



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Análisis hidrodinámico del río Shisho en el meandro del puente Coishco  
para la rectificación del cauce por inundaciones

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTOR**

Gutarra Senepo, Manuel Erasmo  
ORCID: 0009-0005-8124-7965

**ASESOR**

Lopez Silva, Maiquel  
ORCID: 0000-0002-0946-6160

**Lima, Perú**

**2023**

## **METADATOS COMPLEMENTARIOS**

### **Datos del autor**

Gutarra Senepo, Manuel Erasmo

DNI: 43375038

### **Datos del asesor**

Lopez Silva, Maiquel

CE: 002946058

### **Datos del jurado**

#### **JURADO 1**

Donayre Cordova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

#### **JURADO 2**

Garate Caceres, Francisco Hector

DNI: 07640930

ORCID: 0000-0003-0413-3399

#### **JURADO 3**

Carmenates Hernandez, Dayma Sadami

CE: 002944620

ORCID: 0000-0001-5482-7562

### **Datos de la investigación**

Campo de conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Manuel Erasmo Gutarra Senepo, con código de estudiante N° 200412123, con DNI N° 43375038, con domicilio en Avenida Francisco Pizarro 492 interior 3, distrito Rímac, provincia y departamento Lima, en mi condición de bachiller en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, declaro bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Análisis hidrodinámico del río Shisho en el meandro del puente Coishco para la rectificación del cauce por inundaciones” es de mi única autoría, bajo el asesoramiento del docente Maiquel Lopez Silva, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 24% de similitud final.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumo responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet. Asimismo, ratifico plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de mi conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumo toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y soy consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, me someto a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 31 de octubre de 2023



---

Manuel Erasmo Gutarra Senepo

DNI N° 43375038

## INFORME DE ORIGINALIDAD–TURNITIN

### Análisis hidrodinámico del río Shisho en el meandro del puente Coishco para la rectificación del cauce por inundaciones

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>24%</b>	<b>23%</b>	<b>7%</b>	<b>9%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Ricardo Palma</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>cybertesis.unmsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.ana.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>upcommons.upc.edu</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

Dra. Vargas Chang Esther Joni

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi madre que me ayuda de manera incondicional en mi crecimiento como ser humano y profesional, promoviendo mi desarrollo y superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimiento a la Universidad Ricardo Palma, docentes y profesionales que compartieron sus conocimientos y experiencias para mi formación académica, profesional, a la empresa Naylamp Ingenieros, a mi asesor Dr. Ing. Maiquel López Silva.

## ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS .....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD–TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Formulación del problema.....	5
1.2.1 Problema General.....	5
1.2.2 Problemas específicos .....	5
1.3 Objetivo general y específico .....	5
1.3.1 Objetivo General .....	5
1.3.2 Objetivos específicos .....	6
1.4 Delimitación del estudio .....	6
1.4.1 Delimitación temporal.....	6
1.4.2 Delimitación espacial.....	6
1.4.3 Delimitación Temática .....	8
1.5 Justificación e Importancia de la investigación .....	8
1.5.1 Justificación práctica.....	8
1.5.2 Justificación social .....	8
1.5.3 Justificación económica .....	9
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Investigaciones relacionadas.....	10
2.1.1 Investigaciones internacionales:.....	10
2.1.2 Investigaciones nacionales .....	11
2.2 Bases teóricas.....	12
2.2.1 Topografía .....	12

2.2.2 Clasificación de suelos.....	13
2.2.3 Transporte de Sedimentos .....	14
2.2.4 Morfología de la cuenca.....	15
2.2.5 Análisis estadístico de datos hidrológicos.....	17
2.2.6 Caudales máximos .....	20
2.2.7 Rugosidad en cauces naturales.....	27
2.2.8 Modelos numéricos o estadísticos.....	27
2.2.9 Rectificación del ancho de cauce .....	28
2.3 Definición de términos básicos.....	31
<b>CAPÍTULO III : SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>33</b>
3.1 Hipótesis .....	33
3.1.1 Hipótesis general.....	33
3.1.2 Hipótesis Específica.....	33
3.2 Sistema de Variables:.....	33
3.2.1 Definición conceptual de la variable.....	33
3.2.2 Operacionalización de las Variables.....	34
<b>CAPÍTULO IV : METODOLOGÍA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>35</b>
4.1 Tipo y método de investigación.....	35
4.1.1 Tipo de Investigación. ....	35
4.2 Método de Investigación.....	35
4.3 Población y muestra.....	35
4.3.1 Población de investigación.....	35
4.3.2 Muestra.....	36
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	36
4.4.1 Técnicas e instrumentos .....	36
4.4.2 Criterios de Validez y confiabilidad de los instrumentos .....	36
4.4.3 Procedimiento para recolección de datos .....	37
4.4.4 Técnicas para el procesamiento y análisis de información .....	39
<b>CAPÍTULO V : RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
5.1 Resultados.....	40
5.1.1 Levantamiento Topográfico .....	40
5.1.2 Batimetría.....	42
5.1.3 Característica de los suelos .....	43
5.1.4 Estudio de cuencas .....	44
5.1.5 Período de retorno.....	47
5.1.6 Estudio hidrológico análisis de estaciones.....	47

5.1.7 Verificación de hipótesis en las series estadísticas básicas .....	50
5.1.8 Análisis estadístico serie de datos .....	52
5.1.9 Prueba ajuste de Bondad .....	53
5.1.10 Determinación Hietograma de diseño .....	55
5.1.11 Determinación caudal de Diseño 140 años .....	57
5.1.12 Transporte de Sedimentos .....	66
5.1.13 Modelamiento hidrodinámico río Shisho .....	67
5.1.14 Rectificación de cauce río Shisho .....	72
5.1.15 Análisis de costo rectificación de cauce.....	83
5.1.16 Pérdidas económicas producidas por el Fenómeno del Niño.....	86
5.2 Análisis de resultados .....	89
5.3 Constatación de Hipótesis.....	94
CONCLUSIONES .....	95
RECOMENDACIONES.....	96
REFERENCIAS.....	97
ANEXOS .....	99
Anexo A: Matriz de Operacionalización de las variables.....	99
Anexo B: Matriz de consistencia .....	100
Anexo C: Planos .....	101
Anexo D: Análisis de precios .....	106
Anexo E Permiso de la empresa para el uso de información.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista de colapso de la panamericana y alcantarilla existente.....	3
Figura 2. Solución de emergencia instalación de puente modular .....	4
Figura 3 Vista panorámica Puente Coishco.....	5
Figura 4 Gráfico de ubicación de la zona de la investigación .....	7
Figura 5. Imagen satelital de la ubicación de la investigación .....	7
Figura 6 Tipos de mediciones topográficas .....	12
Figura 7 Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS .....	13
Figura 8 Sistema de clasificación de suelos.....	14
Figura 9 Análisis de Sedimentos .....	15
Figura 10 Período de retorno vs Vida útil de diseño .....	20
Figura 11 Hidrograma Unitario Triangular SCS .....	21
Figura 12 Hidrograma Unitario Triangular SCS .....	22
Figura 13 Número de curva CN.....	24
Figura 14 Flujo de energía.....	28
Figura 15 Flujo de trabajo primera etapa.....	37
Figura 16 Flujo de trabajo segunda etapa .....	38
Figura 17 Flujo de trabajo tercera etapa .....	38
Figura 18. Resolución espacial de foto Aérea .....	42
Figura 19. Levantamiento topográfico Batimétrico.....	43
Figura 20 Curva Granulométrica .....	44
Figura 21 Delimitación de Cuenca .....	45
Figura 22 Ubicación Estación Pariacoto.....	47
Figura 23 Ubicación Estación Pariacoto UTM.....	48
Figura 24 Precipitaciones máximas en 24 horas (mm), Estación Pariacoto .....	50
Figura 25 Gráfico de precipitaciones.....	52
Figura 26 Función Distribución de probabilidad Log Pearson III.....	54
Figura 27 Curvas de distribuciones adimensionales SCS.....	57
Figura 28 Imagen de cobertura vegetal.....	58
Figura 29 Mapa Asignación de Curva Número (CN).....	58
Figura 30 Identificación nivel de agua .....	60
Figura 31 Modelo HEC RAS Planta calibración .....	60
Figura 32 Modelo HEC RAS Planta calibración .....	61

Figura 33 Vista aguas arriba modelo calibración marco 3x2m .....	61
Figura 34 Vista aguas abajo modelo calibración marco 3x2m.....	62
Figura 35 Salida Hec - Ras Modelo evento 2017 .....	63
Figura 36 Modelo HEC - HMS cuenca río Shisho .....	65
Figura 37 Reporte HEC - HMS cuenca río Shisho.....	65
Figura 38 Reporte caudales de tormenta HEC-HMS.....	66
Figura 39 Regiones Coeficiente de Manning .....	68
Figura 40 Modelo Hec Ras 2D .....	69
Figura 41 3D View modelo 2D Hec Ras .....	69
Figura 42 3D View modelo 2D Hec Ras Caudal Máximo .....	70
Figura 43 Vista en planta zona de inundación caudal máximo 140 años.....	71
Figura 44 Vista perfil del nivel máximo de agua con un caudal máximo 140 años.....	71
Figura 45 Vista perfil de la sección de la sección cruce con la panamericana.....	72
Figura 46 Sección modificada 60 m de ancho de base cauce del río.....	73
Figura 47 Topografía modificada 60 m de ancho de base .....	74
Figura 48 Modelo Hec Ras 2D cauce modificado 60m.....	74
Figura 49 Resultado modelos Hec Ras 2D cauce modificado 60m.....	75
Figura 50 Perfil del nivel de agua máximo estimado (NAME) cauce modificado 60m	76
Figura 51 Resultado (NAME) Eje del puente cauce modificado 60m .....	77
Figura 52 Resultado (NAME)aguas abajo del puente cauce modificado 60m.....	77
Figura 53 Resultado velocidades máximas cauce modificado 60m .....	78
Figura 54 Sección modificada 60 m de ancho. ....	79
Figura 55 Sección modificada 90 m de ancho. ....	79
Figura 56 Topografía modificada 90 m y 60 metros de ancho de base .....	79
Figura 57 Modelo Hec Ras 2D cauce modificado 90m y 60m.....	80
Figura 58 Resultado modelos Hec Ras 2D cauce modificado 60m y 90m.....	81
Figura 59 Perfil del nivel de agua máximo estimado (NAME) cauce modificado 90m	81
Figura 60 Resultado (NAME)Eje del puente cauce modificado 60m .....	82
Figura 61 Resultado (NAME)aguas abajo del puente cauce modificado 90m.....	82
Figura 62 Resultado velocidades máximas cauce modificado 90m .....	83
Figura 63 Red vial nacional carreteras dañadas por el FEN.....	87
Figura 64 Programa de puentes según departamento .....	88
Figura 65 Puente modular Coishco.....	89
Figura 66 3D view Resultado modelamiento ancho estable.....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas de ubicación UTM zona 17s .....	8
Tabla 2	Coefficiente de compacidad.....	16
Tabla 3	Rangos del factor forma.....	17
Tabla 4	Tamaño de muestra.....	19
Tabla 5	Grupos Curva CN .....	23
Tabla 6	Valores de “n”.....	25
Tabla 7	Factor de K1 .....	29
Tabla 8	Coordenadas geodésicas .....	40
Tabla 9	Coordenadas Cartesianas .....	41
Tabla 10	Coordenadas UTM.....	41
Tabla 11	Coordenadas puntos de Control de Orden C .....	41
Tabla 12	Análisis Granulométrico .....	43
Tabla 13	Información Cartográfica.....	45
Tabla 14	Características de la Cuenca .....	46
Tabla 15	Parámetros geomorfológicos sub cuencas .....	46
Tabla 16	Tiempo de concentración.....	47
Tabla 17	Estación pluviométrica .....	48
Tabla 18	Precipitaciones máximas en 24 horas (mm), Estación Pariacoto .....	49
Tabla 19	Análisis de datos atípicos.....	50
Tabla 20	Análisis estadístico de datos hidrológicos – estación Pariacoto .....	52
Tabla 21	Resultados del Test Kolmogorov-Smirnov .....	53
Tabla 22	Precipitaciones máximas en 24 horas según la distribución Log Pearson III..	54
Tabla 23	Precipitaciones máximas corregidas.....	55
Tabla 24	Hietogramas adimensionales de tormenta típicas 24 horas .....	56
Tabla 25	Número de Curva ponderado en condición normal, húmeda .....	59
Tabla 26	Caudales para la calibración del modelo .....	63
Tabla 27	Número de curva Calibrado.....	64
Tabla 28	Tiempo de Retardo hidrograma Snyder.....	64
Tabla 29	Transporte de sedimentos 140 años .....	67
Tabla 30	Asignación Coeficiente de Manning .....	68
Tabla 31	Ancho de equilibrio o estable del río.....	73
Tabla 32	Movimiento de tierras para la rectificación de cauce .....	83

Tabla 33 Metrados rectificación de cauce .....	85
Tabla 34 Presupuesto rectificación de cauce .....	86
Tabla 35 Resultado partículas del cauce .....	90

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo general el análisis hidrodinámico del río Shisho para la rectificación del cauce y evitar desbordes e inundaciones. La metodología aplicada fue no experimental con enfoque mixto descriptivo. Para el levantamiento topográfico se empleó vuelo con el equipo drone Phantom 4. Mientras que, en la hidrología se utilizó una serie histórica de 42 años de la estación meteorológica Pariacoto. El caudal de escorrentía del río Shisho se determinó mediante el modelo hidrológico SCS y Snyder implementado en el HEC –HMS 4.11. Las características hidrodinámicas del río Shisho fueron obtenidas mediante los softwares Civil 3D, ArcGis 10.4.1, HECRAS, así como la rectificación del mismo. El cauce existente tiene un ancho promedio de 20 m y partículas de sedimentos de 2.5 mm, la cuenca en estudio tiene un área de 282.82 km<sup>2</sup>, se analizó para un período de retorno de 140 años donde se determinó un caudal máximo de 280.3 m<sup>3</sup>/s. Se realizó el modelo hidrodinámico del río en su condición existente resultando un nivel máximo de agua de 8.73 metros. siendo la cota de fondo del cauce de 2.40 metros con una profundidad de cauce entre 4 y 6 metros, con un área de inundación de 80 metros de ancho. Se determinó un ancho estable de 60 y 90 metros en dos tramos del cauce reduciendo el nivel de agua a una cota de 5.03 metros, el cual evito el desborde del río. Se calculó el valor económico del encauzamiento que mitigara perdidas mayores.

*Palabras clave:* hidráulica, hidrodinámica, rectificación de cauce, hidrología, obras de protección.

## **ABSTRACT**

The general objective of the research was the hydrodynamic analysis of the Shisho River for channel rectification to prevent overflows and floods. The methodology employed was non-experimental with a descriptive mixed approach. A topographic survey was carried out using a Phantom 4 drone. In hydrology, a 42-year historical dataset from the Pariacoto weather station was utilized. The runoff flow of the Shisho River was determined using the SCS and Snyder hydrological model implemented in HEC-HMS 4.11. The hydrodynamic characteristics of the Shisho River were obtained using software such as Civil 3D, ArcGIS 10.4.1, HEC-RAS, as well as the channel rectification itself. The existing channel has an average width of 20 meters and sediment particles of 2.5 mm. The study area covers 282.82 km<sup>2</sup> and was analyzed for a 140-year return period, resulting in a maximum flow of 280.3 m<sup>3</sup>/s. A hydrodynamic model of the river in its current condition was conducted, resulting in a maximum water level of 8.73 meters, with the channel bottom elevation at 2.40 meters and a channel depth ranging from 4 to 6 meters, and a floodplain width of 80 meters. An optimal channel width of 60 and 90 meters was determined in two segments, reducing the water level to 5.03 meters, which prevented the river from overflowing. The economic value of the channelization, which would mitigate potential losses, was calculated.

*Keywords:* Hydraulic, Hydrodynamics, Channel rectification, Hydrology, flood protection works

## INTRODUCCIÓN

El cauce del río Shisho durante el fenómeno del niño del 2017 en el distrito de Coishco registro inundaciones y desborde del río debido a las altas precipitaciones producidas durante el periodo de lluvias, generando el cierre de la vía panamericana, daños a infraestructuras existentes, terrenos de cultivos y pérdidas económicas.

La presente investigación tiene como objetivo principal el análisis hidrodinámico del río Shisho, determinar la condición necesaria para rectificar su cauce y evitar inundaciones y desbordes del río en el distrito de Coishco, para ello se determinó el ancho estable del cauce y se realizó el modelo hidrodinámico que permitió mantener los flujos producidos por altas precipitaciones en el cauce deseado.

En el capítulo I se presenta la descripción del problema general. Formulando los objetivos generales y específicos. También se describe la delimitación, justificación e importancia de la investigación.

En el capítulo II describe los antecedentes de la investigación, fundamentos teóricos, describiendo la estructura científica y teórica para el entendimiento de los procesos que se ejecuten.

En el capítulo III plantea la hipótesis general e hipótesis específicas que serán verificadas con los resultados. Presentado la variable dependiente e independiente y su relación entre ellas.

