0.90 m o 900 mm, que se ha calculado bajo un promedio de 8 métodos de obtención de diámetro medio para enrocados como se visualiza en (**tabla 30**), la cual fueron los métodos de California, Lopardo, Maynord, Modificado de Isbash, Bureau of Reclamation, división de carreteras de California, Ruff y Abt. Además, que el enrocado tiene una altura y borde libre superior al del gavión (**tabla 34**), teniendo consigo una mayor confiabilidad en caso se dé un caudal superior al del diseño y no llegué a producirse desborde; como también el diseño del filtro que permite una apropiada distribución del peso reducir las presiones hidrostáticas del suelo.

**Tabla 33**  
*Cuadro comparativo*

PARÁMETRO	GAVIÓN	ENROCADO	COMENTARIOS
<b>Altura</b>	8.50 m	9.50 m	El enrocado tiene una mayor altura y borden libre, la cual tiene una mayor seguridad, si se tuviera un caudal superior al del diseño.
<b>Borde libre (30% del tirante)</b>	5.30 m	5.50 m	
<b>Resistencia</b>	100 a 300 mm (Bolivar, 2019)	900 mm	El enrocado trabaja con diámetros superiores al de la bolonería del río. Donde según la (MTC, 2013), estos tipos de fragmentos tienen una dimensión promedio de más de 355 mm. Por ello

---

			podría tener mayor resistencia de esta bolonera que trae consigo el río y evitar una mayor socavación.
<b>Reducción de presiones hidrostáticas</b>	-	Diseño de filtro	El diseño del filtro ha sido diseñado para permitir una apropiada distribución del peso del enrocado, y proveer un asentamiento <b>uniforme y reducir las presiones hidrostáticas</b> presentes en el suelo.

---

Nota. *Elaboración propia.*

## VII. RECOMENDACIONES

Es recomendable para la obtención de un caudal máximo para diferentes periodos de retorno, utilizar pruebas de bondad de ajuste para estudiar el ajuste de una distribución probabilística con la información que se tenga. Por ello es importante tener en consideración las ecuaciones que se encuentran descritas por las autoridades nacionales como del MTC, debido que ellos han optado en el desarrollo de un manual para que cualquier estructura sujeta al flujo de agua, llegue a diseñarse correctamente.

Es recomendable que los diseñadores de estas estructuras, tengan en conocimientos los criterios de diseño que se encuentran descritas en manuales nacionales como internacionales. Debido que estas instituciones han desarrollado experimentaciones para representar el eficiente comportamiento de esta estructura con el flujo de agua y poder dimensionar correctamente, para evitar el colapso y/o fenómenos que se dan en los cauces de los ríos.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, D. (2016). *Comparación técnica entre el uso de gaviones y geoceldas como estructuras de defensa ribereña*. Lima.
- Bolivar,R. (2019). *Gaviones*.
- Comision Nacional del Agua. (2011). *Manual para el control de inundaciones*. México.
- Echevarria, D. (2014). *Movimiento incipiente de los sedimentos del lecho en el Sector Aramaya del Río Orinoco, Esado de Bolivar. Venezuela*.
- MACCAFERRI. (2016). *Defensas Ribereñas y Obras Transversales*. Mexico.
- MTC. (2011). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima
- Moncada, D. (2019). *Propuesta del diseño de defensas ribereñas en el tramo Caya del río Gorgor en el Distrito Gorgor – Cajatambo – Lima*. Chimbote.
- Municipalidad Distrital de Sanagorán. (2021). *Diagnóstico Sanagorán*.
- Perez, N. (2017). *Diseño de defensa ribereña con enrocado, para mitigar inundaciones causadas por desbordes del Río Rímac*. Lima.
- Villon, M. (2004). *Hidrologia*. Costa Rica.

## IX. ANEXOS

### Anexo 1

#### Área de estudio 1



### Anexo 2

#### Área de estudio 2



### Anexo 3

*Tesista en área de estudio*



## Anexo 4

### Registro histórico de lluvias máximas

REGISTRO HISTÓRICO DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS ESTACION HUAMACHUCO				
Nº	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)
1	1988	12	36.5	1.5623
2	1989	16	35.2	1.5465
3	1990	11	37.5	1.5740
4	1991	13	36.2	1.5587
5	1992	14	35.8	1.5539
6	1993	25	26.3	1.4200
7	1994	2	52.2	1.7177
8	1995	9	39.2	1.5933
9	1996	17	34.7	1.5403
10	1997	23	30.8	1.4886
11	1998	15	35.7	1.5527
12	1999	5	49.4	1.6937
13	2000	18	34.1	1.5328
14	2001	24	29.6	1.4713
15	2002	19	34.0	1.5315
16	2003	22	31.2	1.4942
17	2004	27	24.8	1.3945
18	2005	7	43.3	1.6365
19	2006	4	51.1	1.7084
20	2007	26	25.2	1.4014
21	2008	10	38.9	1.5899
22	2009	21	31.5	1.4983
23	2010	6	47.3	1.6749
24	2011	20	32.5	1.5119
25	2012	8	40.6	1.6085
26	2013	3	51.3	1.7101
27	2014	1	53.8	1.7308
<b>Numero de datos n</b>			27	27
<b>Suma <math>\Sigma</math></b>			1018.7	42.2965
<b>Máximo</b>			53.8	1.7308
<b>Mínimo</b>			24.8	1.3945
<b>Promedio <math>\bar{x}</math></b>			37.7	1.5665
<b>Desviación estándar s</b>			8.3971	0.0954
<b>Coficiente asimetría Cs</b>			0.5204	0.1155
<b>Cs/6 k</b>			0.0867	0.0192

Mínimo valor histórico registrado

Máximo valor histórico registrado

## Anexo 5

### Prueba de datos dudosos

#### PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)

-  
 $n = 27$   
 $Kn = 2.639^*$   
*Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia: 10%)*

Umbral de datos dudosos **altos (xH: unid. logarítmicas)**

$$x_H = \bar{x} + Kn \cdot s \quad xH = 1.82$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10^{xH}$$

**PH = 65.8 mm**

Umbral de datos dudosos **bajos (xL: unid. logarítmicas)**

$$x_L = \bar{x} - Kn \cdot s$$

xL = 1.31

Precipitación mínima aceptada

$$PL = 10^{xL}$$

**PL = 20.6 mm**

**Nota:**

Se observa que todos los valores ' P24 ' están dentro de los límites PH y PL,

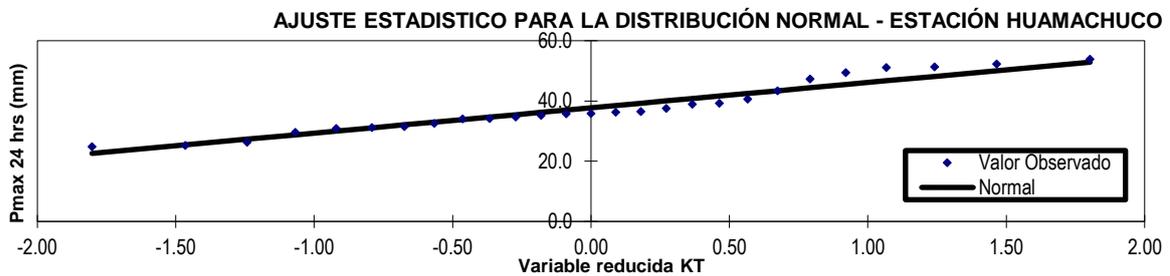
es decir, se encuentran entre 2723.9 y 22.8 mm.

**No existen datos dudosos.**

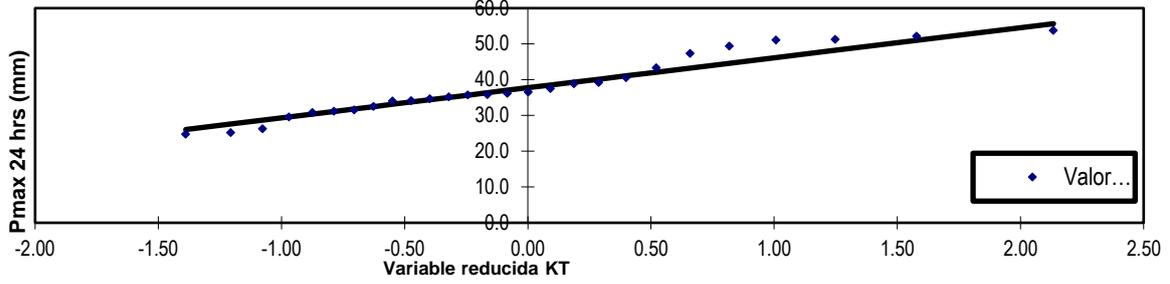
\* Referencia: Tabla 12.5.3 - Hidrología Aplicada, Ven Te Chow

## Anexo 6

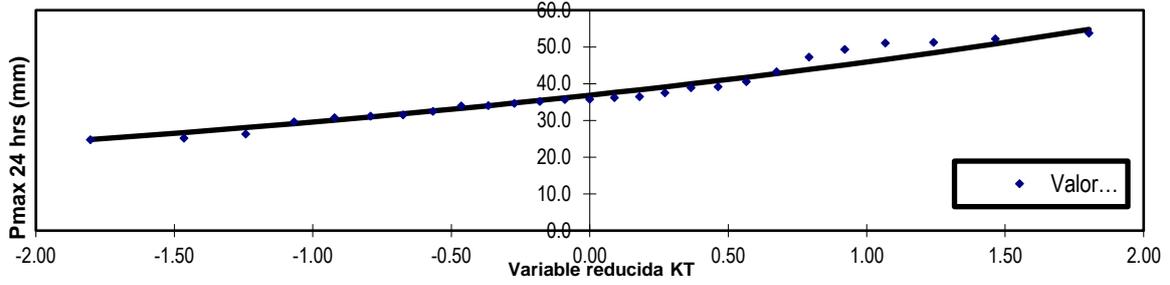
### Distribuciones probabilísticas



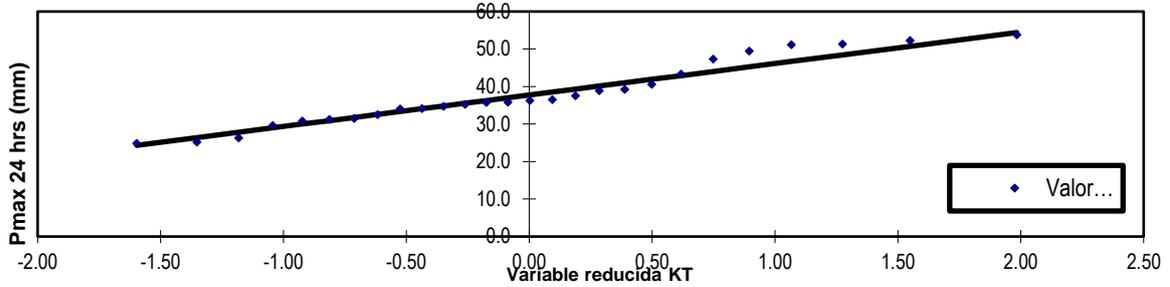
AJUSTE ESTADISTICO PARA LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL - ESTACIÓN HUAMACHUCO