En el capítulo IV se describe la metodología indicando el tipo, nivel y diseño de la investigación. Se presenta la población y muestra, técnicas e instrumentos y la presentación de los procesos de datos recolectados.

En el capítulo V se describen los resultados de la investigación, el análisis hidrodinámico, la rectificación del cauce, la constatación de hipótesis y los costos económicos de la implementación del ancho estable del río.

Al final del documento se presentan las conclusiones y recomendaciones sobre la rectificación del cauce del río Shisho.

## **CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción del problema**

La influencia de fenómenos naturales y actividades humanas los lechos de los cauces naturales experimentan cambios tanto naturales como artificiales. Vázquez (2017) en su tesis de investigación indica que es común que los cauces naturales se estrechen, ya sea debido a condiciones naturales o a la colocación de estructuras como puentes y presas, que actúan como obstáculos al ser construidas sobre el lecho natural y desviar el flujo del agua. Estos cambios pueden ser causados tanto por la acción de la naturaleza como por la intervención humana.

Cabrera et al. (2016) describe que los ríos desempeñan un papel esencial en el progreso social, económico y cultural de las áreas que los rodean. Sin embargo, debido al desarrollo de las grandes ciudades, los ríos han adquirido una función que difiere de su naturaleza original, convirtiéndose en lugares utilizados principalmente para desechar aguas residuales y el exceso de escorrentía de las zonas urbanas. Esta situación tiene un impacto inmediato en la capacidad de los ríos para gestionar el flujo del agua, comprometiendo su funcionamiento adecuado. La política actual de expansión urbana requiere intervenir los ríos con el objetivo de aumentar su velocidad y capacidad de evacuación. Sin embargo, esto presenta limitaciones en función del grado de ocupación del cauce por parte de la expansión urbana y los costos asociados con la ampliación de la infraestructura.

En el tramo de estudio, la pendiente promedio del cauce es del 0.7%. El río Shisho tiene una variación altimétrica que va desde los 200.0 metros sobre el nivel del mar (en el Puente Coishco) hasta llegar a nivel del mar en su desembocadura en el océano Pacífico, al norte de la bahía de Chimbote en las costas de Perú. El río Shisho tiene un cauce estrecho, con un ancho que varía entre 10 metros durante la temporada seca y alcanza los 35 metros durante las crecidas. El cauce del río forma una pronunciada curva hacia la izquierda y pasa junto a una fábrica ubicada en la margen derecha, la cual ha estado presente desde el año 2003 hasta la actualidad. En la margen izquierda del puente, hay otra fábrica que se encuentra en malas condiciones estructurales debido a la socavación causada por el estrechamiento del cauce del río Shisho.

Este río funciona como un canal de drenaje para el riego, recibiendo agua adicional de riego en ambos lados. Incluso durante la temporada seca, todavía hay un flujo de agua lento. El agua proviene de un canal principal del proyecto CHINECAS, que lleva agua del río Santa. Debido a este flujo constante, ha crecido una vegetación llamada carrizos

en el río, con una altura de 2 metros, que ocupa gran parte del cauce. El río Shisho ocasionalmente recibe aportes de flujos de quebradas secas que solo se activan durante eventos extraordinarios, como el Fenómeno El Niño Costero en 2017.

Al explorar la parte central de la cuenca, se pueden observar indicios de que el cauce del río no tiene la capacidad suficiente para soportar las crecidas de estos eventos extraordinarios debido al aporte de quebradas inactivas a la cuenca. Esto se evidencia en fotografías, noticias e imágenes de Google Earth que muestran diversos puntos de desbordamiento que afectan principalmente a los terrenos agrícolas cercanos al río.

La figura 1 muestra cómo la alcantarilla existente fue insuficiente para conducir el caudal del río Shisho, y su desborde ha provocado la pérdida total de la carretera panamericana norte.

### **Figura 1**

*Vista de colapso de la panamericana y alcantarilla existente*



*Nota.* Andina Noticias (2017)

La Figura 2 muestra la solución de emergencia instalada en la vía panamericana norte por parte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para dar transitabilidad a la carretera, se observa el daño causado por el caudal del río Shisho además de haber colapsado la alcantarilla y destruir la parte de la plataforma de la carretera se muestra la erosión de la ribera del río afectando propiedades privadas asentadas en el margen del río.

## Figura 2.

### *Solución de emergencia instalación de puente modular*



*Nota.* Andina Noticias (2017)

El aumento del caudal durante las épocas de lluvia y el fenómeno del niño costero ha generado el inicio de procesos de erosión, socavación, desborde e inundaciones sobre la carretera de la vía Panamericana Norte y próximos al poblado de Coishco. Como resultado de estos, se presenta el estrechamiento y modificación del cauce, generando condiciones hidrodinámicas antrópicas al río.

Las consecuencias del no reducir o mitigar el problema; la solución de emergencia y las viviendas o predios colindantes podrían volver a verse afectados por el caudal del río Shisho, generando pérdidas económicas por el cierre de la vía Carretera Panamericana Norte, destrucción y afectación de propiedades privadas.

La Figura 3 muestra cómo luego de haber instalado el puente modular el 2017, las empresas y pobladores asentados en la margen del río han recuperado sus terrenos e invadido nuevamente la ribera del río reduciendo su sección hidráulica y modificando su cauce natural. Al principio de ese mismo año en el cauce del río Shisho se encontraba ubicada una alcantarilla tipo Marco de dimensiones de 3.00 m. x 2.00 m. Sin embargo, esta alcantarilla fue destruida por el evento del Fenómeno del Niño Costero en marzo de 2017.

### **Figura 3**

*Vista panorámica Puente Coishco.*



*Nota.* estudio definitivo reemplazo puente Coishco 2021

## **1.2 Formulación del problema**

### ***1.2.1 Problema General***

¿Cuáles son las condiciones hidrodinámicas del río Shisho con la rectificación del meandro en el puente Coishco que reduce el riesgo de inundaciones?

### ***1.2.2 Problemas específicos***

- ✓ ¿Cuáles son las condiciones topográficas y características de los sedimentos que se transportan en el meandro del Puente Coishco del río Shisho?
- ✓ ¿Cuáles son las características hidrodinámicas del río Shisho en el meandro del puente Coishco?
- ✓ ¿Cuáles son los parámetros técnicos y económicos para la rectificación del meandro del puente Coishco?

## **1.3 Objetivo general y específico**

### ***1.3.1 Objetivo General***

Realizar el análisis hidrodinámico del río Shisho en el meandro del puente Coishco para la rectificación del cauce por inundaciones

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- ✓ Realizar el levantamiento topográfico en el meandro del Puente Coishco y caracterización de sedimentos.
- ✓ Realizar el análisis hidrodinámico del río Shisho en el meandro del puente Coishco
- ✓ Determinar la rectificación del meandro del Puente Coishco, aspectos técnicos y económicos para su construcción

## **1.4 Delimitación del estudio**

### ***1.4.1 Delimitación temporal***

La investigación se realizará desde el mes de mayo del 2023 al mes de noviembre del mismo año aproximadamente 6 meses.

### ***1.4.2 Delimitación espacial***

Se ubica en el distrito de Chimbote, provincia de Coishco, departamento de Ancash, específicamente en la carretera en la Red Vial Nacional, Ruta PE-1N en el Tramo de Pativilca – Santa – Trujillo. El puente se encuentra en la progresiva 443+000 como se presenta en la Figura 4 y 5.

**Figura 4**

*Gráfico de ubicación de la zona de la investigación*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 5.**

*Imagen satelital de la ubicación de la investigación*



*Nota.* Google Earth

En la tabla 1 se presentan las coordenadas en el sistema Universal Transversal Mercator (UTM) de inicio y fin del tramo del río Shisho evaluado.

**Tabla 1**

*Coordenadas de ubicación UTM zona 17s*

Punto	Este	Norte
Inicio	761,280	9,002,523
Fin	762,068	9,003,077

*Nota.:* Propia

### ***1.4.3 Delimitación Temática***

La investigación “Análisis hidrodinámico del río Shisho en el meandro del puente Coishco para la rectificación del cauce por inundaciones” corresponde a la especialidad de hidráulica. En el meandro del puente Coishco 500 metros aguas abajo y 400 metros aguas arriba para su rectificación cerca al centro poblado de Coishco departamento de Ancash.

## **1.5 Justificación e Importancia de la investigación**

### ***1.5.1 Justificación práctica***

Se plantea como justificación práctica el correcto encauzamiento del meandro del Puente Coishco en el río Shisho para evitar las inundaciones en la zona. En efecto se proporcionará un documento científico que avale cada uno de los procesos que involucran la rectificación del río. En tal sentido, se queda plasmado a partir de planos, guías, tablas, figuras y modelos matemáticos los resultados de la topografía, hidrología, hidráulica, estructura y viabilidad económica ambiental de cómo proceder la rectificación del meandro.

Al respecto proporcionará al puente Coishco un aumento de la vida útil por condiciones hidrodinámicas a los estribos del mismo. Además de disminuir el riesgo de inundaciones próximas al cauce del río.

### ***1.5.2 Justificación social***

La rectificación del cauce se beneficiarán las empresas 4 empresas productoras de conservas de pescados, 16.67 hectáreas de zonas agrícolas, 17 viviendas asentadas sobre el cauce del meandro del río Shisho y una población de 15,979 personas que habitan en el distrito de Coishco que no se verían afectadas por el cierre de vías, las cuales son afectadas en períodos de máximas avenidas por inundaciones, erosión, socavación.

Prevenir el colapso del puente proyectado en la vía nacional PE-1N donde actualmente circulan más de 6000 vehículos por día (Nota. Estudio de Tráfico puentes por reemplazo Ancash Estudio 1), el cual durante el evento ocurrido en el 2017 generó un cierre de la vía de 6 días dejando incomunicada a la zona norte del país.

Esta investigación contribuirá al correcto flujo del cauce río Shisho sobre el meandro del puente Coishco en épocas de máximas avenidas esto permitirá que las poblaciones con influencia directa e indirecta de la vía tengan plena satisfacción del funcionamiento de la vía.

### ***1.5.3 Justificación económica***

El costo para la rectificación del cauce del meandro del puente Coishco en el río Shisho será de aproximadamente 5 millones de soles. Sin embargo, la no rectificación del río considerando los antecedentes previos se podría tener un gasto mayor como lo describe Lozada (2017) ya que solo en Ancash debido al niño costero del 2017 generando pérdidas de 1171 millones.

## CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

### 2.1 Investigaciones relacionadas

#### 2.1.1 Investigaciones internacionales:

Gómez y López (2019) realizó la tesis titulada “Determinación de la cota de inundación del río Arauca en la vereda Barrancones, municipio de Arauca mediante un modelo hidrodinámico”. Tesis profesional: Universidad Católica de Colombia. El investigador determinó a través de un modelo hidrodinámico la altura máxima de agua para un período de lluvias de 100 años, esto le permitió identificar a través de mapas los niveles de riesgos de inundación, asignado rangos de altura de nivel de agua en la rivera de barracones en el municipio de Arauca para disminuir las consecuencias producto de las inundaciones. La modelación 2D le permitió un análisis de flujo de inundación y el caudal en el cauce principal se debió tener en cuenta en la investigación un análisis de rectificación de cauce o ancho estable para mitigar los efectos de la inundación.

Guamán y Serpa (2020) realizó la tesis titulada “Aplicación de un modelo hidrodinámico bidimensional para evaluar zonas de inundación: caso del río Yanuncay en la ciudad de Cuenca – Ecuador”. Tesis profesional: Universidad Católica de Cuenca. Donde en el modelamiento en dos dimensiones en el software IBER se analizó la dinámica del agua en río Yanuncay puntualmente en el cauce próximo al puente de la avenida Loja, dando como resultados las áreas de drenaje e inundaciones para los diferentes períodos de lluvias. En la investigación los datos importantes para el modelo hidrodinámico fue la estimación de caudales para diferentes períodos de retorno y para la calibración del modelo fue la rugosidad del cauce e hidrogramas de crecida observados de distintos años obteniendo un buen ajuste del modelo según lo observado.

Fajardo y Sierra, (2021) realizó la tesis titulada “Análisis del efecto que tiene las formas de las pilas en el comportamiento hidrodinámico y en el transporte de sedimentos de fondo para un tramo del río Magdalena en el departamento de Bolívar - Colombia, mediante la modelación en IBER”. Tesis profesional: Universidad Católica de Colombia. El fin del investigador es determinar cómo se comporta la hidrodinámica del río y el transporte de sedimentos según la forma de los pilares de los puentes u objetos que puedan presentarse como obstáculos en el cauce del río, eso se hizo a través de modelo en el software IBER modelando principalmente la forma rectangular y circular del pilar,

teniendo como resultados los cambios de velocidades y el transporte de sedimentos varía según la forma del pilar. Se demostró que existe mayor sedimentación en un pilar de forma cuadrada, sin embargo, no se tuvo en consideración los diferentes ángulos de ataque del cauce ya que se analizó una zona en particular.

### ***2.1.2 Investigaciones nacionales***

Álvarez y Márquez (2020), en su investigación “Análisis hidráulico e hidrológico de la cuenca del río Moquegua para el diseño de defensa ribereñas”. Tesis profesional de la Universidad Ricardo Palma, Lima – Perú. El principal objetivo fue el diseño de la defensa ribereña. Para el mismo planteo estudios básicos de la hidrología e hidráulica, así como estructural. La estructura hidráulica definida fue a partir entre el muro de gaviones y enrocado lo cual se eligió el muro enrocado por su viabilidad técnica económica y medio ambiental. Sin embargo, el análisis económico fue direccionado a los costos del material del muro enrocado, no considerando los costos de construcción y los costos de mantenimiento.

Moreno y Huamán, (2021), tuvo como investigación el “Análisis de sensibilidad hídrica y evaluación de riesgo por inundación de la quebrada Cansas”. Tesis profesional de la Universidad Ricardo Palma Lima – Perú. El objetivo principal fue evaluar los daños producidos por la inundación de la quebrada Cansas mediante un modelo de información geográfica e hidráulica. Determinó el nivel de riesgo se eleva de acuerdo al tipo de material que se encuentra en la quebrada como arenas eólicas y rocas de gran tamaño. El crecimiento urbano expropia el cauce de la quebrada sin tener en consideración los riesgos que esto implica. Se debe completar esta investigación con un análisis de ancho estable de cauce y transporte de material para identificar mayores riesgos por el incremento del caudal de la quebrada en épocas de altas precipitaciones.

Córdoba y Semanario (2022), realizaron una investigación sobre “Análisis Hidrodinámico del afluente del río Nanay para los mapas temáticos de inundación en el poblado Santo Tomás- Loreto”. Tesis profesional de la Universidad Ricardo Palma Lima – Perú. El objetivo principal es identificar las zonas de inundables del centro poblado Santo Tomas con la generación de mapas de inundación a través de un modelo hidrodinámico en diferentes períodos de retorno sobre el río Nanay ubicado en la región Loreto. Del modelo matemático pudo obtener los mapas de inundaciones y que debido al

gran tamaño de la cuenca del río Nanay y por encontrarse en la región selva la cual presenta precipitaciones altas esta zona tiende a inundarse para los cuales se proponen estructuras que protejan y disminuyan los riesgos de inundaciones en el centro poblado de Santo Tomas. La investigación no contempla costos de mantenimiento de las estructuras a proyectar y el impacto que tendrán estas en el cauce del río Nanay.

## 2.2 Bases teóricas

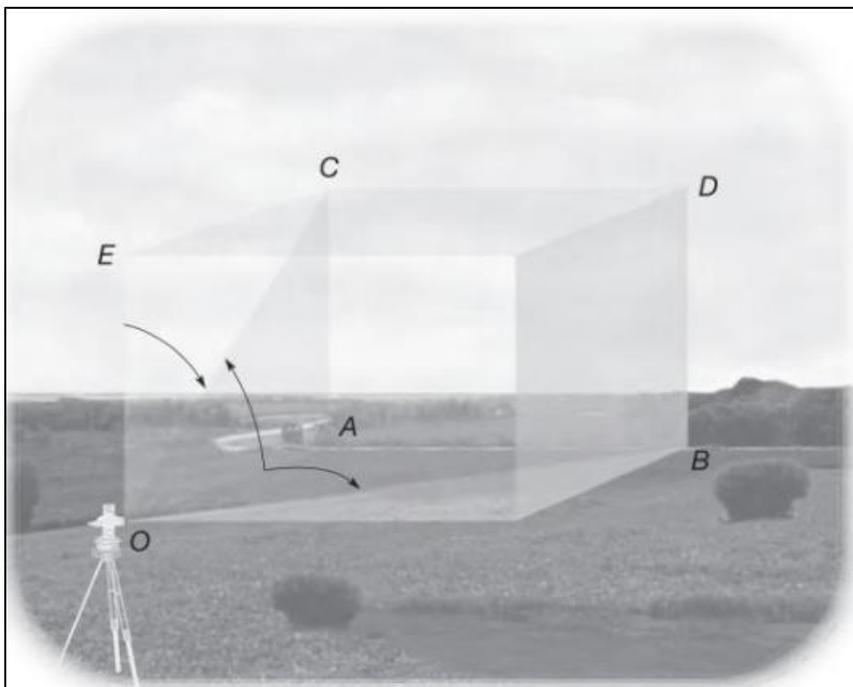
### 2.2.1 Topografía

Según Wolf y Ghilani (2015), la topografía designada como geomática de manera alterna, se define como el arte, la ciencia y la tecnología para ubicar la posición relativa de puntos sobre el terreno. Campo de la ingeniería que comprende todas las formas de obtener datos físicos de la tierra y del medio, la resultante de esta información será una superficie gráfica que represente el entorno en estudio.

Para las unidades de medición topográfica son la longitud, área, volumen y ángulo como se describe en la figura 6:

#### Figura 6

*Tipos de mediciones topográficas*



*Nota.* Wolf y Ghilani, (2015).

### 2.2.2 Clasificación de suelos

La metodología para la clasificación de suelos actualmente utilizada es el “sistema unificado de clasificación de suelos” y el “sistema de clasificación AASHTO”, de acuerdo a la figura 7 y 8 (Villalobos , 2016):

**Figura 7**

*Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS*

DIVISIÓN	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO				SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO				
<b>SUELO DE PARTICULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es RETENIDO en la malla número 200	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es RETENIDA por la malla Nº4.	GRAVAS LIMPIAS (poco o nada de partículas finas)		Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios	<b>GW</b>	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos	<b>FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA Nº 200</b> Menos del 5% : GW, GP, SW, SP. Más de 12% : GM, GC, SM, SC. De 5% al 12% : Casos de frontera se requiere el uso de símbolos dobles.	Coefficiente de uniformidad Cu : mayor de 4    Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 $Cu = D_{60}/D_{10}$ ; $Cc = (D_{30})^2/D_{10}D_{60}$			
		GRAVAS CON partículas apreciables de partículas finas)		Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos intermedios.	<b>GP</b>	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		No satisfacen todos los requisitos de gradación para GW.			
		GRAVAS CON partículas apreciables de partículas finas)		Fracción fino poco o nada plástica (para identificarla véase grupo Mt)	<b>GM</b> <span style="background-color: yellow;">d</span> <span style="background-color: lightgreen;">u</span>	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		<b>Debajo de "A"</b> I.P. menor que 4 <b>Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7</b> casos de frontera, uso de símbolos dobles.			
		GRAVAS CON partículas apreciables de partículas finas)		Fracción fina plástica (para identificarla véase grupo CL)	<b>GC</b>	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		<b>Arriba de "A"</b> I.P. mayor que 7			
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa PASA por la malla Nº4.	ARENAS LIMPIAS (poco o nada de partículas finas)		Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios	<b>SW</b>	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		Coficiente de uniformidad Cu : mayor de 6    Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 $Cu = D_{60}/D_{10}$ ; $Cc = (D_{30})^2/D_{10}D_{60}$			
		ARENAS CON partículas apreciables de partículas finas)		Predominio de un tamaño ó un tipo de tamaño, con ausencia de algunos intermedios.	<b>SP</b>	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos			No satisfacen todos los requisitos de gradación para SW.		
		ARENAS CON partículas apreciables de partículas finas)		Fracción fino poco o nada plástica (para identificarla véase grupo Mt)	<b>SM</b> <span style="background-color: yellow;">d</span> <span style="background-color: lightgreen;">u</span>	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.			<b>Debajo de "A"</b> I.P. menor que 4 <b>Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7</b> casos de frontera, uso de símbolos dobles.		
		ARENAS CON partículas apreciables de partículas finas)		Fracción fina plástica (para identificarla véase grupo CL)	<b>SC</b>	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.			<b>Arriba de "A"</b> I.P. mayor que 7		
<b>SUELO DE PARTICULAS FINAS</b> Más de la mitad del material PASA en la malla número 200	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA Nº 40				<b>SÍMBOLO</b>	<b>NOMBRES TÍPICOS</b>	<b>CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO</b>  G = gravas, M = limo, O = orgánicos, W = bien gradadas, S = arenas, C = arcilla, P = mal gradado, L = baja compresibilidad, H = alta compresibilidad.				
	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LÍMITE LIQUIDO menor de 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (característica al reempimento)	MOVILIDAD DEL AGUA (reacción al agitado)	TENACIDAD (consistencia cerca del límite plástico)					<b>ML</b>	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	
		Nula o ligera	Rápida alenta	Nula					<b>CL</b>	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LÍMITE LIQUIDO mayor de 50	Ligera a media	Lenta a muy lenta	Ligera a media					<b>OL</b>	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
		Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media					<b>MH</b>	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomeas, limos elásticos.	
	<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>	Alta a muy alta	Nula a muy lenta	Alta					<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.	
Media a alta		Nula a muy lenta	Ligera a media	<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.						
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>	Fácilmente identificable por su color, olor, sensación esponjosa y, frecuentemente, por su textura fibrosa.			<b>Pt</b>	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	<b>CARTA DE PLASTICIDAD</b> 					

Nota. Villalobos (2016)

**Figura 8**

*Sistema de clasificación de suelos*

General Classification	Gránular Materials (35% or less passing No. 200)						Silt-Clay Materials (More than 35% passing No. 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5: A-7-6	
Sieve analysis: Percent passing: No. 10 No. 40 No. 200	50 max 30 max 15 max	— 50 max 25 max	— 51 min 10 max	— — 35 max	— — 35 max	— — 35 max	— — 35 max	— — 36 min	— — 36 min	— — 36 min	— — 36 min
Characteristics of fraction passing No. 40: Liquid limit Plasticity index	— 6 max	— —	— NP	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min*
Group index	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General Rating as subgrade	Excellent to good						Fair to poor				

\*Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30.

*Nota.* AASHTO 1993

### 2.2.3 Transporte de Sedimentos

El transporte de sedimentos se puede dar mediante escorrentía superficial y por el trabajo del agua en el cauce de los ríos o quebradas. Se debe evaluar la capacidad de transporte del líquido y sólidos según las características de los sedimentos, para determinar el caudal de transporte de sólidos se realizará según las siguientes literaturas.

En la figura 9 se presentan las formulas empíricas para el cálculo de transporte de sedimentos.

## Figura 9

### Análisis de Sedimentos

Metodo y Fecha	Formula para $q_s$ (m <sup>2</sup> /s) ó $g_{BT}$ (kg/ms)	Comentarios
Colby (1984)	$g_{BT}^{máx} = 1.13 V^{3.326}$ $g_{BT}^{mín} = 0.46 V^{3.326}$	
Meyer-Peter & Müller (1948)	$\left(\frac{K_B}{K_G}\right)^{3/2} \frac{Rs}{D_{50}\Delta} = 0.047 + 0.25 \frac{q_s^{2/3}}{D_{50}\Delta^{1/3}g^{1/3}}$ $K_G = \frac{26}{D_{90}^{1/6}} \quad K_B = \frac{V}{d^{2/3}s^{1/2}}$	Meyer-Peter et al. (1934) desarrollaron en el laboratorio Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) de Zurich, Suiza, una ecuación para el cálculo del transporte de fondo a partir de los experimentos realizados con gravas uniformes de 5,1 y 28,6 mm y con los datos de Gilbert (1914), una de las bases de datos más utilizada para obtener fórmulas de carga de fondo. Las modificaciones realizadas en la primera fórmula llevaron a Meyer-Peter y Müller (1948) a enunciar una segunda fórmula apoyada en más experimentos con material uniforme y de diferentes tamaños.
Shoklitsch (1950)	$g_{BT} = 2500s^{3/2}(q - q_c)$ $q_c = 0.26\Delta^{5/3}D_{40}^{3/2}s^{-1.17}$	Schoklitsch utilizó el caudal crítico en lugar de la tensión de arrastre para obtener su ecuación de transporte de fondo. Sus experimentos en el laboratorio con arenas de 1-2 mm y la serie de datos de Gilbert (1914) le permitieron desarrollar una primera fórmula en 1934. Esta fórmula fue mejorada con más experimentos y datos de ríos dando lugar a la fórmula de 1943
Engleund & Hansen (1967)	$g_{BT} = 0.05\gamma_s\rho V^2(\tau_c^*)^{3/2}\left[\frac{D_{50}}{g\Delta}\right]^{1/2}$ $\tau_c^* = \frac{\rho Rs}{(\gamma_s - \gamma)\rho D_{50}}$	Esta fórmula fue desarrollada por equiparar el trabajo realizado por las fuerzas de tracción a la energía potencial adquirida por las partículas de sedimento en movimiento. hasta el arroyo. La efectiva fuerza de tracción se relaciona con la carga total (Alonso et al, 1981). La fórmula no se recomienda para su uso en los casos en que la mediana del tamaño del sedimento es menos de 0,15 mm y la desviación estándar geométrica del tamaño de grano es mayor que dos. La fórmula fue desarrollado en los datos de grandes canales de flujo experimentales
Mizuyama & Shimohigashi (1985)	$\phi = \frac{q_s}{D_{50}^{3/2}\sqrt{g\Delta}} \quad \phi = 20 \frac{s^2}{\Delta^2} \frac{q}{\sqrt{g\Delta D_{50}^3}}$	Mizuyama (1981) a partir de datos de un canal de laboratorio de fuerte pendiente (entre 5 y 25%) en condiciones de tensión de corte muy superior a la tensión crítica de las partículas del lecho.
Einstein-Brown (1950)	$\phi = \frac{g_{BT}}{\gamma_s\rho F_1\sqrt{g\Delta D_{50}^3}}$ $\frac{1}{\psi} = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)D_{50}} = \tau_c^*$ $F_1 = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36V^2}{gD_{50}^3\Delta}} - \sqrt{\frac{36V^2}{gD_{50}^3\Delta}}$ $\phi = f\left(\frac{1}{\psi}\right)$	Esta fórmula se basa en los datos de aforados de sedimentos bien graduados. Los tamaños medios de los sedimentos estaban en el rango de 0,3 mm - 7 mm (sedimentos del río) para un conjunto de datos, y 28,6 mm de grava y 5,21 mm de mezcla de grava barita y carbón para otros conjuntos de datos (ASEE, 1975)

V: Velocidad media (m/s), s: Pendiente del cauce (m/m), R: Radio hidráulico (m), d: Tirante o calado (m), q: Caudal unitario (m<sup>2</sup>/s)  
D<sub>40</sub>,D<sub>50</sub>,D<sub>90</sub>: Diametros del sedimento (m),  $\gamma_s$ :Peso específico del sedimento,  $\gamma$ : Peso específico del agua,  $\rho$ : Densidad del agua (1000kg/m<sup>3</sup>)  
 $\Delta$ : Peso específico relativo del sedimento ( $\Delta=(\gamma_s-\gamma)/\gamma$ ), g: gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

Nota. García & Maza (1996).

#### 2.2.4 Morfología de la cuenca

Según Quiroga (2015) En el estudio de la forma de ríos; como son en apariencia física, y la estructura que no viene a ser la misma a lo largo de su trayectoria, la modificación del cauce, profundidad y caracteres del cauce

- **Área de la cuenca (A)**

Es el área de aporte pluvial delimitada por puntos elevados más alejados hacia la zona baja del cauce del río. (Ibáñez Asensio, 2015)

- **Perímetro de la cuenca (P)**

Se obtiene del borde de la superficie del área de aporte de la cuenta, por su irregularidad complica definir su geometría. (Villón, 2007).

- **Longitud del río principal (L)**

Según Cahuana (2009) se considera al curso del agua que se presenta desde la cabecera o salida de la cuenca hasta la desembocadura siendo medida como la proyección en un plano horizontal, en su trayecto se acumula con las otras corrientes siendo estas denominadas cauces secundarios.

- **Coefficiente de compacidad (Kc)**

Se determina según la siguiente ecuación. (Puelles Maza, 2015, pág. 33)

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P = Es el Perímetro de la cuenca (km).

Kc= Coeficiente de compacidad.

A = Es el área total de la cuenca en (km<sup>2</sup>).

Se describe la forma de la cuenta según los rangos de Gravelius. En la tabla 2 se indican los rangos del coeficiente de compacidad y forma de la cuenca.

**Tabla 2**

*Coeficiente de compacidad.*

Rango de clase (Kc)	Forma de cuenca
$1 < Kc \leq 1.25$	Oval redonda
$1.25 < Kc \leq 1.50$	Oval oblonga
$1.50 < Kc \leq 1.75$	Oblonga alargada
$>1.75$	Rectangular

*Nota.* Gaspari (2012).

- Factor de forma (Kf)

Factor de alargamiento de la cuenca obtenido a partir del área y la longitud de la cuenca y se caracterizan según el rango.

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

L = Longitud de cuenca

Kf = Factor de la forma

A = Área de la cuenca

La tabla 3 presenta los valores del factor de forma y forma de la cuenca.

**Tabla 3**

*Rangos del factor forma*

Factor de forma	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

*Nota.* Pérez (1979)

- Pendiente del cauce (s)

Puelles (2015), la diferencia de alturas entre los puntos más distantes de la cuenca medidos en forma horizontal

$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

Donde:

$\Delta H$  = Diferencia de cotas del cauce principal (m).

L = longitud horizontal (m).

### **2.2.5 Análisis estadístico de datos hidrológicos**

Se basa en definir la función de calidad de series históricas en precipitaciones particularmente. Además, se le añade como variable fundamental para la obra hidráulica

los modelos probabilísticos de acuerdo al período de retorno y otras funciones como plantea (Sáenz, 1999).

Para la confiabilidad de datos se deben utilizar:

#### a) Distribución log normal de dos parámetros

Sáenz (1999) define que la distribución log normal de dos parámetros es a partir de la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-\mu)^2}{s^2}\right), x > 0$$

Donde:

F(x) = función densidad normal de la variable x

Y = variable independiente.

$\mu$  = parámetro de localización

S = parámetro de escala.

#### b) Distribución Gumbel

Sáenz (1999) la función de densidad permite obtener valores extremos se usa para predecir los valores máximos y mínimos:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[\frac{-(x-\beta)}{\alpha} - \exp\left(\frac{-(x-\beta)}{\alpha}\right)\right]$$

#### c) Distribución Gumbel

Sáenz (1999), es una función asimétrica de variables positivas y se presenta en la siguiente fórmula.

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

Parámetros:

Forma:  $a = x/b > 0$

Escala:  $b = s^2/x > 0$

#### d) Distribución Gamma 3 parámetros o Pearson tipo 3

Según Sáenz (1999) la función de densidad permite obtener valores extremos se usa para predecir los valores máximos y mínimos:

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha|\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-\hat{x}_0}{\alpha}\right) \exp\left(-\frac{x-\hat{x}_0}{\alpha}\right)$$

Donde:

$x_0 \leq x < \alpha$  para  $\alpha > 0$ .

$\alpha < x \leq x_0$  para  $\alpha > 0$ .

$\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de escala y forma, respectivamente, y  $x_0$  es el parámetro de localización.

#### e) Prueba de Kolmogorov – Smirnov

Sáenz (1999) comprobación del ajuste de bondad de las funciones de distribución realizadas, se utilizará la mejor función entre mayor dato absoluto obtenido de la diferencia D.

$$D = \text{máx} / F_0(x_m) - F(x_m)$$

La función se calcula como:

$$F_0(x_m) = 1 - m/(n + 1)$$

m = orden del dato

$x_m$  = Numeración de mayor a menor

n = total de datos.

La tabla 4 presenta los valores de confiabilidad según el tamaño de la muestra para la prueba de ajuste de bondad

**Tabla 4**

*Tamaño de muestra.*

Tamaño de la muestra	$\alpha=0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.3	0.34	0.4
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.2	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

*Nota.:* Sáenz, 2019

### 2.2.6 Caudales máximos

Es el caudal calculado a partir del período de retorno según el riesgo asignado al análisis estadístico para la serie de datos hidrométricos del área en estudio. Es un dato principal para determinar las características hidrodinámicas del tramo del río en evaluación para cuencas de áreas pequeñas se puede utilizar métodos racionales, para cuencas superiores se utilizó el hidrograma unitario o hidrogramas sintéticos.

### Período de retorno

Chow (1993), es el cálculo para determinar el riesgo para un tiempo determinado dependiendo de la vida de la estructura a proyectar bajo la premisa de una falla admisible según los factores económicos, técnicos ambientales, sociales.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

R = Riesgo

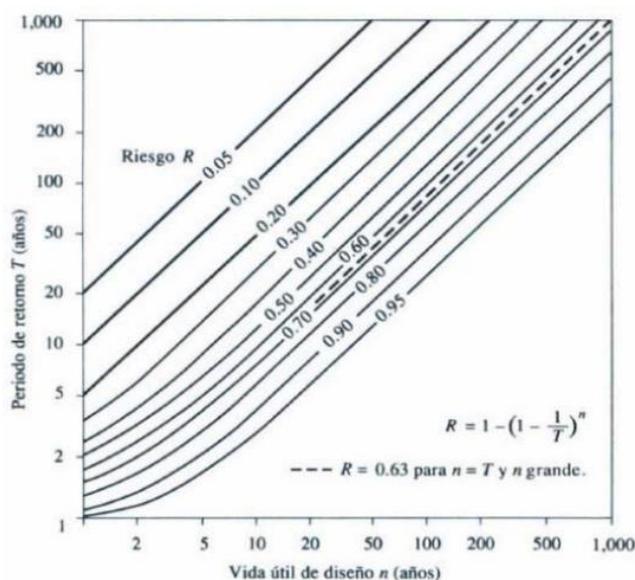
n = vida útil del proyecto

T = Período de retorno

Chow (1993), presenta un gráfico donde da valores del periodo de retorno en función al riesgo y la vida útil del proyecto el cual se presenta en la figura 10.