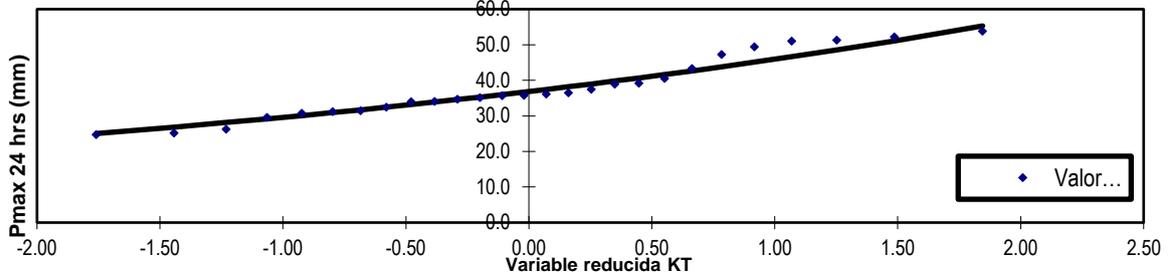
AJUSTE ESTADISTICO PARA LA DISTRIBUCIÓN LOG NORMA 3P - ESTACIÓN HUAMACHUCO



AJUSTE ESTADISTICO PARA LA DISTRIBUCIÓN PEARSON TIPO III - ESTACIÓN HUAMACHUCO



AJUSTE ESTADISTICO PARA LA DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL - ESTACIÓN HUAMACHUCO



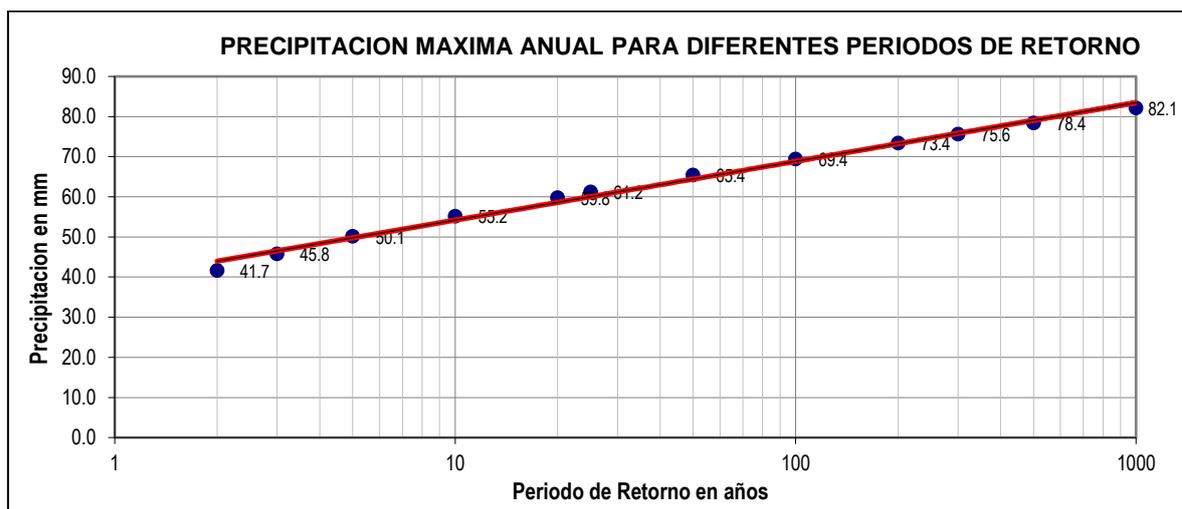
## Anexo 7

### Prueba de bondad de ajuste para precipitación máxima

T	P ( $X \leq x_T$ )	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBEL L		DISTRIB. LOGNORMAL 3P			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG GUMBEL			P <sub>MAX</sub> mm	P <sub>MAX</sub> (corregida) mm
		K <sub>T</sub>	x <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	x <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	x <sub>T</sub>	10 <sup>x</sup> <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	x <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	x <sub>t</sub>	10 <sup>x</sup> <sub>T</sub>		
2	0.500	0.00	37.7	0.16	36.4	0.00	1.56	36.9	-0.08	37.0	-0.01	1.5	36.7	36.9	41.7
3	0.667	0.43	41.3	0.25	39.9	0.43	1.60	40.5	0.35	40.7	0.41	1.6	40.4	40.5	45.8
5	0.800	0.84	44.8	0.71	43.8	0.84	1.64	44.3	0.80	44.5	0.83	1.6	44.3	44.3	50.1
10	0.900	1.28	48.5	1.30	48.7	1.28	1.68	48.8	1.32	48.8	1.29	1.6	49.0	48.8	55.2
20	0.950	1.64	51.5	1.86	53.4	1.64	1.72	52.9	1.77	52.7	1.67	1.7	53.3	52.9	59.8
25	0.960	1.75	52.4	2.04	54.9	1.75	1.73	54.1	1.91	53.8	1.78	1.7	54.6	54.1	61.2
50	0.980	2.05	55.0	2.59	59.5	2.05	1.76	57.9	2.32	57.2	2.11	1.7	58.7	57.9	65.4
100	0.990	2.32	57.3	3.13	64.1	2.33	1.78	61.5	2.70	60.4	2.41	1.7	62.6	61.5	69.4
200	0.995	2.57	59.4	3.67	68.6	2.58	1.81	64.9	3.06	63.5	2.68	1.8	66.5	64.9	73.4
300	0.997	2.71	60.5	3.99	71.3	2.71	1.82	66.9	3.27	65.2	2.83	1.8	68.7	66.9	75.6
500	0.998	2.87	61.9	4.39	74.6	2.88	1.84	69.4	3.52	67.3	3.01	1.8	71.6	69.4	78.4
1000	0.999	3.09	63.7	4.93	79.2	3.09	1.8	72.7	3.85	70.1	3.25	1.8	75.4	72.7	82.1

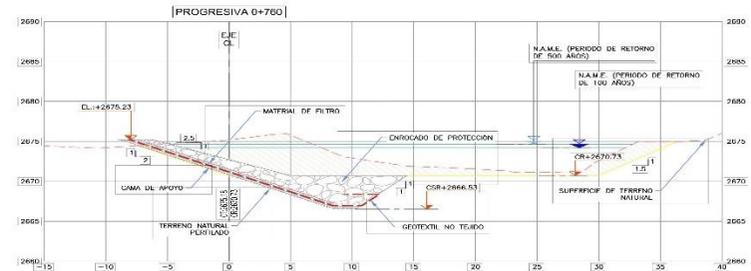
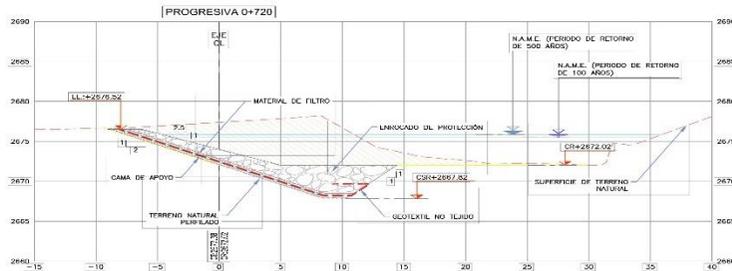
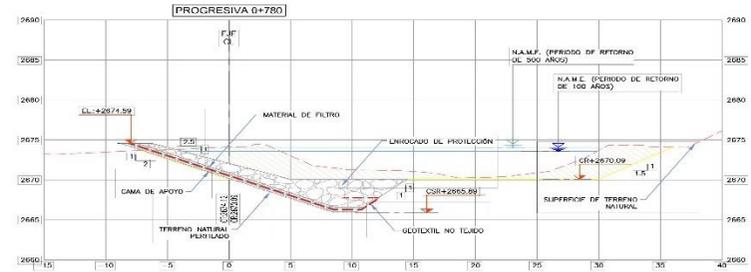
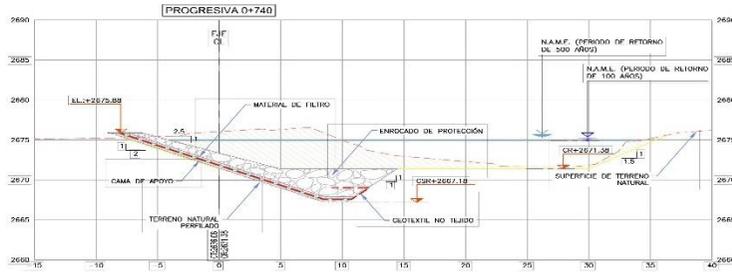
## Anexo 8

### Precipitación máxima anual para diferentes TR



# Anexo 9

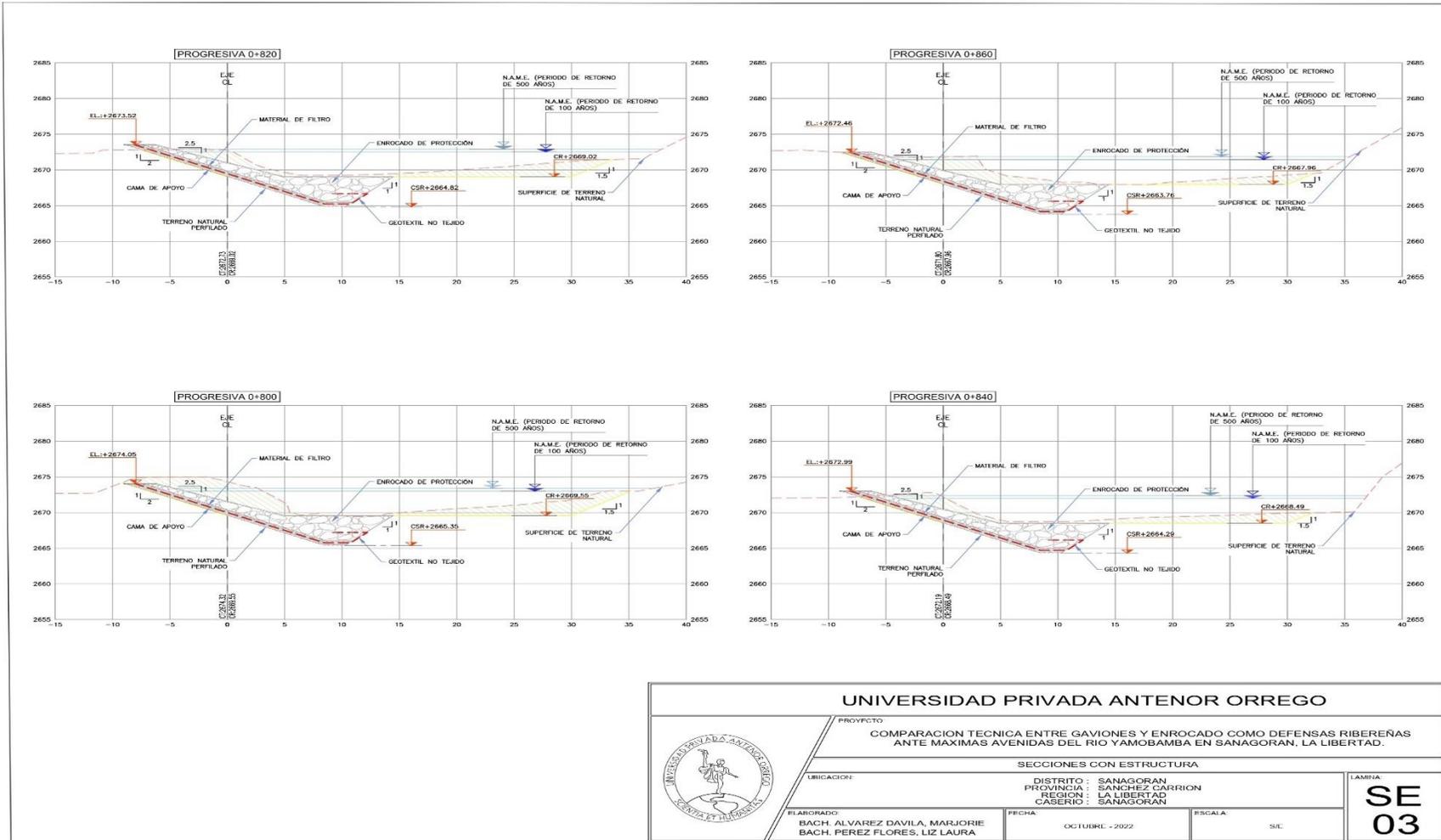
## Progresivas 0+720 a 0+780



<b>UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO</b>			
PROYECTO: COMPARACION TECNICA ENTRE GAVIONES Y ENROCADO COMO DEFENSAS RIBERENAS ANTE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAMOBAMBA EN SANAGORAN, LA LIBERTAD.			
SECCIONES CON ESTRUCTURA			
	UBICACION:	DISTRITO: SANAGORAN PROVINCIA: SANCHEZ-CARRION REGION: LA LIBERTAD CASERIO: SANAGORAN	LAVINA:
	ELABORADO: BACH. ALVAREZ DAVILA, MARJORIE BACH. PEREZ FLORES, LIZ LAURA	FECHA: OCTUBRE 2022	ESCALA: 5/1E