### Figura 10

*Período de retorno vs Vida útil de diseño*



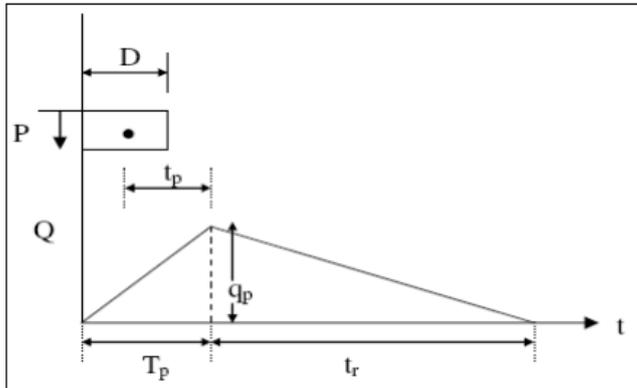
Nota: Chow, M. (1993).

### (a) Hidrograma sintético triangular

Chow (1994), es un método para cuencas menores a 30 km<sup>2</sup>. Se utiliza para cuantas con poca información hidrológica como se presenta en la figura 11:

**Figura 11**

*Hidrograma Unitario Triangular SCS*



*Nota.* Chow (1994)

El tiempo de recesión,  $t_r$ , puede aproximarse a

$$t_r = 1.67T_p$$

Donde se puede demostrar que:

$$q_p = \frac{2.08A}{T_p}$$

Donde:

A = área de drenaje en km<sup>2</sup>

T<sub>p</sub> = tiempo de ocurrencia pico en horas

### (b) Hidrograma sintético de Snyder

Snyder (1958) define al hidrograma unitario como la relación entre la duración de la lluvia y el retardo de la cuenca según las siguientes fórmulas

$$t_p = 5.5t_r$$

El retardo de la cuenca se da por

$$t_p(\text{hr}) = 0.75Ct(L * L_c)^{0.3}$$

Donde:

L = longitud de cauce (km)

L<sub>c</sub> = longitud del cauce al centro de gravedad (km)

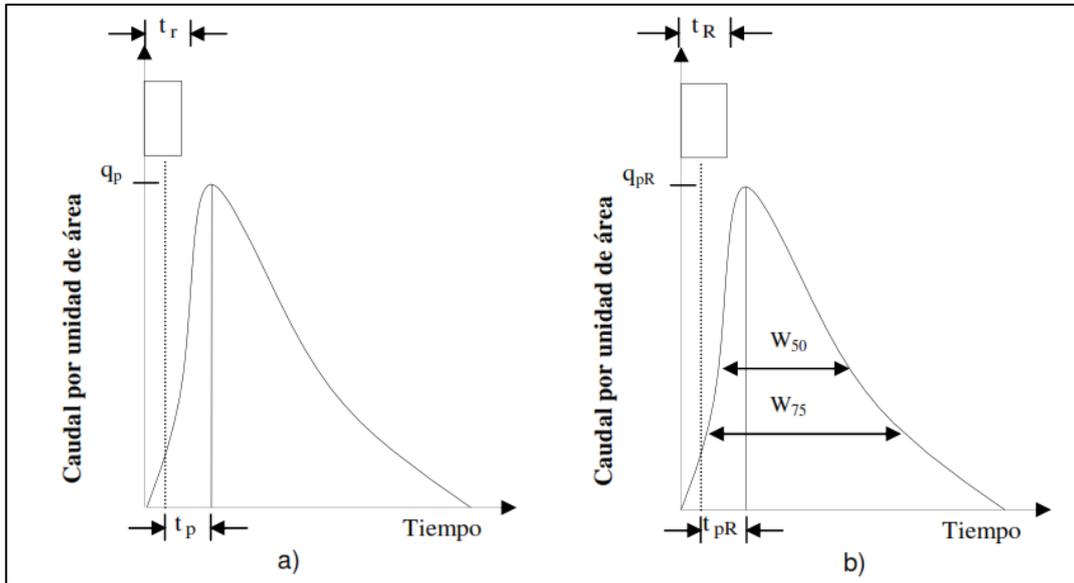
El caudal por unidad de drenaje del hidrograma unitario es:

$$q_p = \frac{2.75C_p}{t_p}$$

En la figura 12 se muestra el hidrograma unitario de Snyder

**Figura 12**

*Hidrograma Unitario Triangular SCS*



Nota. Chow (1994)

### Tiempo de concentración (Tc)

Es el recorrido del agua desde su ubicación más lejana hasta la zona de descarga de la cuenca; depende de la pendiente de la cuenca y la longitud de la misma. Alanya, (2017).

### Bransby-Williams

$$T_c: \frac{L}{1.5 * D} * \sqrt[5]{\frac{M^2}{F}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (horas).

L = Longitud de inicio a fin (km).

D = Diámetro del círculo de área equivalente a la superficie (km<sup>2</sup>).

M = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

F = Pendiente media del cauce principal (%).

## Fórmula SCS

$$T_c = \frac{4.3611 * L^{0.88} * \left[ \frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7}}{1900 * S^{0.5}}$$

T<sub>c</sub>= Tiempo de concentración en horas.

L= Longitud del curso principal en metros.

S= Pendiente a lo largo del cauce en porcentaje.

CN = Número de curva del SCS.

El Soil Conservation Service (1972) indica que el uso del presente método debe utilizar un valor CN (curva número) el cual debe ser calibrado. Utilizando información de campo y eventos disponibles de precipitación y caudales.

El Soil Conservation Service para el cálculo del CN se debe tener en cuenta el grupo de suelo hidrológico como se describe en la Tabla 5.

**Tabla 5**  
*Grupos Curva CN*

Grupo	Descripción
Grupo A	(Bajo potencial de escurrimiento). Suelos que tienen altas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de arenas y gravas profundas, con bueno a excesivo drenaje. Estos suelos tienen altas velocidades de transmisión del agua.
Grupo B	Suelos con moderada velocidad de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos con cantidades moderadas de texturas finas y gruesas, con drenaje medio y algo profundo. Son básicamente suelos arenosos.
Grupo C	Suelos que tienen bajas velocidades de infiltración cuando están mojados, consisten principalmente de suelos que tienen un estrato que impide el flujo del agua, son suelos con texturas finas. Estos suelos tienen bajas velocidades de transmisión.
Grupo D	(Alto potencial de escurrimiento). Suelos que tienen muy bajas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos arcillosos con alto potencial de hinchamiento, suelos con nivel freático alto y permanente, suelos con estratos arcillosos cerca de su superficie, o bien, suelos someros sobre horizontes impermeables. Estos suelos tienen muy bajas velocidades de transmisión del agua.

*Nota.* Soil Conservation Service (1972)

Para el Número de curva CN se puede utilizar los valores indicados en la figura 13 donde se da el valor de CN al suelo según el tipo de cobertura que presenta la cuenca.

**Figura 13**

*Número de curva CN*

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
C + T + CR	Buena	61	70	77	80	
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84	88
	R	Buena	63	75	83	87
	R + CR	Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
	C + CR	Buena	60	72	80	83
	C + T	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	59	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81
C + T + CR	Buena	58	69	77	80	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
C + T	Buena	51	67	76	80	
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	≤ 30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos en firme	-	-	74	84	90	92

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

*Nota.* Ponce (1989)

### Fórmula de Temez

$$TC = 0.3 * \frac{L^{0.75}}{(S^{0.25})^{0.75}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (horas).

L = Longitud de inicio a fin (km).

S = Pendiente media del lecho (m/m)

### Fórmula de Hathaway

$$Tc = \frac{0.66(L*n)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal (Km)

n: Factor de rugosidad

S: Pendiente (m/m)

La tabla 6 precisa los valores del factor de rugosidad que se debe asignar para calcular el tiempo de concentración en la fórmula de Hathaway

**Tabla 6**

*Valores de "n"*

Tipo de superficie	n
Suelo liso impermeable	0.02
Suelo desnudo	0.10
Pastos pobres, cultivos en hileras o suelo desnudo algo rugoso	0.20
Pastizales	0.40
Bosques de frondosas	0.60
Bosques de coníferas o de frondosas con una capa densa de residuos orgánicos de césped	0.80

*Nota.* Azizian (2018)

### **Método estadístico**

Determina caudales a partir de datos de caudales máximos recolectados depende de la cantidad de información que se tenga sobre caudales máximos, a más datos se tendrá mayor proximidad a un caudal máximo de diseño estimado.

### **Otras metodologías**

#### **Relación de Tucci (1991)**

Permite determinar caudales máximos a partir del análisis de caudales con características similares.

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{md}} * \text{factor}$$

$Q_{\text{máx}}$  = Caudal máximo instantáneo

$Q_{\text{md}}$  = Caudal máximo diario

- **Relación de cuencas vecinas**

Barreto y Torres (2015) para esta correlación las condiciones de las cuencas deber tener características similares como área, altitud, cercanía, de tener una cuenca sin datos pluviométricos pueden ser trasladados de cuencas con características similares como morfología e hidrometría

En la ecuación presenta la relación entre el área, caudales y precipitaciones de la cuenca.

$$\frac{Q_c}{A_c * P_c} = \frac{Q_x}{A_x * P_x}$$

Las ecuaciones son homogéneas.

$$Q_x = Q_c * \left(\frac{A_x}{A_c}\right) * n$$

Donde:

$Q_c$  = caudal de la cuenca con datos identificados en  $m^3/s$

$Q_x$  = caudal de la cuenca sin datos identificados en  $m^3/s$ .

$A_c$  = área de la cuenca con datos identificados en  $km^2$ .

$A_x$  = es el área de la cuenca sin datos identificados en  $km^2$ .

$n$  = Coeficiente de calibración ( $n=1$ ).

### 2.2.7 Rugosidad en cauces naturales

El cálculo del Manning se determina a través de tablas experimentales y fórmulas empíricas. Se debe tener en cuenta para la asignación del coeficiente de rugosidad la forma del cauce, el material que lo reviste, vegetación existente, irregularidades, obstrucciones que se pueda tener en el río y las partículas en suspensión Hernández (2016)

- Método de Cowan

Según los factores y características del cauce y según la experiencia para determinar el coeficiente de rugosidad se aplicará la siguiente ecuación:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

n = Número de Manning

### 2.2.8 Modelos numéricos o estadísticos

#### **Hidroesta 2**

Villón (2013), es un software permite evaluar datos estadísticos determinar la probabilidad de ocurrencia, caudales máximos, balance hídrico según diferentes funciones estadísticas y seleccionar la que más se ajuste a la serie de datos pluviométricos de la cuenta en estudio.

#### **HEC-RAS v4.1.0**

Brunner (2016), Es un software desarrollado por la US Army Corps of Engineers. Permite realizar modelos numéricos para flujos unidimensionales de 4 tipos y modelar según la estructura propuesta dentro de los alcances del software.

- Simula flujos en régimen permanente.
- Simula flujos en régimen no permanente.
- Simula transporte de sedimentos.
- Simula el estado subcrítico y supercrítico de los flujos (flujo mixto).

Determina los niveles de agua según la siguiente ecuación de energía

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$$

Donde:

$\Delta H$  = pérdida de Energía (diferencia de alturas).

$g = \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$  Valor de la gravedad

$\alpha_1, \alpha_2$  = Coeficiente de la no uniformidad.

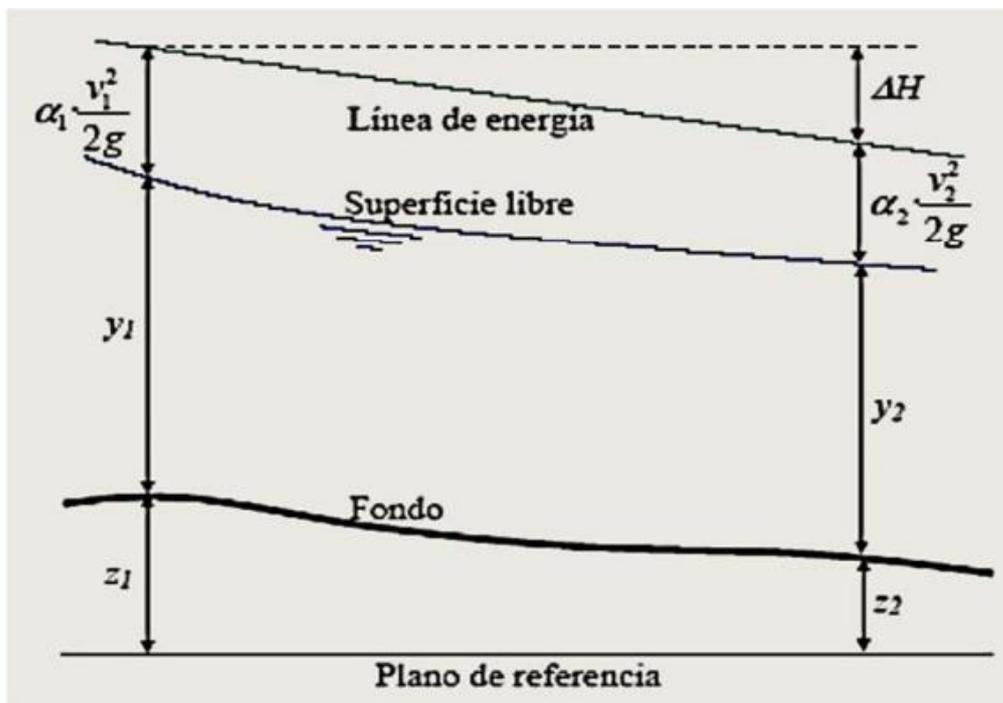
$V_n$  (m) = Velocidad media en la sección mojada a los extremos

$Z_n + \frac{P_n}{\gamma}$  = Nivel de la superficie libre a los extremos

La figura 14 representa el flujo de energía del río

**Figura 14**

*Flujo de energía*



Nota: Villón (2007).

### 2.2.9 Rectificación del ancho de cauce

La rectificación de cauce consistirá en encontrar un ancho de cauce que le dé equilibrio al río que evite erosiones y colmataciones según las siguientes fórmulas

- **Método de Petits**

La expresión empleada es la siguiente:

$$B = 4.44Q^{0.5}$$

Dónde:

B: Ancho estable

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s), para un tiempo de retorno de 140 años

- **Método de Simons y Henderson**

La expresión empleada es la siguiente:

$$B = K_1 Q^{0.5}$$

Donde:

B=Ancho estable (m)

Q=Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s) para un TR=140 años

K1=Factor en función a las características del cauce

La tabla 7 muestra el valor K1 para el método de Simons y Henderson según la característica del cauce.

**Tabla 7**

*Factor de K1*

<b>Características</b>	<b>K1</b>
Fondo de orillas de arena	5.7
Fondo de arena y orillas de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orillas del cauce de grava	2.9
Fondo de arena y orillas de material no cohesivo	2.8

*Nota:* Elaboración propia

**Método de Blech y Altunin**

La expresión empleada es la siguiente

$$B = 1.81(Q \frac{Fb}{Fs})^{0.5}$$

Donde:

B= Ancho estable (m)

Q= Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s) para un TR de 140 años

Fb=Factor de fondo, 0.80 para materiales finos ( $D_m < 0.50\text{mm}$ ) y 1.20 para materiales gruesos ( $D_m > 0.50\text{mm}$ ).

Fs= Factor de orilla, 0.10 para materiales sueltos, 0.20 para materiales ligeramente cohesivos y 0.30 para materiales cohesivos.

### **Método de Manning Strickler**

Este método incluye a la rugosidad(n), tipo de material (k) y de cauce (m), tomando la siguiente expresión:

$$B = \left( \frac{Q^{1/2}}{S^{1/5}} \right) (nK^{5/3})^{3/(35m)}$$

Donde:

B=Ancho estable (m)

Q=Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

S=Pendiente (m/m)

n= Coeficiente de Manning

K = Coeficiente de tipo de material (10 valor práctico, 12 material aluvial, 16 material fácilmente erosionable y 03 material muy resistente).

m = Coeficiente de tipo de cauce (0.50 para ríos de cauces aluviales, 0.70 para ríos de cauces arenosos y 1.00 para ríos de cauces de montaña)

## **2.3 Definición de términos básicos**

### **Topografía:**

Estudio de relieve de la morfología del terreno de un área determinada que servirá para la generación de la planta, perfil seccionamiento del cauce del río

### **Hidrología:**

Estudia el comportamiento del ciclo del agua tanto sus propiedades físicas como atmosféricas

### **Intensidad de lluvias:**

En la cantidad de agua que se puede presentar en un evento de lluvias se mide en mm/hr

### **Hidráulica:**

Estudio de la mecánica de los fluidos nos permitirá comprender el comportamiento de los flujos en el cauce del río de la investigación.

### **Caudal:**

Es la cantidad volumétrica de un flujo con respecto al tiempo que le toma desplazarse de un punto a otro

### **Clasificación de suelos:**

Es la caracterización que se le da a los suelos con respecto a su composición granulométrica, propiedades químicas

### **Hidrodinámica:**

Estudia la dinámica de los fluidos se tiene en cuenta la densidad de los fluidos, así como el material que transporta.

### **Río:**

Son corrientes de agua naturales formadas a partir de la escorrentía superficial causada por las precipitaciones y la confluencia de cuencas.

**Meandro:**

Son zonas de desarrollo de un río de curso bajo o de pendientes bajas se presentan en desembocaduras de ríos con el mar y terrenos llanos.

**Socavación:**

Es el fenómeno que se produce debido a la velocidad de un flujo y la pérdida de partículas de los suelos en el lecho del cauce o curso de agua.

**Sistema fluvial:**

Es la caracterización de los diferentes tipos de ríos incluyendo el comportamiento del flujo como erosión, transferencia y sedimentación

**Restitución de cauce de río:**

Recuperación de cauce natural del río de su ancho adecuado para el adecuado comportamiento del flujo, el cauce natural del río pudo presentar cambios por situaciones antrópicas a este.

**Inundación:**

Desborde de los flujos sobre un cauce definido por causas ajenas a su comportamiento natural como aparición de obstáculos, incremento del caudal por sobre la capacidad del área hidráulica, etc.

## CAPÍTULO III : SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis

Kerlinger & Lee (2000) Una hipótesis es una afirmación provisional que se formula con el objetivo de examinar y validar su veracidad. En el ámbito de la investigación científica, las hipótesis desempeñan un papel esencial al permitir la formulación de predicciones que luego pueden ser sometidas a evaluación y confirmación mediante experimentos o análisis de datos. En resumen, una hipótesis se presenta como una declaración susceptible de ser comprobada mediante evidencia empírica, y esto constituye un pilar fundamental en la metodología científica.

#### 3.1.1 Hipótesis general

Las condiciones hidrodinámicas son favorables que no permiten la inundación producto de la rectificación del río, por consiguiente, posee velocidades a 2 m/s tirante inferior a 2 m y ancho de encauzamiento 60m

#### 3.1.2 Hipótesis Específica

- ✓ Las condiciones topográficas se caracterizan por tener una pendiente inferior al 1%, un relieve homogéneo y un ancho reducido por causas antrópicas. Los diámetros de sedimentos frecuentes transportados en el meandro son de 2.5 mm
- ✓ El río posee condiciones hidrodinámicas agresivas que generan la inundación en las laderas del río por condiciones antrópicas y máximas avenidas.
- ✓ La rectificación del meandro mitigará las inundaciones y erosiones de meandro del río Shisho y su costo de ejecución evitará pérdidas económicas por daños a terceros y cierre de la vía

### 3.2 Sistema de Variables:

#### 3.2.1 Definición conceptual de la variable

##### a) Variable Independiente

Carrasco (2005) conforma el grupo de variables que ejercen influencias o efectos en la variable dependiente y a su vez permiten explicar estas.

Por lo tanto, se define como variable independiente el análisis Hidrodinámico del río Shisho en el meandro del puente Coishco.

b) Variable dependiente:

Carrasco (2005) conforma el grupo de variables que reciben influencias o efectos en de otras variables, son las variables que se explican en función a otras.

Se determinó como variable dependiente la Rectificación de cauce del río Shisho en el meandro del puente Coishco.

### ***3.2.2 Operacionalización de las Variables***

Según Carrasco (2005) consiste en desagregar las variables que forman parte de la investigación, desde la problemática general hasta los problemas específicos. Tiene como finalidad construir la matriz metodológica para la elaboración y diseño de los instrumentos de medición.

Ver Anexo A

## **CAPÍTULO IV : METODOLOGÍA DEL ESTUDIO**

### **4.1 Tipo y método de investigación**

#### ***4.1.1 Tipo de Investigación.***

Hernández (2014) La investigación aplicada se centra en la resolución de problemas prácticos y en la aplicación de conocimientos adquiridos para abordar situaciones reales. A diferencia de la investigación pura, que se enfoca en la generación de conocimiento teórico sin una aplicación directa, la investigación aplicada busca utilizar ese conocimiento para resolver desafíos específicos en diversos campos y sectores. La presente investigación fue aplicada no experimental transversal, la recopilación de información se realizó en un período de tiempo sin intervención física de la zona del estudio. No se utilizaron laboratorios, la información obtenida fue en base a recopilación de datos por medio de observación.

### **4.2 Método de Investigación**

Hernández (2014) plantea que la investigación de alcance descriptivo-explicativo tiene como objetivo detallar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades u otros fenómenos analizados. Su enfoque se centra en medir o recolectar información de forma independiente o conjunta sobre las variables relacionadas. La presente tesis presentó un alcance descriptivo - explicativo.

### **4.3 Población y muestra**

#### ***4.3.1 Población de investigación***

“Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández, 2010).

Población: en la presente investigación la población será el Río Shisho

### **4.3.2 Muestra**

Hernández (2010) indica “La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población.”

Para la presente investigación la muestra fue el meandro del Río Shisho en el puente Coishco con una longitud de 900 metros, 500 metros aguas abajo del puente Coishco y 400 metros aguas arriba.

## **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **4.4.1 Técnicas e instrumentos**

#### **a) Técnicas**

Las técnicas de recopilación de datos pueden ser mixtas y múltiples, se emplearán datos estadísticos para ello se utilizará entrevistas no estructuradas y observación directa. De los cuales se utilizó formatos de campo, cuestionarios, fichas de registro, panel fotográfico, libretas de campo.

#### **b) Instrumentos**

Los instrumentos utilizados para la investigación fueron: formatos de campo, cuestionarios, fichas de registro, panel fotográfico, libretas de campo. Estudio para el reemplazo de puentes Ancash: Estudio 1 – puente Coishco, Softwares como Office 2020, Civil 3D v2012, HEC RAS, Hidroesta 2, Google Earth e Istram,

### **4.4.2 Criterios de Validez y confiabilidad de los instrumentos**

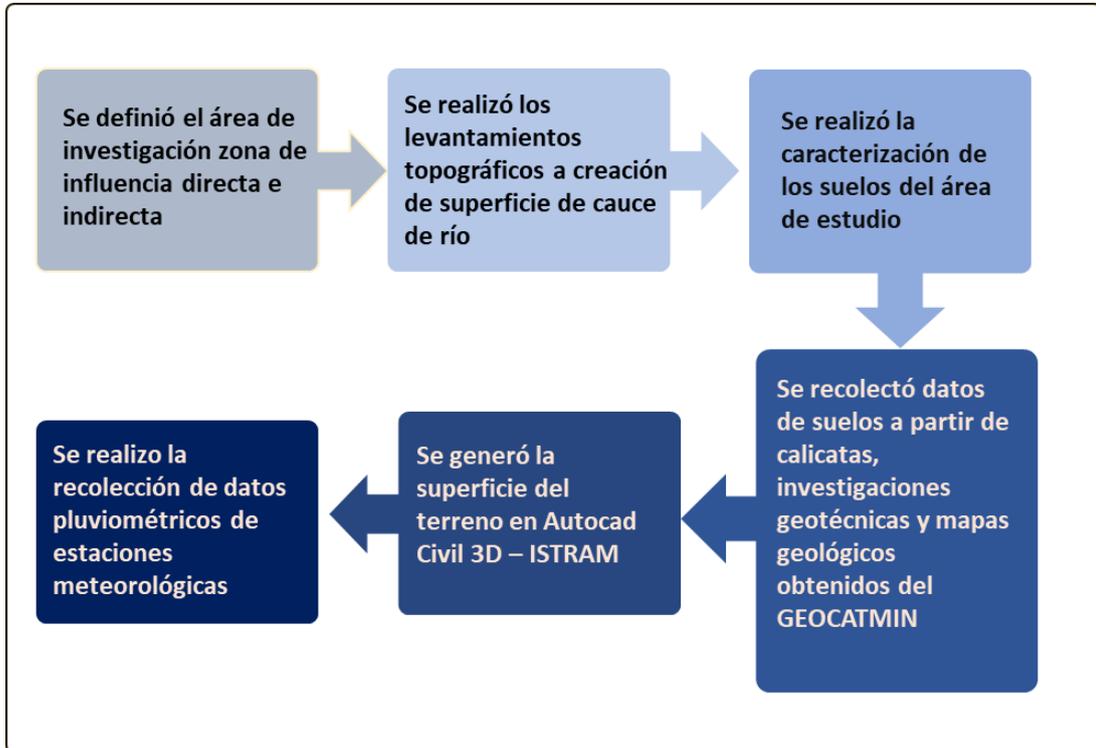
El criterio de validez se basa en un análisis estricto de los indicadores de las variables dependiente e independiente con un error mínimo inferior al 3%. Generado a partir de las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación, así como en los softwares estadísticos y profesionales que validan y proporcionan la confiabilidad de los resultados. Se añade que el levantamiento topográfico, y los datos pluviométricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI, que forman parte del expediente fueron revisados por especialistas colegiados además de haber sido revisada por expertos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Los softwares utilizados tienen licencias de funcionamiento además de estar calibrados según normas y formalización experimental vigente para análisis hidrológicos e hidráulicos.

#### 4.4.3 Procedimiento para recolección de datos

En las figuras 15, 16 y 17 se grafican los procesos utilizados para el desarrollo de la investigación.

**Figura 15**

*Flujo de trabajo primera etapa*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 16**

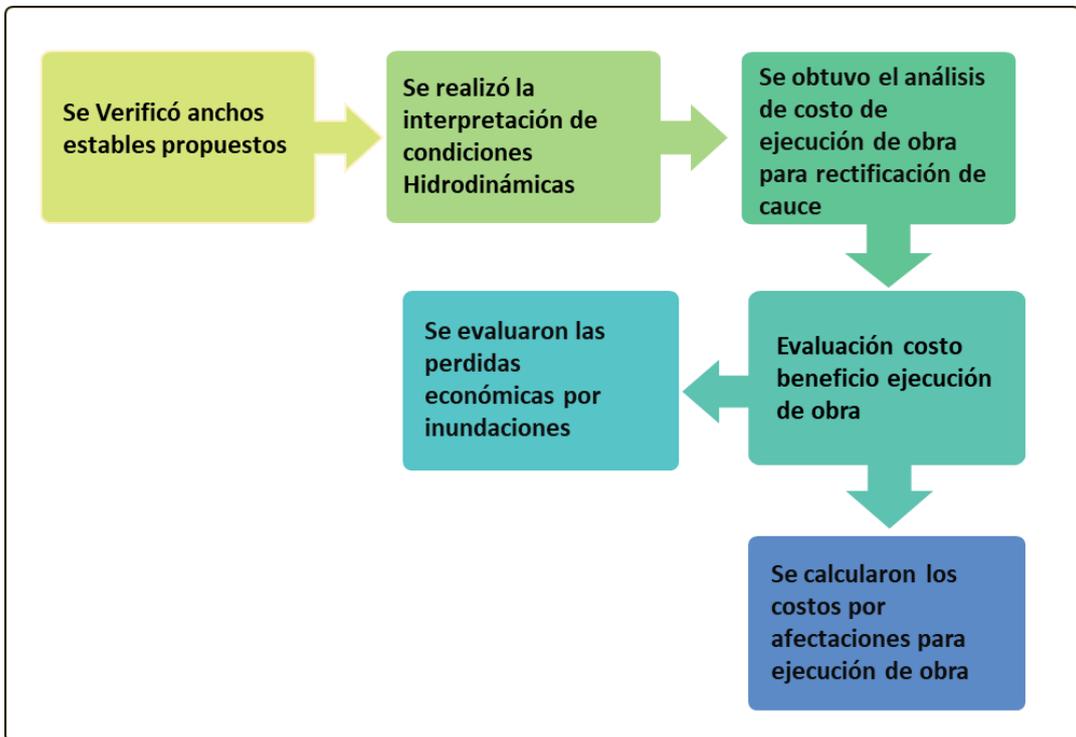
*Flujo de trabajo segunda etapa*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 17**

*Flujo de trabajo tercera etapa*



*Nota:* Elaboración propia

#### ***4.4.4 Técnicas para el procesamiento y análisis de información***

A partir de los datos registrados en las encuestas no estructuradas, observación y datos pluviométricos se realizará estadística descriptiva programa TREND V1.0.2.

Se tomó la información topografía del estudio expediente técnico puente Coishco procesando la información en el software Istram generando la malla de la superficie del terreno y fondo del río Shisho en la zona de la presente investigación, se utilizó la ortofoto para determinar interferencias en el cauce del río como propiedades privadas, terrenos de cultivos estructuras de obstrucción de cauce.

Se realizó la excavación y registro de calicatas en el tramo del cauce de la presente investigación además de utilizar mapas geológicos de Geocatmin para caracterizar el suelo del cauce. a partir de información del INGEMMET se obtuvo datos geomorfológicos de la cuenca en estudio ubicada en la región de Ancash.

Se realizó el cálculo para diferentes períodos de retorno para una precipitación máxima de 24 horas según la distribución Log Pearson III, luego se procedió a calibrar el modelo de precipitación de acuerdo a los datos recopilados de las encuestas no estructuradas y la observación de campo para calcular el nivel de agua máximo estimado del río Shisho.

Se realizó un modelo matemático en el software HEC RAS v4.1.0, bajo las condiciones hidrodinámicas existentes se determinó la zona de inundación del meandro del puente Coishco para luego mediante un proceso iterativo calcular el ancho estable del río y proponer la rectificación del cauce. Esto permitió modificar la topografía mediante el software CIVIL 2012 y cambiar las condiciones hidrodinámicas del modelo matemático y repetir el proceso en el software HEC RAS y se propuso la rectificación del cauce del río Shisho en el meandro del puente Coishco.

Finalmente se realizó una estimación económica de la propuesta de rectificación de cauce y un comparativo de pérdidas económicas si no se aplican las propuestas determinadas en la presente investigación.

## CAPÍTULO V : RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Resultados

#### 5.1.1 Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico se llevó a cabo utilizando puntos geodésicos como referencia. Una vez obtenidas las coordenadas topográficas, se procedió a realizar el relleno topográfico utilizando estaciones totales de alta precisión equipadas con miras láser para obtener mediciones en lugares de difícil acceso y se prestaron especial atención a los detalles del terreno.

Además, se recopilaron todos los detalles planimétricos disponibles dentro del área y sectores designados. También se seleccionó cuidadosamente un número adecuado de puntos de referencia para garantizar una definición precisa del relieve del terreno y de la carretera que se iba a mejorar, todo esto de acuerdo con los requisitos específicos de escala del plano y el intervalo deseado para las curvas de nivel.

A fin de contar con información básica para el desarrollo de la ingeniería de detalle, se procedió a desarrollar los siguientes trabajos de levantamientos topográficos complementarios:

- Levantamiento de Zonas Urbanas
- Levantamiento de Quebradas Mayores y Menores
- Levantamientos de Accesos
- Levantamientos de Terrenos y Viviendas

El levantamiento topográfico se realizó a partir de puntos de control de una poligonal cerrada ubicados en la panamericana, correspondientes al estudio del puente Coishco, georreferenciados desde la estación de orden “0” AN02 con las siguientes coordenadas.