# Anexo 10

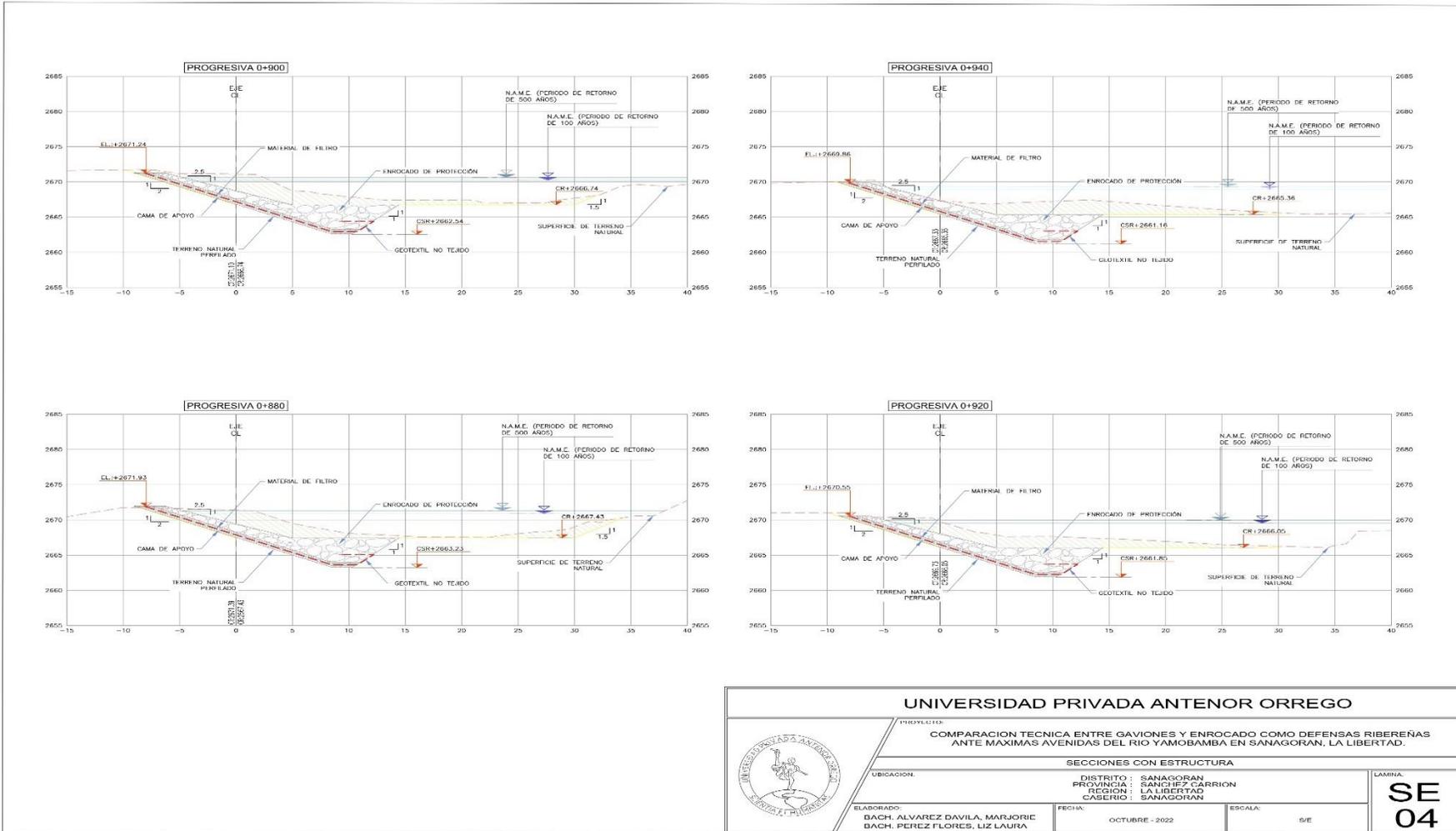
## Progresivas 0+800 a 0+860



<b>UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO</b>			
	PROYECTO: COMPARACION TÉCNICA ENTRE GAVIONES Y ENROCADO COMO DEFENSAS RIBEREÑAS ANTE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAMOBAMBA EN SANAGORAN, LA LIBERTAD.		
	SECCIONES CON ESTRUCTURA		
UBICACION: DISTRITO : SANAGORAN PROVINCIA : SANCHEZ CARRION REGION : LA LIBERTAD CASERIO : SANAGORAN	FECHA: OCTUBRE - 2022		ESCALA: 1:1
ELABORADO: BACH. ALVAREZ DAVILA, MARJORIE BACH. PEREZ FLORES, LIZ LAURA	LAMINA: <b>SE 03</b>		

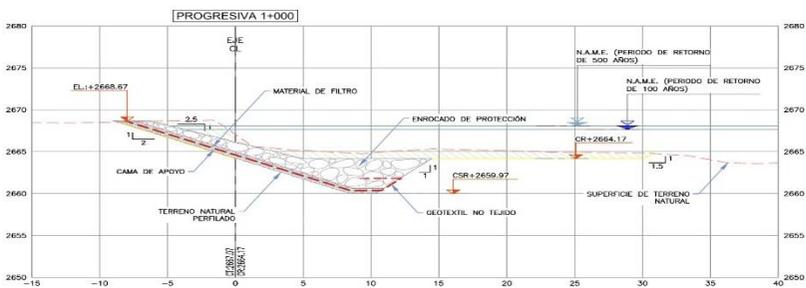
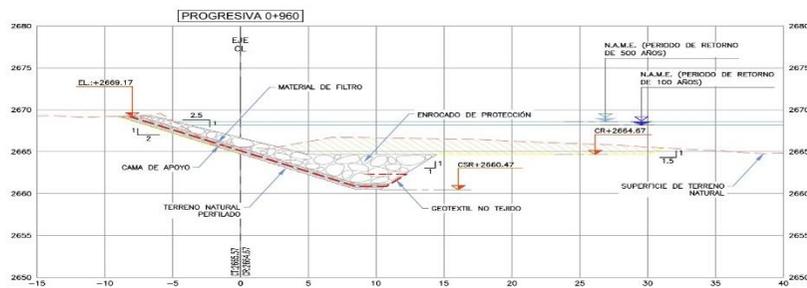
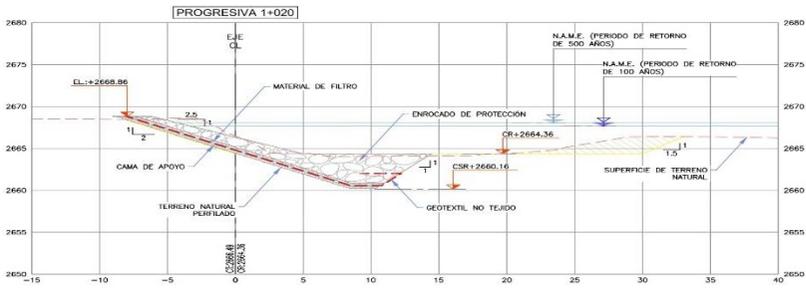
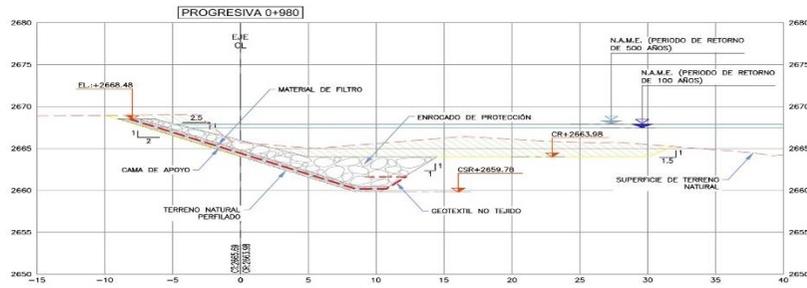
# Anexo 11