En la tabla 8 se presentan las coordenadas geodésicas de la estación AN02 obtenida de la ficha técnica del instituto geográfico nacional (IGN)

**Tabla 8**

*Coordenadas geodésicas*

GEODÉSICAS	
Latitud (S)	Longitud (O)
09°07'42.32986"	78°31'47.20068"
Altura Elipsoidal (m)	Factor escala combinado
39.0144	1.000511583

*Nota:* Fuente IGN

En la tabla 9 se presentan las coordenadas cartesianas de la estación AN02 obtenida de la ficha técnica del instituto geográfico nacional (IGN)

**Tabla 9**

*Coordenadas Cartesianas*

<b>CARTESIANAS</b>		
X(m)	Y(m)	Z(m)
1252397.34	-6172147.383	-1005195

*Nota:* Fuente IGN

En la tabla 10 se presentan las coordenadas UTM de la estación AN02 obtenida de la ficha técnica del instituto geográfico nacional (IGN)

**Tabla 10**

*Coordenadas UTM*

<b>UTM</b>	
ESTE (m)	Norte (m)
771495.6389	9880020.538
Zona: 17 Sur	

*Nota:* Fuente IGM

A partir de la estación geodésica de AN02 orden 0 se establecieron con el equipo GPS diferencial dos puntos de control geodésico de orden C próximos a la zona del proyecto con denominación COISH 01 Y COISH 02 para los cuales se tomó una lectura de datos de 4 horas obteniendo la siguiente información geodésica como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Coordenadas puntos de Control de Orden C*

CÓDIGO	<b>UTM</b>			<b>TOPOGRÁFICAS</b>		
	NORTE	ESTE	COTA	NORTE	ESTE	COTA
COISH-1	9002676.8	761751.73	7.794	9002676.8	761451.73	7.695
COISH-2	9002987.8	761776.27	9.065	9002987.7	761776.26	8.921

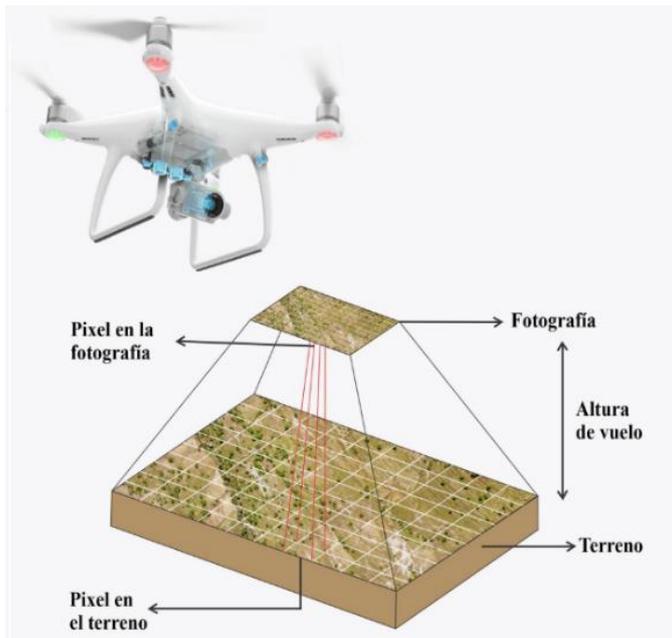
*Nota:* Expediente técnico

Para el levantamiento topográfico se utilizó un equipo drone para fotogrametría modelo Phantom 4 Pro V2.0 realizando un vuelo una altura promedio de 100 metros con respecto al suelo, se colocaron puntos de control referencial a partir de los puntos de control de orden C, para la restitución fotogramétrica.

La figura 18 representa gráficamente la metodología del vuelo con el equipo drone Phantom 4.

## Figura 18.

### *Resolución espacial de foto Aérea*



*Nota:* Expediente técnico

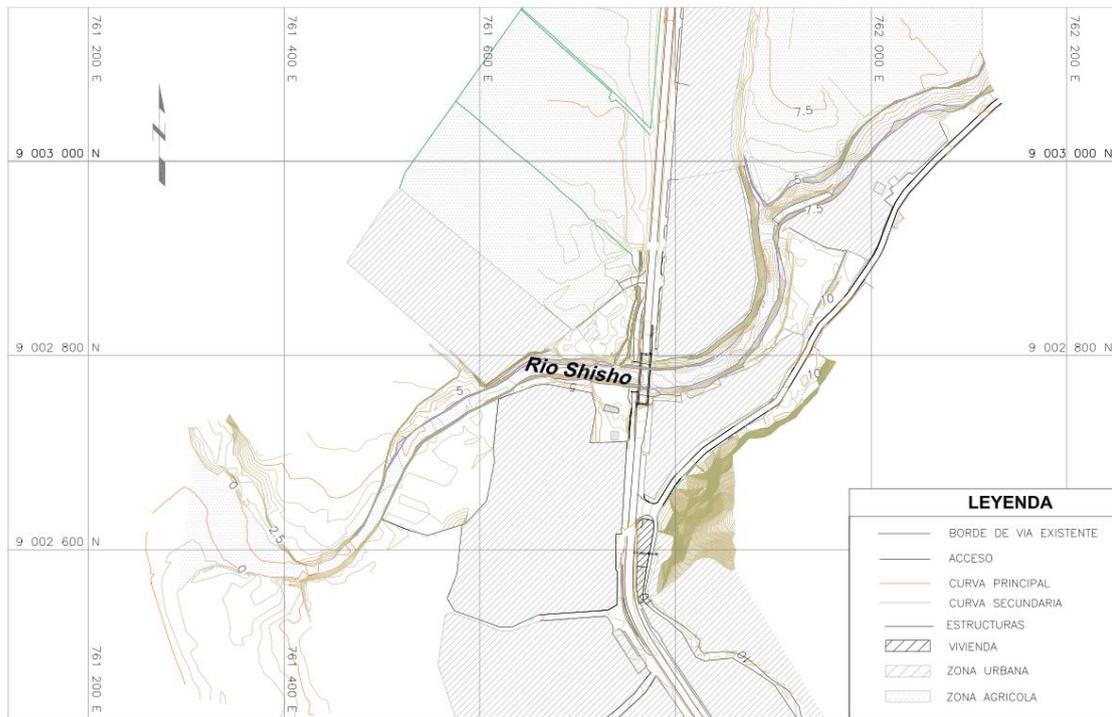
### **5.1.2 Batimetría**

Al igual que en los levantamientos topográficos tradicionales, se determinan las coordenadas X, Y Z, siendo esta última la que indica las profundidades de los cuerpos de agua medidos. Dependiendo del nivel de detalle en el que se lleve a cabo la batimetría, se pueden describir con precisión los fondos y el relieve de los cuerpos de agua, incluyendo cualquier anomalía que pueda existir en ellos, para el fondo de cauce del río Shisho se utilizó estación total ya que el levantamiento se realizó en época de estiaje donde el nivel de agua permite realizar estos trabajos.

En la figura 19 se muestra el grafico de las curvas de nivel obtenida a partir del levantamiento con dron y el levantamiento batimétrico del cauce del río Shisho.

**Figura 19.**

*Levantamiento topográfico Batimétrico*



Nota: Elaboración Propia

### 5.1.3 Característica de los suelos

Se determinó las características de sedimentos a través de investigaciones geotécnicas para la clasificación de materiales, mediante análisis granulométrico se obtuvo los valores del D40, D50, D65 y D90 reemplazarlos en las fórmulas empíricas de Meyer & Muller (1948), Shokllitsch (1950), Engelund & Hansen (1967), Mizuyama & Shimohigashi (1985) y Einstein-Brown (1950).

La tabla 12 presenta los porcentajes de material que pasa de las muestras de suelo obtenidas del lecho del río Shisho.

**Tabla 12**

*Análisis Granulométrico*

N°	Análisis Granulométrico				
	Malla Abertura (mm)	% pasa			
		M1	M2	M3	M4
3"	76.2	100	100	100	100
2"	50.8	83.1	96.7	100	95.8
1 1/2"	38.1	72.3	91.8	95.2	88.8
1"	25.4	64.5	87.9	93.7	77.7
3/4"	19.1	62	86.4	93.6	73.4

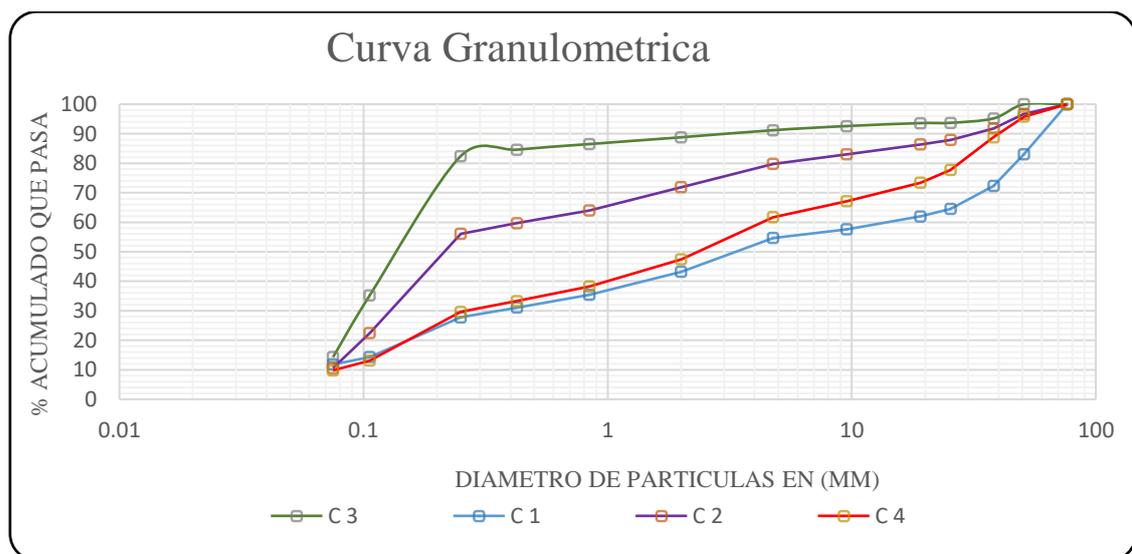
N°	Análisis Granulométrico				
	Malla	% pasa			
	Abertura (mm)	M1	M2	M3	M4
3/8"	9.52	57.6	83	92.6	67.1
N°4	4.76	54.7	79.8	91.2	61.7
N°10	2	43.2	71.9	88.8	47.4
N°20	0.84	35.4	64	86.5	38.2
N°40	0.425	31.1	59.7	84.6	33.3
N°60	0.25	27.8	56.1	82.4	29.6
N°140	0.106	14.3	22.4	35.2	13.1
N° 200	0.075	11.8	10.6	14.3	9.8

Nota. Elaboración propia

En la figura 20 se graficó las curvas granulométricas de las muestras de suelo del lecho del río.

**Figura 20**

*Curva Granulométrica*



Nota. Elaboración propia

Del análisis granulométrico se obtuvieron los valores de los diámetros representativos de la curva granulométrica D40=1.00mm, D50=2.5mm, D65=8.0mm y D90=40mm.

#### 5.1.4 Estudio de cuencas

Para la delimitación de la cuenca hidrográfica y de acuerdo con la ubicación geográfica del proyecto se emplearon las siguientes hojas de las cartas nacionales, obtenidas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000 las cuales se presentan en la tabla 13.

**Tabla 13**

Información Cartográfica

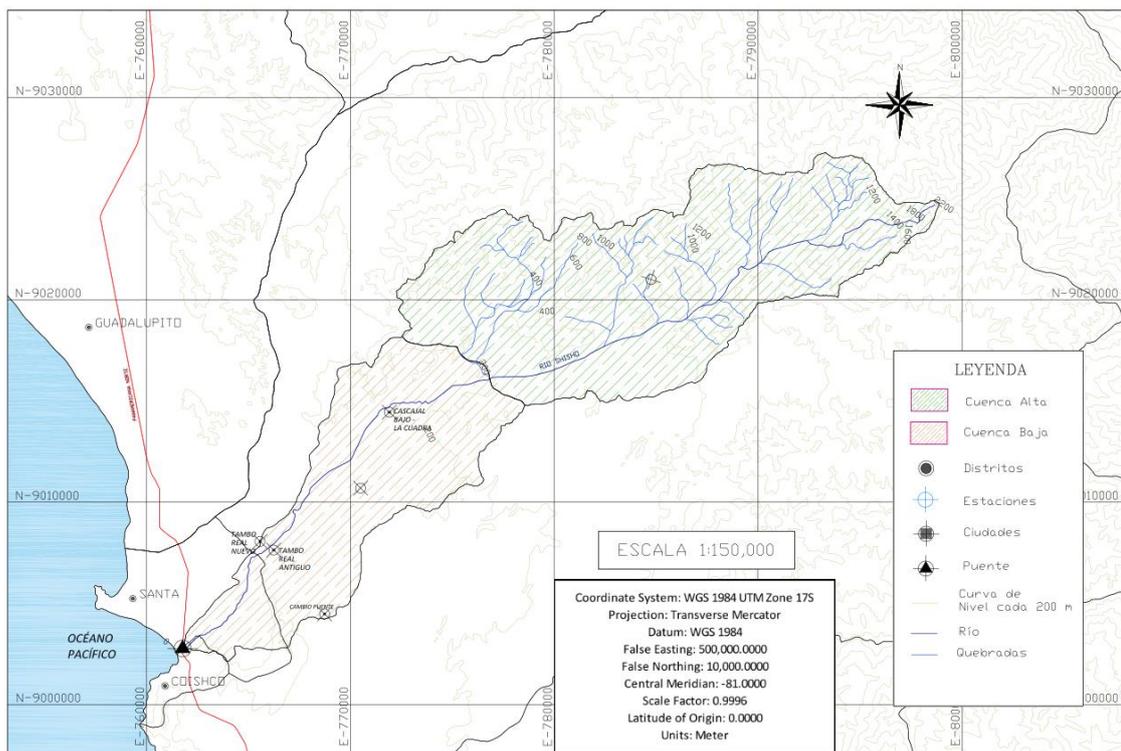
Código	Nombre	Escala
18-F	Santa	1:100 000
18-G	Santa Rosa	1:100 000
19-F	Chimbote	1:100 000
19-G	Casma	1:100 000

*Nota.* Elaboración Propia

Se procedió a la delimitación de la cuenca hasta la ubicación del puente, y se obtuvieron los parámetros geomorfológicos de la cuenca, cuya imagen se presenta a continuación en la figura 21:

**Figura 21**

*Delimitación de Cuenca*



*Nota.* Elaboración Propia

En la tabla 14 se muestra las características resultantes del análisis de cuenca del río Shisho:

**Tabla 14**

Características de la Cuenca

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud (km)	Cota min m.s.n.m.	Cota Max m.s.n.m.	Kc	Kf	S (%)
Río Shisho	282.82	115.96	48.44	2200	0.12	1.93	0.12	4.54

*Nota.* Elaboración Propia

A continuación, se describen las características de la cuenca la cual tiene el área total de 282.82 km<sup>2</sup>, su longitud desde el punto más alejado hasta su desembocadura es de 25.77km, lo cual da como valor un coeficiente compacidad de 1.93 según Gravelius (1914) es una cuenca oblonga alargada, el factor de forma es de 0.12, Pérez (1979) la describe como una cuenca alargada, la pendiente de la cuenca tiene un promedio de 4.54% Vera (2004) la describe la cuenca como una cuenca de pendiente suave.

La cuenca principal se dividió en dos cuencas, alta y baja respectivamente esta caracterización se aplica por presentar diferente número de curva CN, cobertura vegetal, las cuales diferencian el valor del tiempo de concentración de cada una de ellas en la Tabla 15 se muestran las características geomorfológicas de las dos subcuencas.

**Tabla 15***Parámetros geomorfológicos sub cuencas*

Subcuencas del río Shisho	Área (km <sup>2</sup> )	Cota (m.s.n.m.)		Longitud (km)	S (%)	CN
		Max	Min			
Subcuenca alta	179.84	2200.00	200.00	25.77	7.76	74
Subcuenca baja	102.98	200.00	0.00	22.67	0.88	69

*Nota.* Elaboración Propia

De los parámetros descritos se calculó el tiempo de concentración de las dos subcuencas para el cual se seleccionará como tiempo de concentración 25.07hrs. para la cuenca inferior y 8 horas para la cuenca superior, en la tabla 16 se presenta los valores obtenidos, de los cuales se ha seleccionados el método SCS para el valor de tiempo de concentración ya que este considera el tipo de cobertura vegetal y la pendiente, siendo este el más representativo.

**Tabla 16***Tiempo de concentración*

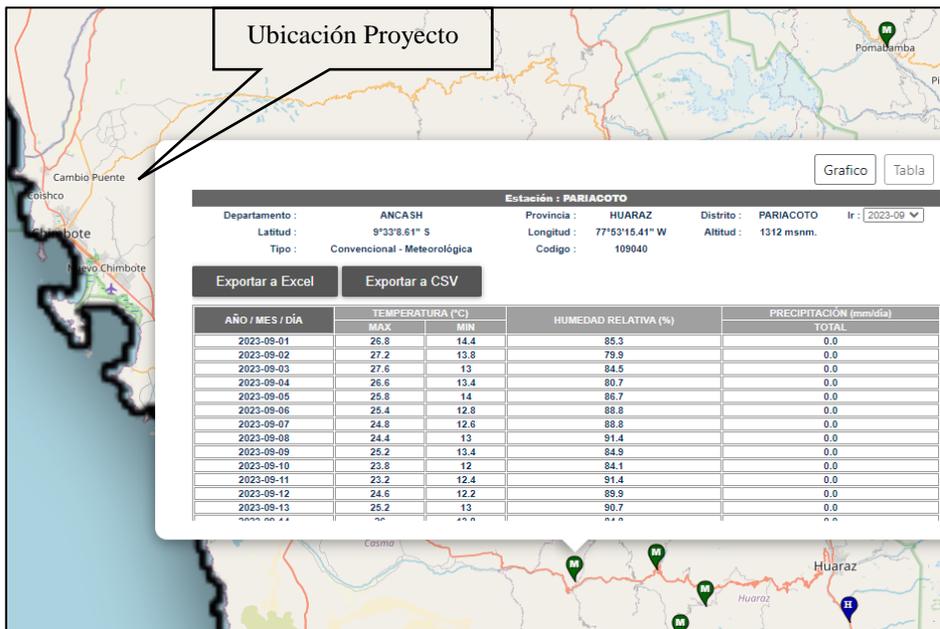
Nombre	Tiempo Concentración (horas)				
	Temes	Bransby Williams	Hathaway	SCS	Seleccionado
Cuenca Inferior	7.96	9.01	5.18	25.07	25.07
Cuenca Superior	5.76	6.22	3.28	8	8

*Nota.* Elaboración Propia**5.1.5 Período de retorno**

Se evaluó el período de retorno según el manual de hidrología e hidráulica del MTC, ya que la zona de estudio se encuentra próxima al puente Coishco la vida útil será de 40 años y un riesgo admisible de 25% lo que da un período de retorno de 140 años, valor que se utilizó para el cálculo del caudal.

**5.1.6 Estudio hidrológico análisis de estaciones**

Para el estudio hidrológico se identificó la estación Pariacoto ubicada en el departamento de Ancash distrito de Pariacoto a una altitud de 1312 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). La estación pluviométría como se muestra en la figura 22 cuenta con registros de precipitaciones máximas en 24 (SENAMHI) horas en un período de 1981 hasta 2022, este período registra eventos extraordinarios ocurridos durante el fenómeno del niño.

**Figura 22***Ubicación Estación Pariacoto**Nota.* SENAMHI

En la tabla 17 se describen los datos representativos de la estación Pariacoto.

**Tabla 17**

*Estación pluviométrica*

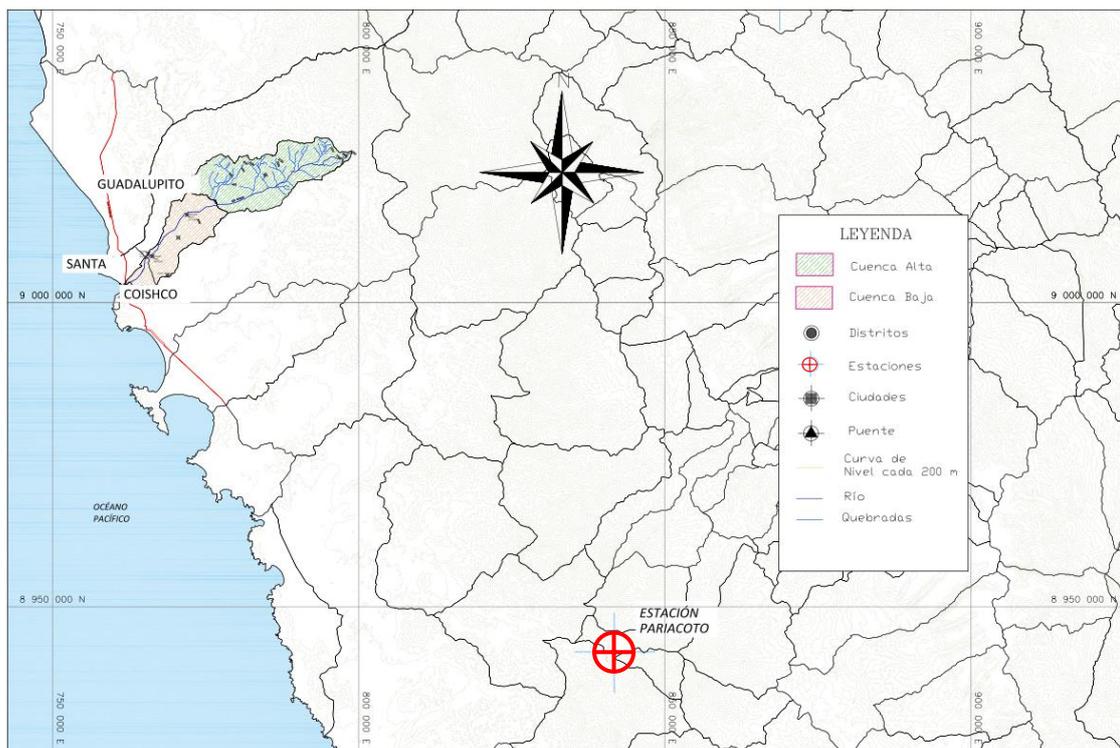
Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Latitud	Longitud	Período de registro	Ubicación
Pariacoto	1312	9°33'8.61" S	77°53'15.41" W	1981-2022	Dpto. Ancash Prov. Huirás Dist. Pariacoto

*Nota.* Elaboración propia

En la figura 23 se presenta la ubicación de la estación Pariacoto con respecto a la cuenca evaluada.

**Figura 23**

*Ubicación Estación Pariacoto UTM*



*Nota.* Elaboración propia

En la tabla 18 se presentan la serie de datos históricos de la estación Pariacoto, estos valores corresponden a las precipitaciones máximas 24 horas en milímetros mensuales desde el año 1981 hasta el año 2022.

**Tabla 18***Precipitaciones máximas en 24 horas (mm), Estación Pariacoto*

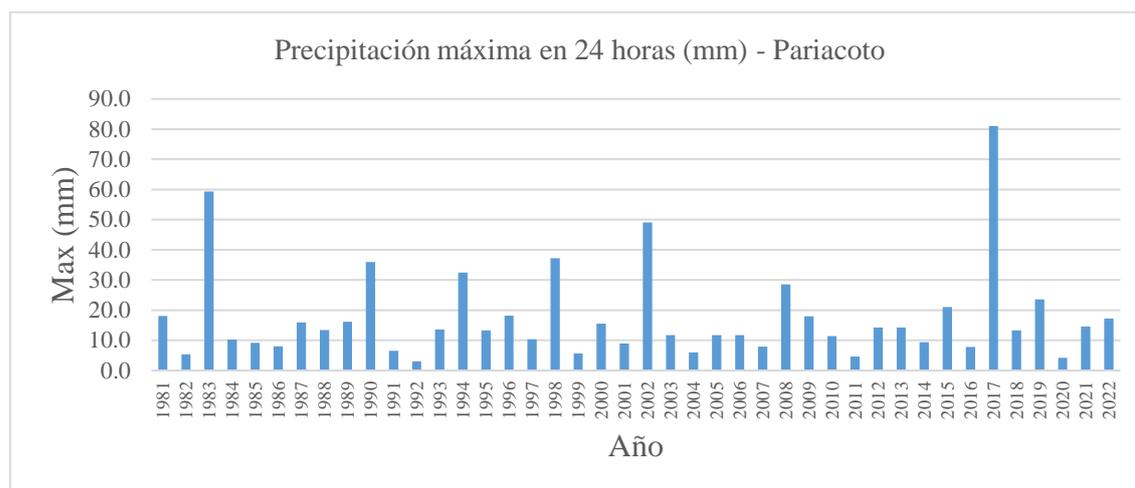
<b>Año</b>	<b>Ene.</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>May.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Set.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dic.</b>	<b>Max</b>
<b>1981</b>	18.1	10.7	10.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	<b>18.1</b>
<b>1982</b>	4.4	0.0	2.3	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.9	<b>5.4</b>
<b>1983</b>	24.2	59.3	48.6	50.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	5.3	1.7	<b>59.3</b>
<b>1984</b>	1.8	10.2	5.2	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	1.5	3.6	0.0	0.0	<b>10.2</b>
<b>1985</b>	3.5	9.2	8.5	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.5	<b>9.2</b>
<b>1986</b>	8.0	0.9	6.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	<b>8.0</b>
<b>1987</b>	14.7	15.9	0.0	13.4	0.5	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	2.7	0.5	<b>15.9</b>
<b>1988</b>	5.0	0.0	0.0	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	0.5	<b>13.4</b>
<b>1989</b>	4.6	16.2	9.7	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	3.7	0.0	0.0	<b>16.2</b>
<b>1990</b>	3.9	35.9	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	4.0	3.8	<b>35.9</b>
<b>1991</b>	2.3	4.4	6.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	1.2	1.2	<b>6.5</b>
<b>1992</b>	2.6	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	3.0	0.0	2.4	<b>3.0</b>
<b>1993</b>	3.1	13.6	9.6	2.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	2.5	3.8	<b>13.6</b>
<b>1994</b>	8.3	8.7	10.3	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	1.3	32.5	<b>32.5</b>
<b>1995</b>	2.8	13.3	13.2	6.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	1.5	1.9	<b>13.3</b>
<b>1996</b>	9.8	18.2	14.6	7.9	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.6	1.2	0.5	<b>18.2</b>
<b>1997</b>	4.5	6.4	5.2	5.4	3.3	0.5	0.5	0.0	1.1	2.3	5.7	10.3	<b>10.3</b>
<b>1998</b>	33.5	36.7	37.2	15.4	0.7	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	<b>37.2</b>
<b>1999</b>	0.0	0.0	3.3	5.7	1.2	0.0	0.0	0.3	0.6	2.2	2.0	2.0	<b>5.7</b>
<b>2000</b>	9.6	15.5	12.4	2.5	3.2	0.0	0.0	0.3	0.5	1.4	1.4	10.2	<b>15.5</b>
<b>2001</b>	5.8	9.0	0.0	2.1	1.1	0.0	0.0	0.0	2.1	1.1	0.8	1.3	<b>9.0</b>
<b>2002</b>	0.5	49.1	4.9	6.8	1.2	0.0	0.0	0.0	1.2	2.7	5.7	1.4	<b>49.1</b>
<b>2003</b>	3.3	4.5	11.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	5.8	0.5	0.0	<b>11.7</b>
<b>2004</b>	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	5.7	5.7	3.8	<b>6.0</b>
<b>2005</b>	9.2	0.0	11.7	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.4	0.5	2.6	<b>11.7</b>
<b>2006</b>	4.5	11.3	11.7	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	<b>11.7</b>
<b>2007</b>	0.0	0.0	7.9	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	0.8	5.0	<b>7.9</b>
<b>2008</b>	5.2	16.4	16.3	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>28.5</b>
<b>2009</b>	18.0	0.0	7.2	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.2	2.5	<b>18.0</b>
<b>2010</b>	3.6	11.4	3.0	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.8	3.2	3.0	7.0	<b>11.4</b>
<b>2011</b>	4.2	0.0	2.2	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	4.6	<b>4.6</b>
<b>2012</b>	0.5	14.2	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	2.0	1.4	3.2	<b>14.2</b>
<b>2013</b>	0.5	14.2	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	<b>14.2</b>
<b>2014</b>	5.4	8.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	9.4	<b>9.4</b>
<b>2015</b>	1.5	4.3	21.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	<b>21.0</b>
<b>2016</b>	2.6	6.2	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	<b>7.8</b>
<b>2017</b>	5.8	32.6	81.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	6.0	2.0	6.4	<b>81.0</b>
<b>2018</b>	12.5	13.3	9.6	3.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	10.5	<b>13.3</b>
<b>2019</b>	13.6	23.6	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	2.6	0.0	2.6	<b>23.6</b>
<b>2020</b>	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.2	2.0	0.0	<b>4.2</b>
<b>2021</b>	4.3	0.0	14.6	2.8	1.1	0.0	0.0	9.0	9.0	1.8	2.8	0.0	<b>14.6</b>
<b>2022</b>	5.2	6.0	17.2	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	<b>17.2</b>

*Nota.* Fuente SENAMHI

Se realizó el gráfico de variación de precipitaciones máximas en 24 horas por año de registro el cual se presenta en la figura 24 y se observa que el fenómeno del niño del 2017 supera los datos registrados a los eventos de 1983 y 1998, este evento se dio en marzo del 2017 descrito en el capítulo I donde se produjeron inundaciones, pérdida de la estructura existente cierre de la vía panamericana norte en el tramo Chimbote – Trujillo.

**Figura 24**

*Precipitaciones máximas en 24 horas (mm), Estación Pariacoto*



*Nota.* Elaboración Propia

### 5.1.7 Verificación de hipótesis en las series estadísticas básicas

Se desarrolló la verificación de la serie máxima 24 horas los cuales se muestran en la tabla 19, donde no se identificaron datos atípicos por lo tanto se utilizó toda la serie histórica para los cálculos siguientes.

**Tabla 19**

*Análisis de datos atípicos*

Estación PARIACOTO / 150904 / DZ-04				
N°	Año	Max 24hr	Log (máx.)	Análisis
1	1981	18.1	1.3	Verificado
2	1982	5.4	0.7	Verificado
3	1983	59.3	1.8	Verificado
4	1984	10.2	1.0	Verificado
5	1985	9.2	1.0	Verificado
6	1986	8	0.9	Verificado
7	1987	15.9	1.2	Verificado
8	1988	13.4	1.1	Verificado
9	1989	16.2	1.2	Verificado
10	1990	35.9	1.6	Verificado
11	1991	6.5	0.8	Verificado

Estación PARIACOTO / 150904 / DZ-04				
N°	Año	Max 24hr	Log (máx.)	Análisis
12	1992	3	0.5	Verificado
13	1993	13.6	1.1	Verificado
14	1994	32.5	1.5	Verificado
15	1995	13.3	1.1	Verificado
16	1996	18.2	1.3	Verificado
17	1997	10.3	1.0	Verificado
18	1998	37.2	1.6	Verificado
19	1999	5.7	0.8	Verificado
20	2000	15.5	1.2	Verificado
21	2001	9	1.0	Verificado
22	2002	49.1	1.7	Verificado
23	2003	11.7	1.1	Verificado
24	2004	6	0.8	Verificado
25	2005	11.7	1.1	Verificado
26	2006	11.7	1.1	Verificado
27	2007	7.9	0.9	Verificado
28	2008	28.5	1.5	Verificado
29	2009	18	1.3	Verificado
30	2010	11.4	1.1	Verificado
31	2011	4.6	0.7	Verificado
32	2012	14.2	1.2	Verificado
33	2013	14.2	1.2	Verificado
34	2014	9.4	1.0	Verificado
35	2015	21	1.3	Verificado
36	2016	7.8	0.9	Verificado
37	2017	81	1.9	Verificado
38	2018	13.3	1.1	Verificado
39	2019	23.6	1.4	Verificado
40	2020	4.2	0.6	Verificado
41	2021	14.6	1.2	Verificado
42	2022	17.2	1.2	Verificado
Promedio			1.1	
Desviación Estándar.			0.3	
YH (LIM SUP)			2.0	
YL (LIM INF)			0.30	

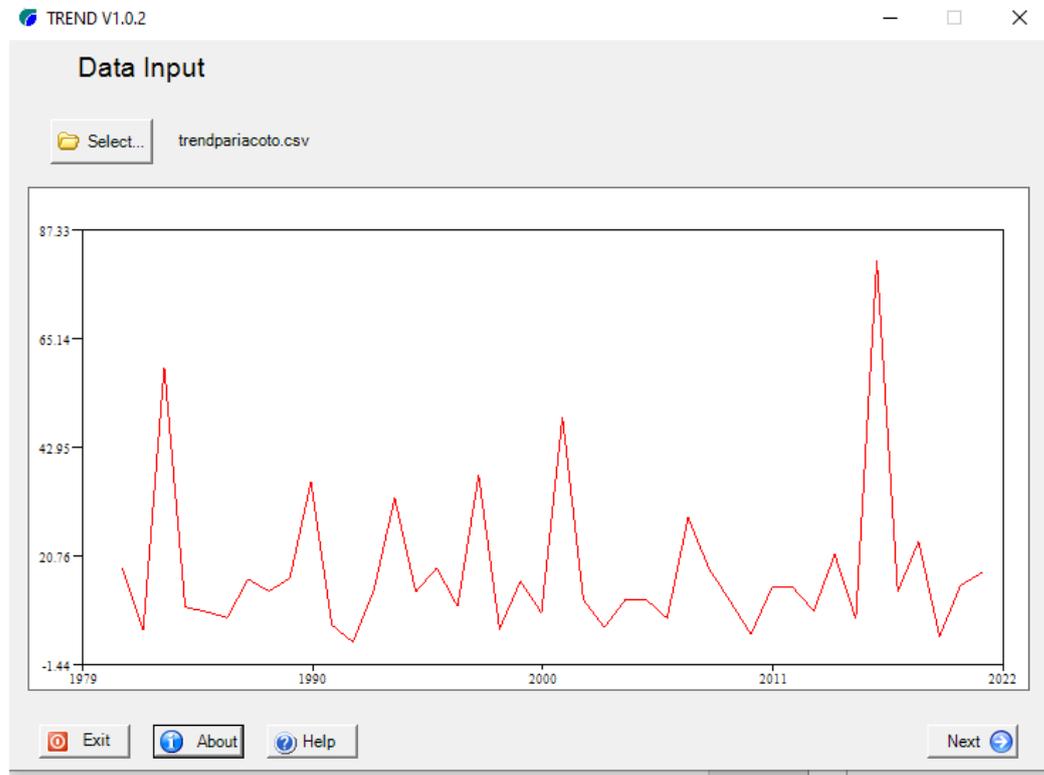
*Nota.* Elaboración propia

### 5.1.8 Análisis estadístico serie de datos

Se realizó el análisis estadístico utilizando la herramienta software Trend de los datos de precipitaciones máximas en 24 horas como se muestra en la figura 25.

**Figura 25**

*Gráfico de precipitaciones*



*Nota.* Elaboración propia

La tabla 20 tiene valores de NS (no significativos) y un valor de confiabilidad del 90% en el análisis de Median Crossin; por lo tanto, los valores de las precipitaciones son consistentes.