## Progresivas 0+880 a 0+940



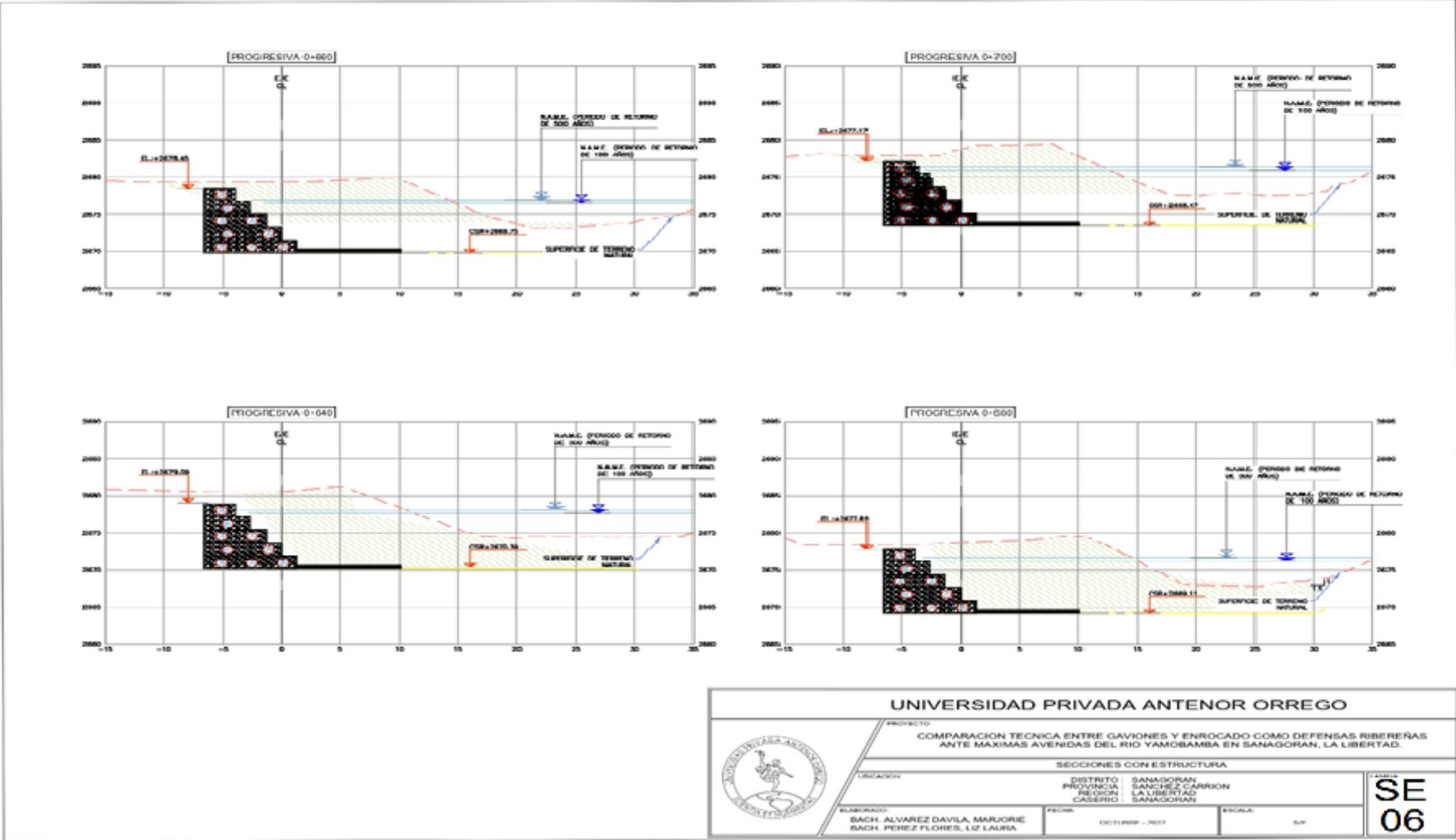
<b>UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO ORRIGO</b>			
COMPARACION TECNICA ENTRE GAVIONES Y ENROCADO COMO DEFENSAS RIBEREÑAS ANTE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAMOBAMBA EN SANAGORAN, LA LIBERTAD.			
SECCIONES CON ESTRUCTURA			
UBICACION:		DISTRITO : SANAGORAN PROVINCIA : SANCHEZ CARRION REGION : LA LIBERTAD CASERIO : SANAGORAN	
ELABORADO: BACH. ALVAREZ DAVILA, MARJORIE BACH. PEREZ FLORES, LIZ LAURA		FECHA: OCTUBRE - 2022	ESCALA: S/E
			<b>SE 04</b>

**Anexo 12**  
**Progresivas 0+960 a 0+1020**

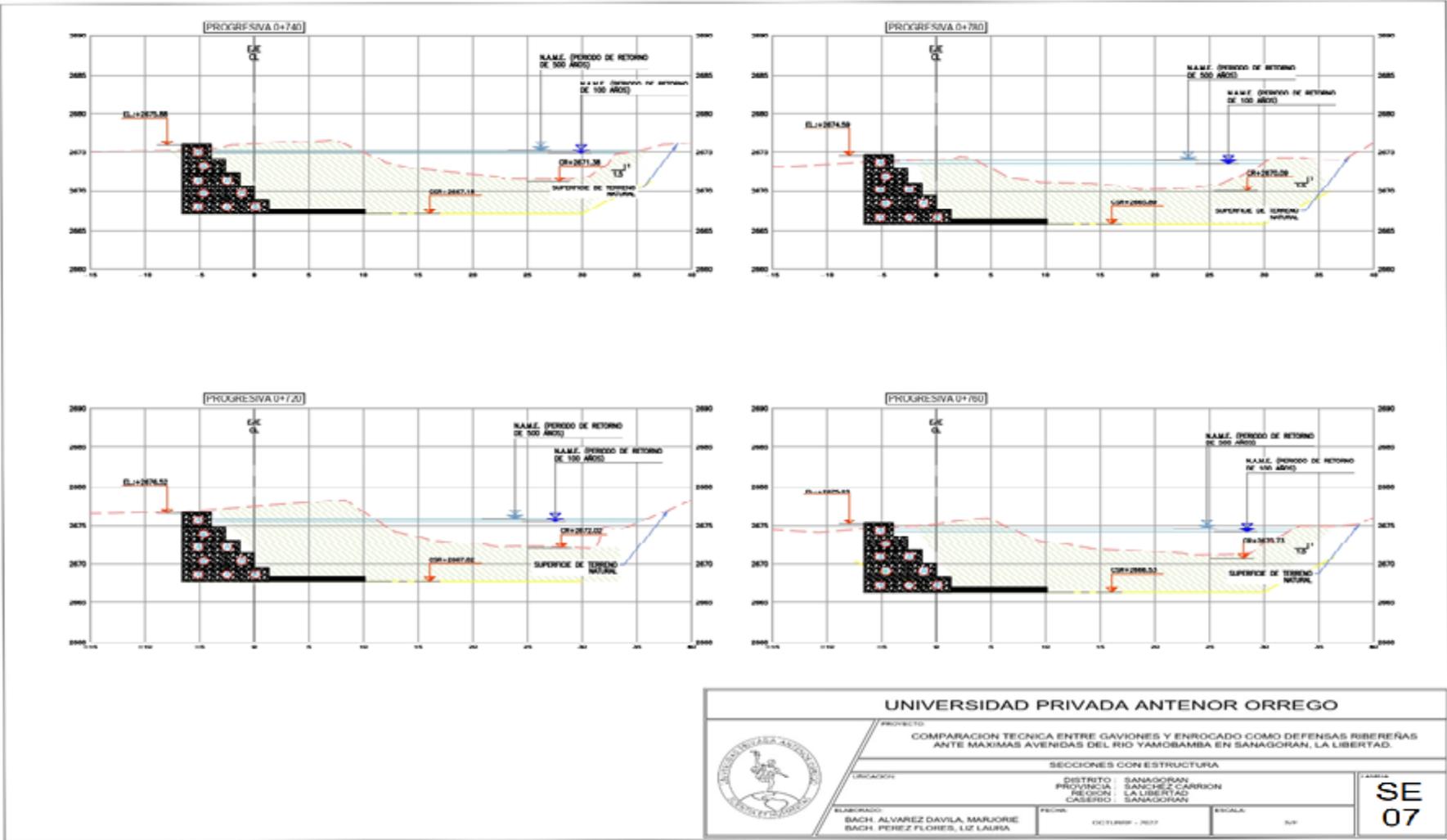


<b>UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO</b>			
PROYECTO: COMPARACION TECNICA ENTRE GAVIONES Y ENROCADOS COMO DEFENSAS RIBEREÑAS ANTE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAMOBAMBA EN SANAGORAN, LA LIBERTAD.			
SECCIONES CON ESTRUCTURA			
	UBICACION:		<b>SE</b> <b>05</b>
	DISTRITO : SANAGORAN PROVINCIA : SANCHEZ CARRION REGION : LA LIBERTAD CASERIO : SANAGORAN		
ELABORADO:	FECHA:	ESCALA:	
BACH. ALVAREZ DAVILA, MARJORIE BACH. PEREZ FLORES, LIZ LAURA	OCTUBRE - 2022	S/P	

**Anexo 13**  
*Progresivas 0+640 a 0+700*



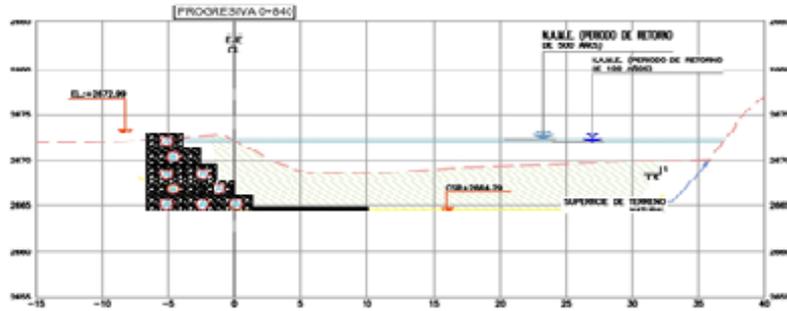
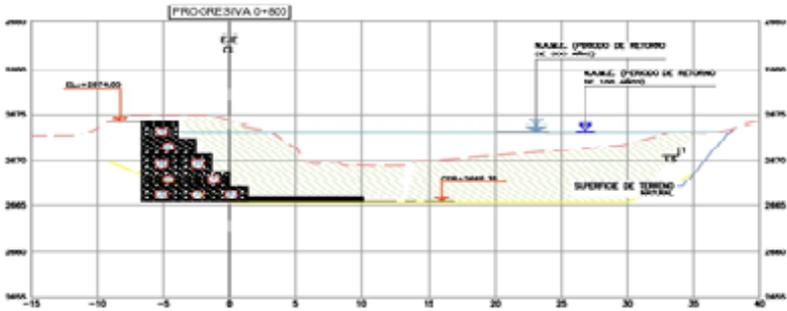
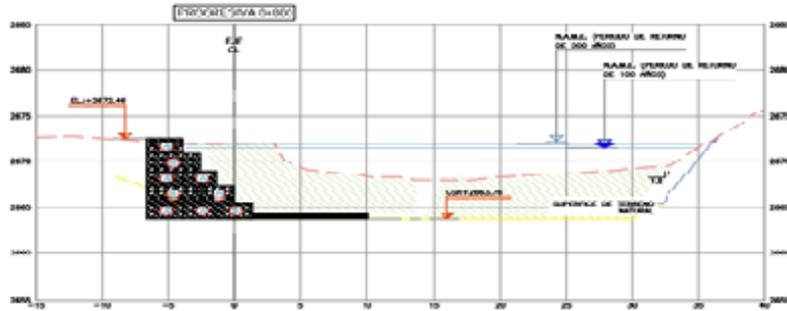
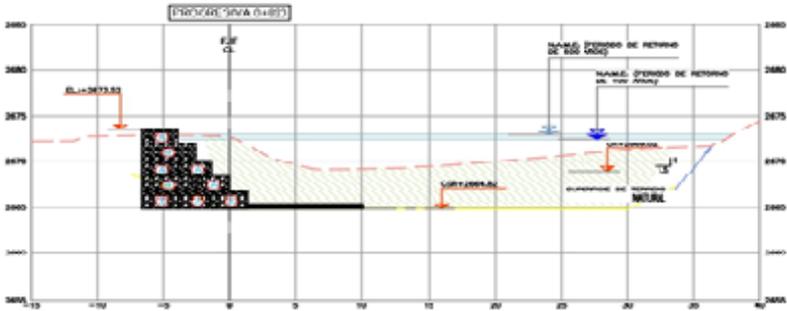
**Anexo 14**  
*Progresivas 0+720 a 0+780*



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO ORREGO**

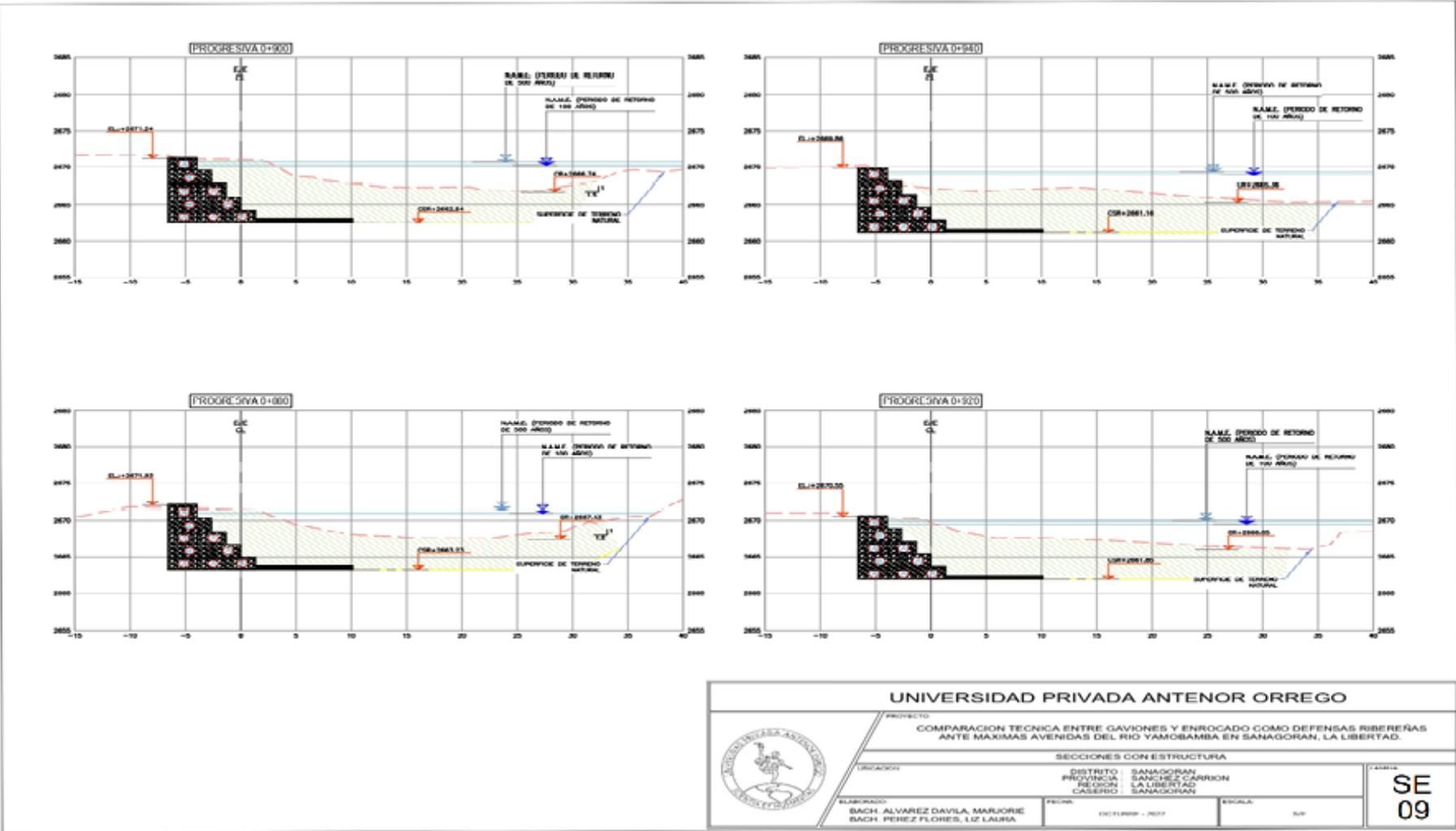
	PROYECTO: COMPARACION TECNICA ENTRE GAVIONES Y ENROCADO COMO DEFENSAS RIBEREÑAS ANTE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAMBAMBA EN SANAGORAN, LA LIBERTAD.		
	SECCIONES CON ESTRUCTURA		
UBICACION: DISTRITO: SANAGORAN PROVINCIA: SANCHEZ CARRION REGION: S.LIBERTAD CASERIO: SANAGORAN	FECHA: OCTUBRE - 2017	ESCALA: 1:50	SE 07
ELABORADO POR: BACH. ALVAREZ DAVILA, MARJORIE BACH. PEREZ FLORES, LIZ LAURA			

**Anexo 15**  
**Progresivas 0+800 a 0+860**



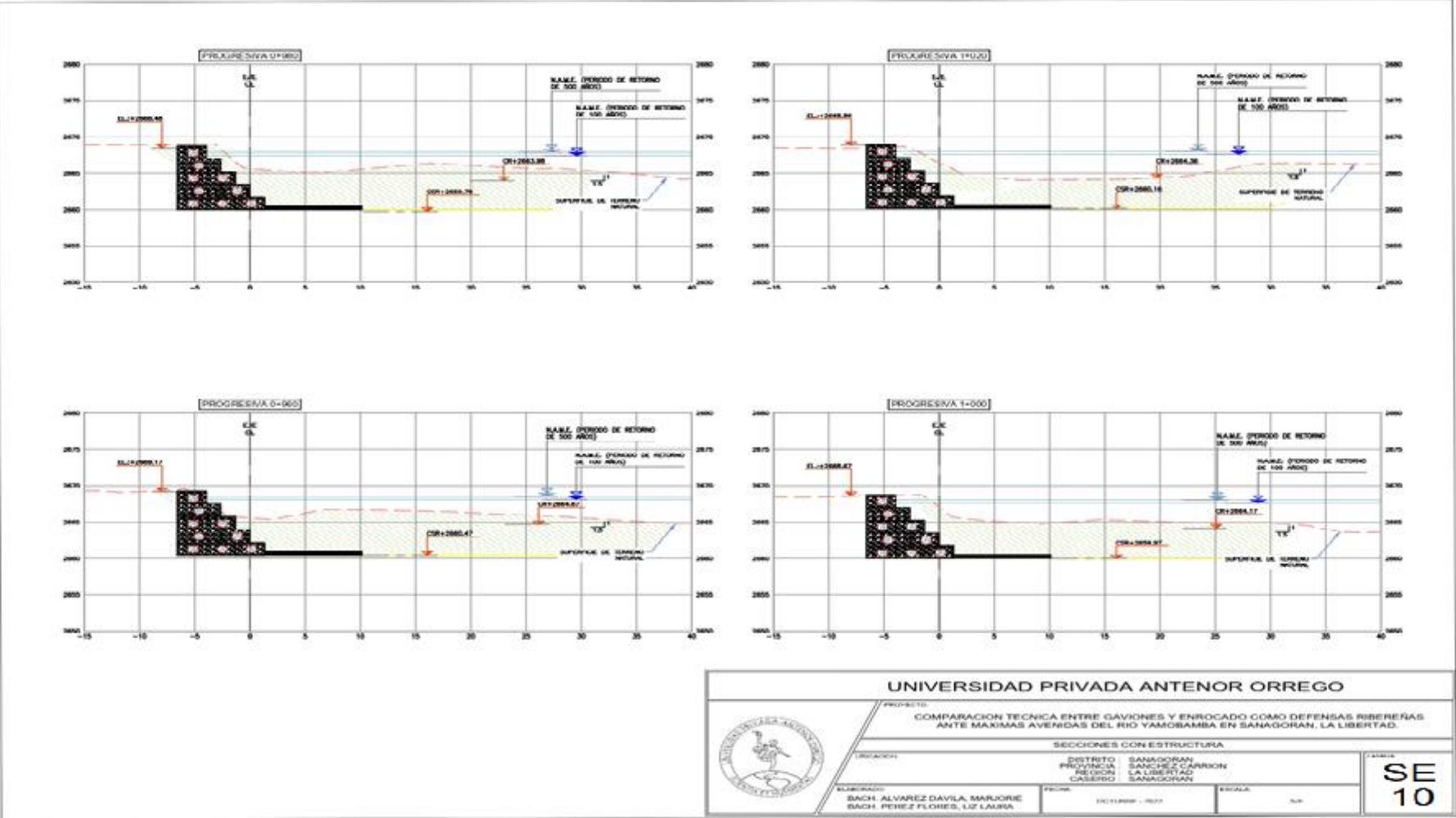
<b>UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO ORREGO</b>			
	PROYECTO: COMPARACION TECNICA ENTRE GAVIONES Y ENROCADO COMO DEFENSAS RIBEREÑAS ANTE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAMOBAMBA EN SANAGORAN, LA LIBERTAD.		
	UBICACION: DISTRITO : SANAGORAN PROVINCIA : SAN JUAN DE LOS RIOS REGION : LA LIBERTAD CASERIO : SANAGORAN		
ELABORADO: BACH. ALVAREZ DAVILA, MARJORIE BACH. PEREZ FLORES, LIZ LAURA	FECHA: OCTUBRE - 2022	ESCALA: 1:500	SE 08

**Anexo 16**  
*Progresivas 0+880 a 0+940*



<b>UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO</b>			
	PROYECTO: COMPARACION TECNICA ENTRE GABIONES Y ENROCADO COMO DEFENSAS RIBEREÑAS ANTE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAMOBAMBA EN SANAGORIAN, LA LIBERTAD.		
	SECCIONES CON ESTRUCTURA		
ELABORADO: BACH. ALVAREZ DAVILA, MARJORIE BACH. PEREZ FLORES, LIZ LAURA	LUGAR/CO:	DISTRITO: SANAGORIAN PROVINCIA: SAMUEL CARBON REGION: LA LIBERTAD CASERIO: SANAGORIAN	FECHA: OCTUBRE - 2017
			ESCALA: 1:1
			SE 09

**Anexo 17**  
**Progresivas 0+940 a 1+000**



**Anexo 18**

*Datos de mediciones en base a la simulación hidráulica*

**ELABORACIÓN DE EXPEDIENTE TÉCNICO**

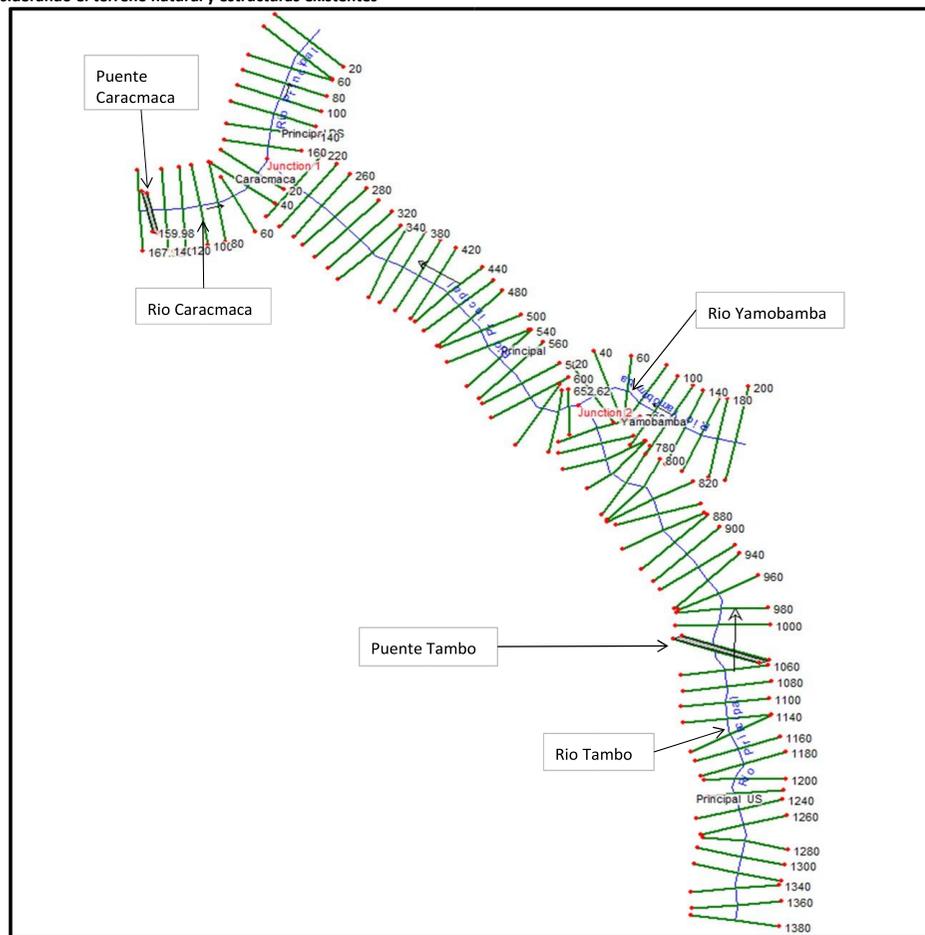
**INSTALACION DEL SERVICIO DE PROTECCION CONTRA INUNDACIONES EN  
LA LOCALIDAD DE SANGORAN, MARGEN IZQUIERDO DE LOS RIOS EL  
TAMBO, YAMOBAMBA Y CARACMACA, DISTRITO DE SANAGORÁN –  
SANCHEZ CARRION – LA LIBERTAD**

**INFORME HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO**

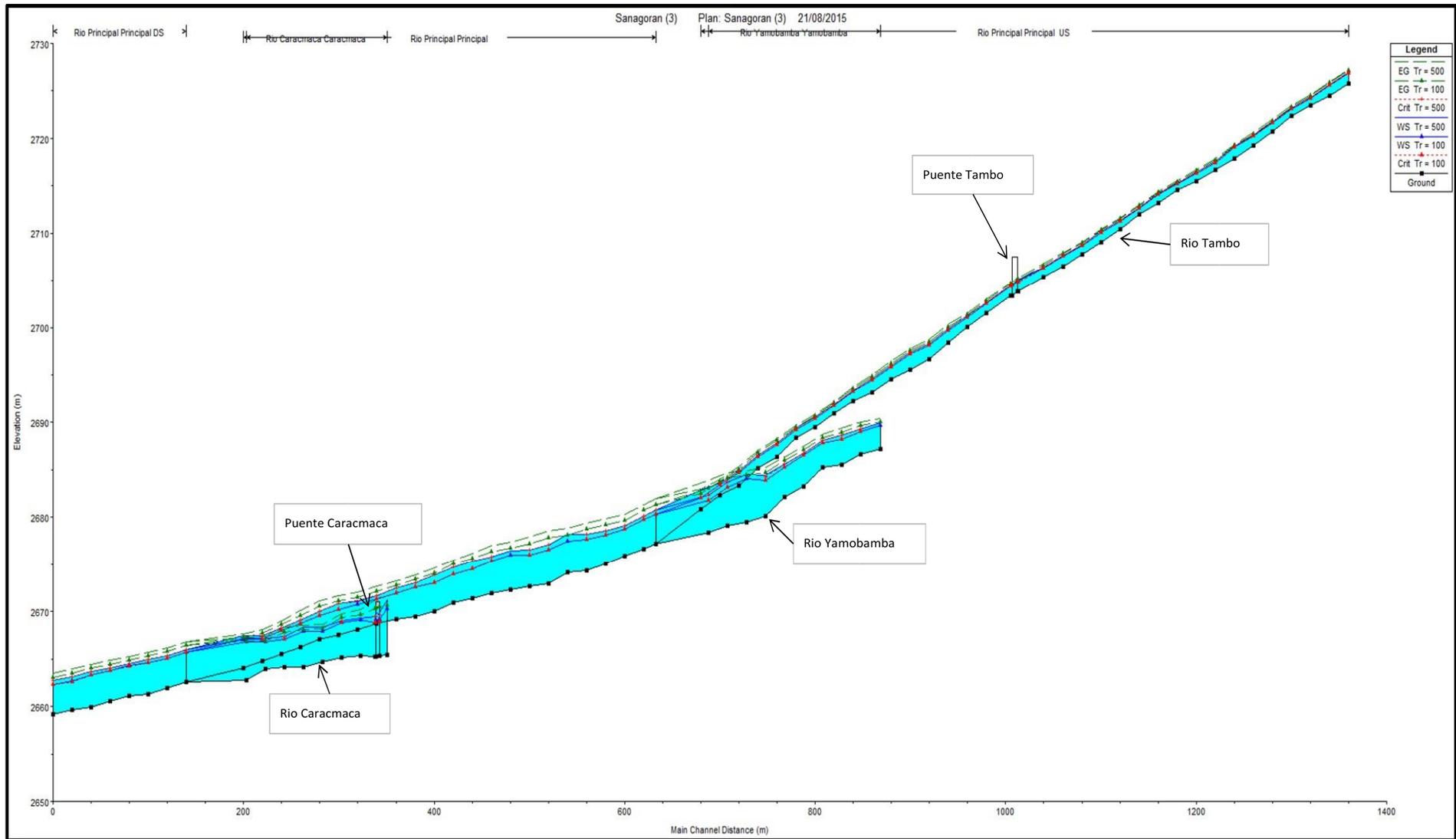
**ANEXO D  
SIMULACIÓN HIDRÁULICA**

## SIMULACIÓN HIDRÁULICA

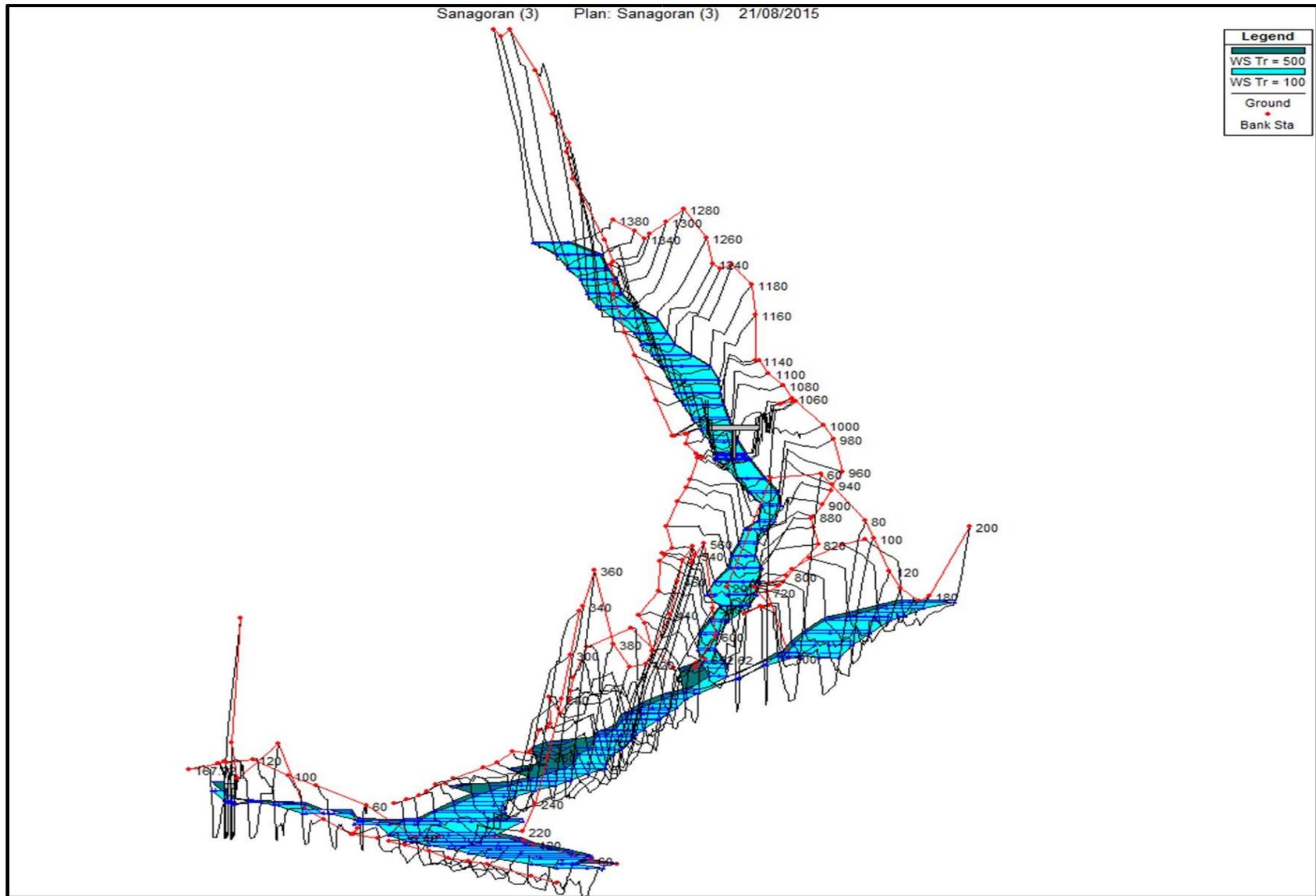
Vista en planta de las secciones analizadas, considerando el terreno natural y estructuras existentes



Perfil de flujo en los ríos para periodos de retorno de 100 y 500 años



Resultados del modelamiento, vista en 3D



Se observan los planos de inundacion para los perfiles de 100 y 500 años **Resultados del modelamiento para un periodo de retorno de 100 años**

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)
Rio Yamobamba	Yamobamba	200	Tr = 100	182.67	2687.2	2689.51		2689.83	0.012428	2.51	72.86	60.04	0.73	1.21
Rio Yamobamba	Yamobamba	180	Tr = 100	182.67	2686.65	2688.84	2688.84	2689.46	0.024287	3.5	52.22	42.99	1.01	1.21
Rio Yamobamba	Yamobamba	160	Tr = 100	182.67	2685.53	2688.1	2688.08	2688.74	0.022663	3.53	51.75	39.76	0.99	1.3
Rio Yamobamba	Yamobamba	140	Tr = 100	182.67	2685.26	2687.69	2687.69	2688.23	0.025238	3.27	55.85	51.88	1.01	1.08
Rio Yamobamba	Yamobamba	120	Tr = 100	182.67	2683.28	2686.37	2686.37	2686.92	0.026655	3.27	55.84	53.29	1.02	1.05
Rio Yamobamba	Yamobamba	100	Tr = 100	182.67	2682.11	2685.03	2685.03	2685.74	0.024136	3.72	49.07	35.22	1.01	1.39
Rio Yamobamba	Yamobamba	80	Tr = 100	182.67	2680.13	2683.64	2683.64	2684.42	0.024089	3.92	46.62	30.19	1.01	1.54
Rio Yamobamba	Yamobamba	60	Tr = 100	182.67	2679.53	2683.76		2684.05	0.0041	2.37	77.1	28.55	0.46	2.7
Rio Yamobamba	Yamobamba	40	Tr = 100	182.67	2679.14	2682.66	2682.66	2683.8	0.023164	4.74	38.55	16.82	1	2.29
Rio Yamobamba	Yamobamba	20	Tr = 100	182.67	2678.36	2681.47	2681.47	2682.64	0.022353	4.78	38.23	16.46	1	2.32
Rio Principal	Principal US	1380	Tr = 100	28.96	2725.81	2726.92	2726.92	2727.15	0.033024	2.14	13.52	29.56	1.01	0.46
Rio Principal	Principal US	1360	Tr = 100	28.96	2724.47	2725.64	2725.64	2725.86	0.033161	2.06	14.04	32.74	1	0.43
Rio Principal	Principal US	1340	Tr = 100	28.96	2723.44	2724.25	2724.25	2724.48	0.032146	2.14	13.54	29.2	1	0.46
Rio Principal	Principal US	1320	Tr = 100	28.96	2722.39	2723.09	2723.09	2723.32	0.033393	2.11	13.69	30.91	1.01	0.44
Rio Principal	Principal US	1300	Tr = 100	28.96	2720.7	2721.64	2721.64	2721.87	0.033844	2.14	13.51	29.9	1.02	0.45
Rio Principal	Principal US	1280	Tr = 100	28.96	2719.25	2720.28	2720.28	2720.5	0.03294	2.11	13.76	30.57	1	0.45
Rio Principal	Principal US	1260	Tr = 100	28.96	2717.88	2719.04	2719.04	2719.27	0.03313	2.1	13.79	31.11	1.01	0.44
Rio Principal	Principal US	1240	Tr = 100	28.96	2716.71	2717.47	2717.47	2717.75	0.030937	2.32	12.46	23.04	1.01	0.54
Rio Principal	Principal US	1220	Tr = 100	28.96	2715.53	2716.32	2716.32	2716.58	0.031759	2.24	12.92	25.59	1.01	0.5
Rio Principal	Principal US	1200	Tr = 100	28.96	2714.56	2715.23	2715.23	2715.46	0.032473	2.11	13.72	30.32	1	0.45
Rio Principal	Principal US	1180	Tr = 100	28.96	2713.19	2714.09	2714.09	2714.3	0.032936	2.05	14.15	33.11	1	0.43
Rio Principal	Principal US	1160	Tr = 100	28.96	2711.98	2712.69	2712.69	2712.9	0.034379	2.03	14.28	35.13	1.02	0.41
Rio Principal	Principal US	1140	Tr = 100	28.96	2710.41	2711.31	2711.31	2711.54	0.033926	2.1	13.8	31.73	1.02	0.43
Rio Principal	Principal US	1120	Tr = 100	28.96	2709.04	2710.13	2710.13	2710.35	0.031728	2.11	13.7	29.78	0.99	0.46
Rio Principal	Principal US	1100	Tr = 100	28.96	2707.74	2708.69	2708.69	2708.94	0.032538	2.23	12.97	26.53	1.02	0.49
Rio Principal	Principal US	1080	Tr = 100	28.96	2706.5	2707.56	2707.56	2707.84	0.031563	2.35	12.32	22.33	1.01	0.55
Rio Principal	Principal US	1060	Tr = 100	28.96	2705.42	2706.33	2706.33	2706.63	0.030544	2.41	12.01	20.6	1.01	0.58
Rio Principal	Principal US	1032.96	Tr = 100	28.96	2703.86	2705.03	2704.85	2705.16	0.012904	1.63	17.78	29.02	0.66	0.61
Rio Principal	Principal US	1029.01		Bridge										
Rio Principal	Principal US	1025.42	Tr = 100	28.96	2703.41	2704.42	2704.42	2704.65	0.033443	2.12	13.64	30.54	1.01	0.45
Rio Principal	Principal US	1000	Tr = 100	28.96	2701.5	2702.52	2702.52	2702.81	0.029915	2.38	12.19	21.23	1	0.57
Rio Principal	Principal US	980	Tr = 100	28.96	2700.02	2701.11	2701.11	2701.4	0.029718	2.37	12.21	21.22	1	0.58
Rio Principal	Principal US	960	Tr = 100	28.96	2698.43	2699.73	2699.73	2700.13	0.028268	2.8	10.33	13.13	1.01	0.79
Rio Principal	Principal US	940	Tr = 100	28.96	2696.68	2698.12	2698.12	2698.55	0.028237	2.91	9.94	11.68	1.01	0.85
Rio Principal	Principal US	920	Tr = 100	28.96	2695.59	2697.25	2697.25	2697.6	0.032468	2.62	11.03	16.29	1.02	0.68
Rio Principal	Principal US	900	Tr = 100	28.96	2694.59	2695.83	2695.83	2696.23	0.028281	2.8	10.34	13.07	1.01	0.79
Rio Principal	Principal US	880	Tr = 100	28.96	2693.17	2694.5	2694.5	2694.83	0.029384	2.55	11.36	17.19	1	0.66

Rio Principal	Principal US	860	Tr = 100	28.96	2692.24	2693.25	2693.25	2693.53	0.031018	2.35	12.32	22.33	1.01	0.55
Rio Principal	Principal US	840	Tr = 100	28.96	2690.93	2691.83	2691.83	2692.05	0.033373	2.09	13.88	31.93	1.01	0.43
Rio Principal	Principal US	820	Tr = 100	28.96	2689.48	2690.47	2690.47	2690.72	0.032218	2.18	13.27	27.8	1.01	0.48
Rio Principal	Principal US	800	Tr = 100	28.96	2688.36	2689.26	2689.26	2689.54	0.030694	2.35	12.35	22.14	1	0.56
Rio Principal	Principal US	780	Tr = 100	28.96	2686.37	2687.71	2687.71	2688.13	0.028654	2.89	10.03	11.93	1.01	0.84
Rio Principal	Principal US	760	Tr = 100	28.96	2685.19	2686.43	2686.43	2686.82	0.028211	2.76	10.49	13.57	1	0.77
Rio Principal	Principal US	740	Tr = 100	28.96	2683.33	2684.73	2684.73	2685.16	0.03105	2.91	9.94	11.65	1.01	0.85
Rio Principal	Principal US	720	Tr = 100	28.96	2682.3	2683.44	2683.44	2683.79	0.029387	2.61	11.08	16.28	1.01	0.68
Rio Principal	Principal US	700	Tr = 100	28.96	2680.85	2682.12	2682.12	2682.53	0.028346	2.83	10.23	12.73	1.01	0.8
Rio Principal	Principal	652.62	Tr = 100	211.63	2677.19	2680.1	2680.1	2681.05	0.022127	4.33	48.89	25.93	1.01	1.89
Rio Principal	Principal	640	Tr = 100	211.63	2676.64	2679.53	2679.53	2680.45	0.021804	4.24	49.89	27.5	1.01	1.81
Rio Principal	Principal	620	Tr = 100	211.63	2675.88	2678.55	2678.55	2679.43	0.022334	4.16	50.86	29.37	1.01	1.73
Rio Principal	Principal	600	Tr = 100	211.63	2675.09	2677.93	2677.93	2678.89	0.022286	4.35	48.7	25.63	1.01	1.9
Rio Principal	Principal	580	Tr = 100	211.63	2674.38	2677.39	2677.39	2678.42	0.022094	4.51	46.9	23.01	1.01	2.04

Continuación, resultados del modelamiento para un periodo de retorno de 100 años

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)
Rio Principal	Principal	560	Tr = 100	211.63	2674.14	2677.19		2677.77	0.0094	3.39	62.45	25.3	0.69	2.47
Rio Principal	Principal	540	Tr = 100	211.63	2672.98	2676.3	2676.3	2677.45	0.021111	4.74	44.66	19.74	1.01	2.26
Rio Principal	Principal	520	Tr = 100	211.63	2672.65	2675.75	2675.74	2676.85	0.020875	4.65	45.52	20.73	1	2.2
Rio Principal	Principal	500	Tr = 100	211.63	2672.28	2675.79		2676.42	0.010407	3.53	59.96	24.14	0.71	2.48
Rio Principal	Principal	480	Tr = 100	211.63	2671.95	2675.07	2675.07	2676.09	0.022195	4.48	47.23	23.54	1.01	2.01
Rio Principal	Principal	460	Tr = 100	211.63	2671.39	2674.28	2674.28	2675.32	0.021652	4.5	46.99	23.05	1.01	2.04
Rio Principal	Principal	440	Tr = 100	211.63	2670.93	2673.77	2673.77	2674.74	0.021504	4.35	48.63	25.59	1.01	1.9
Rio Principal	Principal	420	Tr = 100	211.63	2670.03	2672.85	2672.85	2673.78	0.021207	4.27	49.52	26.77	1	1.85
Rio Principal	Principal	400	Tr = 100	211.63	2669.43	2672.27	2672.27	2673.18	0.023087	4.24	49.92	28.29	1.02	1.76
Rio Principal	Principal	380	Tr = 100	211.63	2669.22	2671.8	2671.8	2672.58	0.022161	3.9	54.28	35.34	1	1.54
Rio Principal	Principal	360	Tr = 100	211.63	2668.74	2671.14	2671.14	2671.9	0.022225	3.87	54.75	36.19	1	1.51
Rio Principal	Principal	340	Tr = 100	211.63	2668.14	2670.61	2670.48	2671.27	0.017287	3.6	58.72	35.22	0.89	1.67
Rio Principal	Principal	320	Tr = 100	211.63	2667.56	2670.04	2670.04	2670.87	0.021485	4.05	52.32	31.46	1	1.66
Rio Principal	Principal	300	Tr = 100	211.63	2667.09	2669.41	2669.41	2670.27	0.021761	4.1	51.66	30.63	1.01	1.69
Rio Principal	Principal	280	Tr = 100	211.63	2666.24	2668.59	2668.59	2669.36	0.02279	3.9	54.25	35.6	1.01	1.52
Rio Principal	Principal	260	Tr = 100	211.63	2665.49	2667.83	2667.83	2668.42	0.024685	3.42	61.82	52.77	1.01	1.17
Rio Principal	Principal	240	Tr = 100	211.63	2664.79	2666.96	2666.96	2667.55	0.024786	3.4	62.29	54.35	1.01	1.15
Rio Principal	Principal	220	Tr = 100	211.63	2664.06	2666.94		2667.11	0.006723	1.85	114.26	92.8	0.53	1.23
Rio Principal	Principal DS	160	Tr = 100	415.44	2662.61	2665.55	2665.55	2666.22	0.02361	3.63	114.32	87.03	1.01	1.31
Rio Principal	Principal DS	140	Tr = 100	415.44	2661.98	2664.86	2664.86	2665.58	0.021209	3.76	110.59	74.35	0.98	1.49
Rio Principal	Principal DS	120	Tr = 100	415.44	2661.34	2664.47	2664.36	2665.1	0.017998	3.52	118.12	77.38	0.91	1.53
Rio Principal	Principal DS	100	Tr = 100	415.44	2661.15	2664.16	2663.9	2664.7	0.019442	3.27	127.16	98.41	0.92	1.29
Rio Principal	Principal DS	80	Tr = 100	415.44	2660.6	2663.73	2663.43	2664.29	0.021287	3.32	125.32	100	0.95	1.25
Rio Principal	Principal DS	60	Tr = 100	415.44	2659.96	2663.1	2663.1	2663.85	0.021579	3.83	108.52	71.28	0.99	1.52

Rio Principal	Principal DS	40	Tr = 100	415.44	2659.6	2662.57	2662.43	2663.24	0.017074	3.63	114.37	67.88	0.89	1.68
Rio Principal	Principal DS	20	Tr = 100	415.44	2659.19	2662.1	2662.1	2662.85	0.022453	3.83	108.34	72.41	1	1.5
Rio Caracmaca	Caracmaca	167.92	Tr = 100	203.81	2665.4	2669.93		2670.31	0.004823	2.7	75.48	23.9	0.49	3.16
Rio Caracmaca	Caracmaca	159.98	Tr = 100	203.81	2665.34	2668.96	2668.7	2670.15	0.019413	4.84	42.15	13.85	0.88	3.04
Rio Caracmaca	Caracmaca	157.36		Bridge										
Rio Caracmaca	Caracmaca	154.82	Tr = 100	203.81	2665.28	2668.64	2668.56	2669.96	0.023007	5.1	39.94	14.07	0.97	2.84
Rio Caracmaca	Caracmaca	140	Tr = 100	203.81	2665.29	2669.05		2669.53	0.007151	3.07	66.46	25.04	0.6	2.65
Rio Caracmaca	Caracmaca	120	Tr = 100	203.81	2665.18	2668.72	2668.72	2669.27	0.027779	3.3	61.76	59	1.03	1.05
Rio Caracmaca	Caracmaca	100	Tr = 100	203.81	2664.71	2667.69		2668.05	0.013322	2.64	77.17	61.24	0.75	1.26
Rio Caracmaca	Caracmaca	80	Tr = 100	203.81	2664.18	2667.72		2667.87	0.003273	1.67	121.81	65.42	0.39	1.86
Rio Caracmaca	Caracmaca	60	Tr = 100	203.81	2664.13	2666.93	2666.93	2667.67	0.023978	3.79	53.77	37.23	1.01	1.44
Rio Caracmaca	Caracmaca	40	Tr = 100	203.81	2663.95	2666.62		2666.77	0.004793	1.69	120.92	87.32	0.46	1.38
Rio Caracmaca	Caracmaca	20	Tr = 100	203.81	2662.81	2666.61		2666.69	0.001702	1.25	163.65	85.1	0.29	1.92

**Resultados del modelamiento para un periodo de retorno de 500 años**

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)
Rio Yamobamba	Yamobamba	200	Tr = 500	233.23	2687.2	2689.74		2690.11	0.0116	2.69	86.74	60.98	0.72	1.42
Rio Yamobamba	Yamobamba	180	Tr = 500	233.23	2686.65	2689.13	2689.13	2689.76	0.023697	3.53	66.05	52.66	1.01	1.25
Rio Yamobamba	Yamobamba	160	Tr = 500	233.23	2685.53	2688.32	2688.32	2689.07	0.02306	3.84	60.73	41.44	1.01	1.47
Rio Yamobamba	Yamobamba	140	Tr = 500	233.23	2685.26	2687.9	2687.9	2688.51	0.024648	3.44	67.74	57.24	1.01	1.18
Rio Yamobamba	Yamobamba	120	Tr = 500	233.23	2683.28	2686.57	2686.57	2687.2	0.025113	3.51	66.37	54.37	1.02	1.22
Rio Yamobamba	Yamobamba	100	Tr = 500	233.23	2682.11	2685.33	2685.33	2686.09	0.023704	3.85	60.54	40.83	1.01	1.48
Rio Yamobamba	Yamobamba	80	Tr = 500	233.23	2680.13	2684.03	2683.94	2684.83	0.020407	3.96	58.87	32.9	0.95	1.79
Rio Yamobamba	Yamobamba	60	Tr = 500	233.23	2679.53	2684.18		2684.53	0.00438	2.61	89.25	29.83	0.48	2.99
Rio Yamobamba	Yamobamba	20	Tr = 500	233.23	2678.36	2681.9	2681.9	2683.25	0.022061	5.14	45.37	16.95	1	2.68
Rio Principal	Principal US	1380	Tr = 500	35.97	2725.81	2727	2727	2727.26	0.032149	2.25	16	31.92	1.01	0.5
Rio Principal	Principal US	1360	Tr = 500	35.97	2724.47	2725.71	2725.71	2725.96	0.031911	2.2	16.37	33.68	1.01	0.49
Rio Principal	Principal US	1340	Tr = 500	35.97	2723.44	2724.32	2724.32	2724.59	0.031187	2.3	15.65	29.59	1.01	0.53
Rio Principal	Principal US	1320	Tr = 500	35.97	2722.39	2723.17	2723.17	2723.42	0.031484	2.24	16.03	31.65	1.01	0.51
Rio Principal	Principal US	1300	Tr = 500	35.97	2720.7	2721.71	2721.71	2721.98	0.031255	2.27	15.84	30.28	1	0.52
Rio Principal	Principal US	1280	Tr = 500	35.97	2719.25	2720.34	2720.34	2720.61	0.032417	2.28	15.79	30.77	1.01	0.51
Rio Principal	Principal US	1260	Tr = 500	35.97	2717.88	2719.11	2719.11	2719.37	0.033399	2.26	15.93	32.37	1.03	0.49

Rio Principal	Principal US	1240	Tr = 500	35.97	2716.71	2717.56	2717.56	2717.87	0.029432	2.47	14.55	23.58	1	0.62
Rio Principal	Principal US	1220	Tr = 500	35.97	2715.53	2716.4	2716.4	2716.7	0.030992	2.41	14.9	25.87	1.02	0.58
Rio Principal	Principal US	1200	Tr = 500	35.97	2714.56	2715.3	2715.3	2715.56	0.031654	2.28	15.79	30.48	1.01	0.52
Rio Principal	Principal US	1180	Tr = 500	35.97	2713.19	2714.16	2714.16	2714.4	0.03201	2.16	16.62	35	1	0.47
Rio Principal	Principal US	1160	Tr = 500	35.97	2711.98	2712.76	2712.76	2713	0.032784	2.16	16.65	35.93	1.01	0.46
Rio Principal	Principal US	1140	Tr = 500	35.97	2710.41	2711.38	2711.38	2711.64	0.032048	2.24	16.05	32	1.01	0.5
Rio Principal	Principal US	1120	Tr = 500	35.97	2709.04	2710.19	2710.19	2710.46	0.031854	2.29	15.72	30.39	1.02	0.52
Rio Principal	Principal US	1100	Tr = 500	35.97	2707.74	2708.78	2708.78	2709.06	0.030218	2.35	15.32	27.45	1	0.56
Rio Principal	Principal US	1080	Tr = 500	35.97	2706.5	2707.65	2707.65	2707.97	0.030406	2.52	14.29	22.69	1.01	0.63
Rio Principal	Principal US	1060	Tr = 500	35.97	2705.42	2706.42	2706.42	2706.76	0.029623	2.59	13.89	20.85	1.01	0.67
Rio Principal	Principal US	1032.96	Tr = 500	35.97	2703.86	2705.12	2704.94	2705.28	0.013099	1.74	20.65	30.79	0.68	0.67
Rio Principal	Principal US	1029.01			Bridge									
Rio Principal	Principal US	1025.42	Tr = 500	35.97	2703.41	2704.49	2704.49	2704.75	0.032325	2.24	16.08	32.44	1.01	0.5
Rio Principal	Principal US	1000	Tr = 500	35.97	2701.5	2702.62	2702.62	2702.94	0.029556	2.54	14.18	22.15	1.01	0.64
Rio Principal	Principal US	980	Tr = 500	35.97	2700.02	2701.22	2701.22	2701.52	0.029823	2.46	14.64	24.23	1.01	0.6
Rio Principal	Principal US	960	Tr = 500	35.97	2698.43	2699.86	2699.86	2700.31	0.027536	2.98	12.08	13.7	1.01	0.88
Rio Principal	Principal US	940	Tr = 500	35.97	2696.68	2698.27	2698.27	2698.75	0.027582	3.08	11.67	12.31	1.01	0.95
Rio Principal	Principal US	920	Tr = 500	35.97	2695.59	2697.36	2697.36	2697.76	0.03018	2.78	12.93	16.44	1	0.79
Rio Principal	Principal US	900	Tr = 500	35.97	2694.59	2695.96	2695.96	2696.41	0.027358	2.98	12.06	13.48	1.01	0.89
Rio Principal	Principal US	880	Tr = 500	35.97	2693.17	2694.6	2694.6	2694.98	0.028967	2.72	13.25	18.04	1.01	0.73
Rio Principal	Principal US	860	Tr = 500	35.97	2692.24	2693.35	2693.35	2693.66	0.029807	2.5	14.41	23.08	1.01	0.62
Rio Principal	Principal US	840	Tr = 500	35.97	2690.93	2691.9	2691.9	2692.16	0.031523	2.23	16.13	32.11	1	0.5
Rio Principal	Principal US	820	Tr = 500	35.97	2689.48	2690.55	2690.55	2690.82	0.031595	2.32	15.52	29.2	1.01	0.53
Rio Principal	Principal US	800	Tr = 500	35.97	2688.36	2689.35	2689.35	2689.67	0.029638	2.5	14.37	22.73	1	0.63
Rio Principal	Principal US	780	Tr = 500	35.97	2686.37	2687.86	2687.86	2688.32	0.028272	3	11.98	13.16	1	0.91
Rio Principal	Principal US	760	Tr = 500	35.97	2685.19	2686.56	2686.56	2687	0.027457	2.95	12.2	13.97	1.01	0.87
Rio Principal	Principal US	740	Tr = 500	35.97	2683.33	2684.87	2684.87	2685.36	0.03087	3.08	11.68	12.32	1.01	0.95
Rio Principal	Principal US	720	Tr = 500	35.97	2682.3	2683.57	2683.57	2683.95	0.028339	2.72	13.24	17.84	1.01	0.74
Rio Principal	Principal US	700	Tr = 500	35.97	2680.85	2682.25	2682.25	2682.72	0.027454	3.02	11.9	13.03	1.01	0.91
Rio Principal	Principal	652.62	Tr = 500	269.2	2677.19	2680.45	2680.45	2681.54	0.021438	4.63	58.15	27.09	1.01	2.15
Rio Principal	Principal	640	Tr = 500	269.2	2676.64	2679.87	2679.87	2680.92	0.02096	4.54	59.26	28.41	1	2.09
Rio Principal	Principal	620	Tr = 500	269.2	2675.88	2678.86	2678.86	2679.88	0.021353	4.47	60.25	30.02	1.01	2.01
Rio Principal	Principal	600	Tr = 500	269.2	2675.09	2678.29	2678.29	2679.38	0.021331	4.63	58.13	26.74	1	2.17
Rio Principal	Principal	580	Tr = 500	269.2	2674.38	2677.84	2677.84	2678.94	0.021196	4.66	57.72	26.12	1	2.21

Continuación, resultados del modelamiento para un periodo de retorno de 500 años

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)
Rio Principal	Principal	560	Tr = 500	269.2	2674.14	2677.71		2678.35	0.008645	3.54	75.96	26.81	0.67	2.83
Rio Principal	Principal	540	Tr = 500	269.2	2672.98	2676.74	2676.74	2678.03	0.020527	5.03	53.51	21.03	1.01	2.54
Rio Principal	Principal	520	Tr = 500	269.2	2672.65	2676.16	2676.16	2677.41	0.020386	4.96	54.3	21.89	1	2.48
Rio Principal	Principal	500	Tr = 500	269.2	2672.28	2676.14		2676.92	0.011394	3.92	68.69	25.19	0.76	2.73