**Tabla 20**

*Análisis estadístico de datos hidrológicos – estación Pariacoto*

Test statistic	Z	Critical values (Statistical table)			Result
		a=0.1	a=0.05	a=0.01	
Mann-Kendall	0.18	1.64	1.96	2.58	NS
Spearman's Rho	0.22	1.64	1.96	2.58	NS
Linear regression	0.14	1.68	2.02	2.7	NS
Cusum	3	7.91	8.81	10.56	NS
Cumulative deviation	0.49	1.13	1.26	1.5	NS
Worsley likelihood	1.4	2.87	3.17	3.78	NS

Test statistic	Critical values (Statistical table)			Result	
	Z	a=0.1	a=0.05		a=0.01
Rank Sum	-0.1	1.64	1.96	2.58	NS
Student's t	-0.25	1.68	2.02	2.7	NS
Median Crossing	1.72	1.64	1.96	2.58	S (0.1)
Turning Point	0.12	1.64	1.96	2.58	NS
Rank Difference	2.21	1.64	1.96	2.58	S (0.05)
AutoCorrelation	-1.42	1.64	1.96	2.58	NS

*Nota.* Elaboración propia

### 5.1.9 Prueba ajuste de Bondad

Se realizó la prueba de ajuste de bondad utilizando las siguientes funciones de distribución teóricas, Normal, Log Normal, Gamma, Pearson III, Log Pearson III y Gumbel. Los datos de la estación pluviométrica se ingresaron al software Hidrognomon obteniendo los siguientes resultados del test de Kolmogorov-Smirnov, ver tabla 21.

**Tabla 21**

*Resultados del Test Kolmogorov-Smirnov*

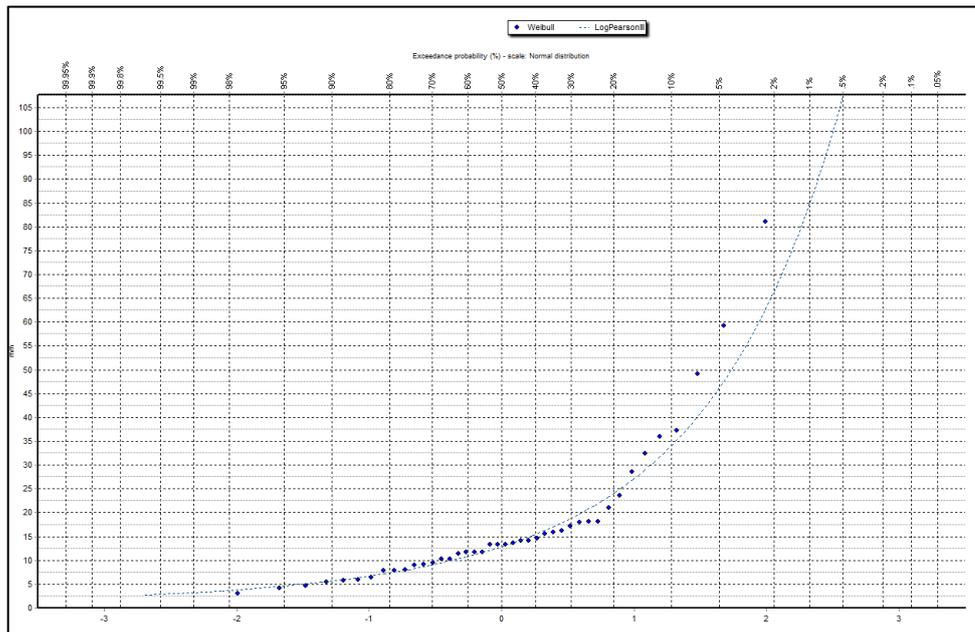
Kolmogorov-Smirnov	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	REJECT	REJECT	REJECT	0.91%	0.25094
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	74.54%	0.10235
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	40.21%	0.13537
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	66.27%	0.11001
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.51%	0.08356
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12.09%	0.18029

*Nota.* Elaboración propia

En la figura 26 se grafica la función Log Pearson III siendo la función que más se ajusta a la serie de datos

**Figura 26**

*Función Distribución de probabilidad Log Pearson III*



*Nota.* Elaboración propia

El valor del delta teórico es de 0.07038, es menor que el delta tabular Max 0.08356. los datos se ajustan a la distribución Log Pearson III, con un nivel de significancia de 5% obteniendo las siguientes precipitaciones máximas los cuales se presentan en la tabla 22:

**Tabla 22**

*Precipitaciones máximas en 24 horas según la distribución Log Pearson III*

Tr	Precipitación Máxima (mm)
1000	177.68
500	143.92
200	107.44
140	95.37
100	85.01
70	74.96
50	66.30
20	46.30
10	34.64
5	24.00
3	17.56
2	12.88

*Nota.* Elaboración Propia

Se corrigieron las precipitaciones máximas de acuerdo al guía de prácticas hidrológicas de la organización mundial OMM, donde las precipitaciones deben multiplicarse por un factor de 1.13 ver tabla 23.

**Tabla 23**

*Precipitaciones máximas corregidas*

Período de Retorno	P. max. sin corrección (mm)	P. max. con corrección (mm)
1000	177.68	200.78
500	143.92	162.63
200	107.44	121.41
140	95.37	107.77
100	85.01	96.06
70	74.96	84.70
50	66.30	74.92
20	46.30	52.32
10	34.64	39.14
5	24.00	27.12
3	17.56	19.84
2	12.88	14.55

*Nota.* Elaboración Propia

#### **5.1.10 Determinación Hietograma de diseño**

Para este fin, se utilizó como referencia el patrón de comportamiento de la lluvia determinado por el Soil Conservation Service (SCS) de la U.S. Department of Agriculture (1986).

Los tipos I y IA corresponden al clima de la vertiente del Pacífico con inviernos húmedos y veranos secos. El tipo III corresponde al Golfo de México y las áreas costeras del Altiplano, donde las tormentas tropicales producen lluvias de 24 horas muy grandes. El tipo II corresponde al resto del país y la cuenca alta del Altiplano (Chow et al., 1994) ver tabla 24.

**Tabla 24***Hietogramas adimensionales de tormenta típicas 24 horas*

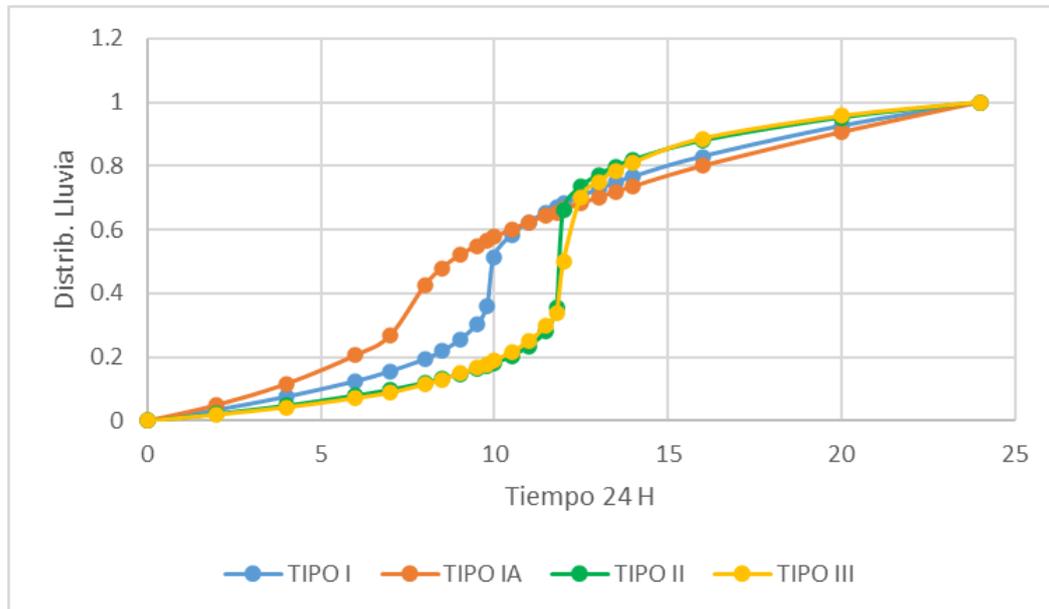
Tiempo (hr.)	t/24	Factores adimensionales Pt/P24			
		TIPO I	TIPO IA	TIPO II	TIPO III
0	0	0	0	0	0
2	0.083	0.035	0.05	0.022	0.02
4	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043
6	0.25	0.125	0.206	0.08	0.072
7	0.292	0.156	0.268	0.098	0.089
8	0.333	0.194	0.425	0.12	0.115
8.5	0.354	0.219	0.48	0.133	0.13
9	0.375	0.254	0.52	0.147	0.148
9.5	0.396	0.303	0.55	0.163	0.167
9.8	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178
10	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189
10.5	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216
11	0.458	0.624	0.624	0.235	0.25
11.5	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298
11.8	0.49	0.669	0.655	0.357	0.339
12	0.5	0.682	0.664	0.663	0.5
12.5	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702
13	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751
13.5	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785
14	0.583	0.767	0.736	0.82	0.811
16	0.667	0.83	0.8	0.88	0.886
20	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957
24	1	1	1	1	1

*Nota.* Chow (1994)

Se utilizó la tormenta tipo II puesto que la cuenca se encuentra alejada del mar y brinda resultados conservadores. A continuación, en la figura 27 se muestra la curva de distribuciones adimensionales SCS.

**Figura 27**

*Curvas de distribuciones adimensionales SCS*



Nota. Chow (1994)

Dado lo mencionado anteriormente, se ha elegido un tipo de tormenta típica, conocida como Tipo II, para representar la distribución de la precipitación en la zona de estudio durante un período de 24 horas. Este tipo de tormenta es característico del clima de la vertiente del Pacífico y está influenciado por el Fenómeno El Niño (FEN).

Para obtener el hietograma de diseño, que es esencial para nuestro modelo hidrológico, multiplicaremos la precipitación de diseño previamente calculada por los factores adimensionales correspondientes a la distribución.

#### **5.1.11 Determinación caudal de Diseño 140 años**

Se utilizó el software HEC-HMS para simular la hidrología de la cuenca, los cuales fueron el modelo de pérdida de agua, modelo de transformación y modelo de flujo base. También se trabajó con el modelo meteorológico y especificaciones de control.

##### **a. Número CN**

A partir de mapas de cobertura vegetal y el uso actual de los terrenos; se han identificado dos tipos de cobertura vegetal predominante en las cuencas de drenaje.

La figura 28 representa la cobertura vegetal de la cuenca baja la cual está conformada por terrenos de cultivo, sometida a riego permanente sobre un terreno de poca pendiente. La cuenca superior está desprovista de vegetación y conformada por terrenos de fuerte pendiente.

**Figura 28**

*Imagen de cobertura vegetal*

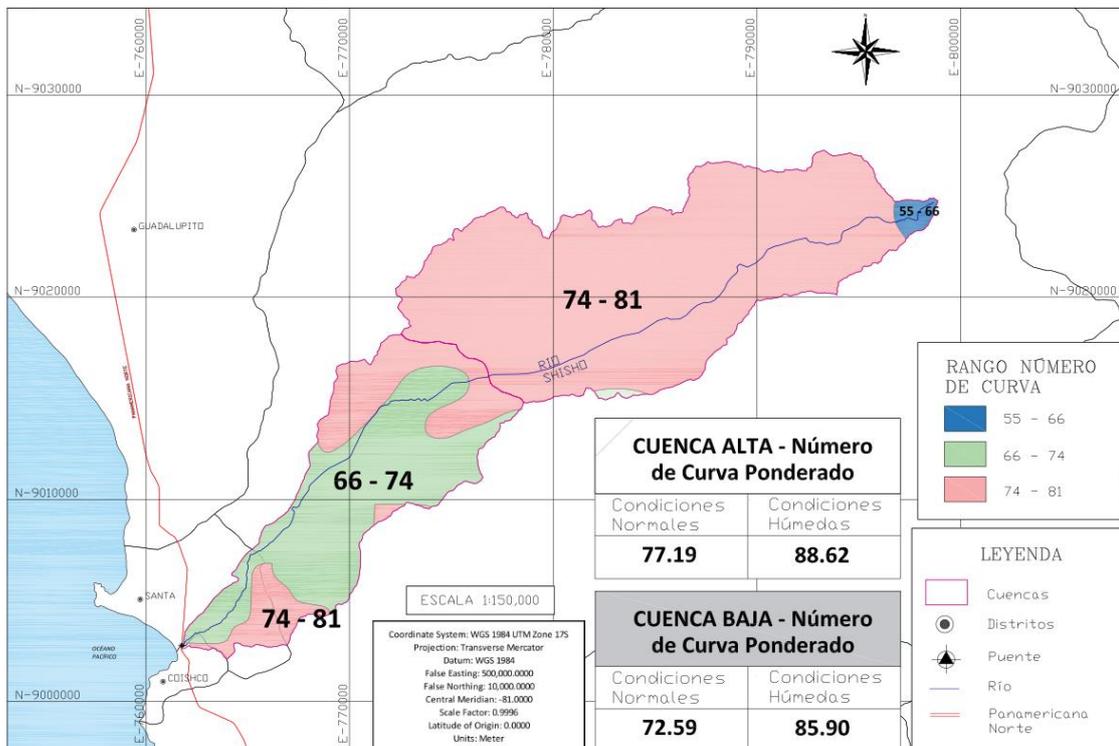


*Nota.* Elaboración propia

Se asignaron los valores de CN de acuerdo a la figura 29 para la cuenca baja y la cuenca alta.

**Figura 29**

*Mapa Asignación de Curva Número (CN)*



*Nota.* Expediente técnico

La tabla 25 presenta los rangos de valor CN asignados a la cuenca alta y cuenca baja.

**Tabla 25**

*Número de Curva ponderado en condición normal, húmeda*

Cuenca	CN normal	CN húmeda
Inferior (<200 m.s.n.m.)	69	84
Superior (>200 m.s.n.m.)	74	87

*Nota.* Elaboración propia

b. Calibración del modelo HEC - HMS

Se calibró el modelo de precipitación utilizando la información recopilada en campo y los datos de la estación Pariacoto de 81 mm en marzo del 2012 cuando se produjo el evento que desbordó la carretera y alcantarilla existente del Coishco. De las imágenes del evento y el levantamiento topográfico se identificó la cota del nivel de agua en un punto en específico del cauce, además se identificó la existencia de una alcantarilla tipo marco de concreto de 3m x 2m que funcionaba como estructura de drenaje en la vía panamericana. Para calibrar el modelo y determinar se reprodujo el evento en el software HEC-RAS ingresando los siguientes caudales 50, 100, 125, 150, 175 m<sup>3</sup>, donde se identificó los niveles de agua en el punto de referencia reportado durante el evento.

En la figura 30 se aprecia como el nivel de agua llegó a más de un metro por encima del terreno natural aproximadamente, siendo la cota del terreno de 8.5 m cota y 9.7m cota nivel del agua alcanzada.

### Figura 30

Identificación nivel de agua

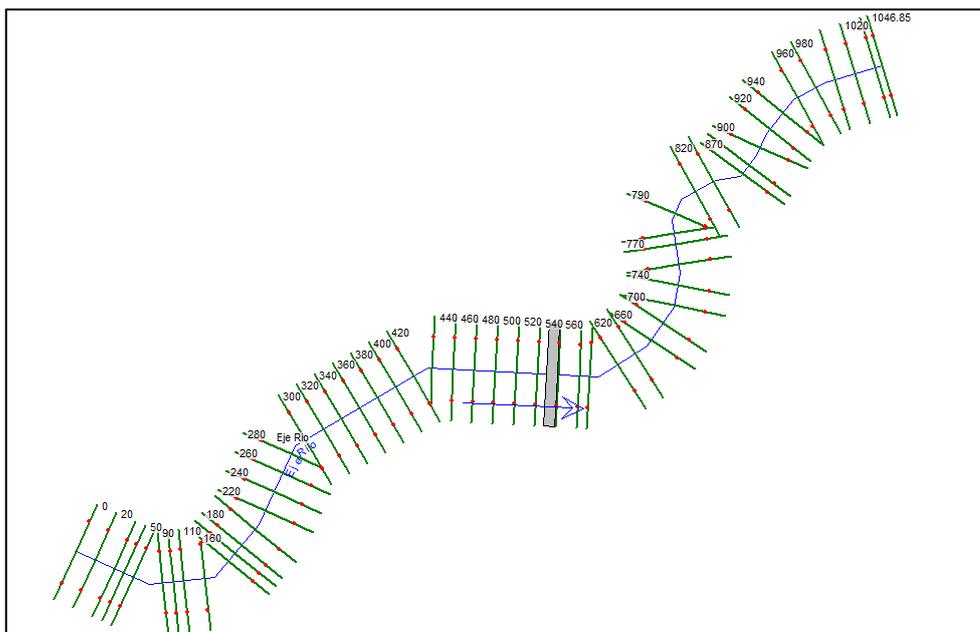


Nota. Elaboración propia

Se recreó el evento en el software Hec Ras como se muestra en la figura 31 donde se ha representado la alcantarilla existente antes del fenómeno del niño del 2017.

### Figura 31

Modelo HEC RAS Planta calibración

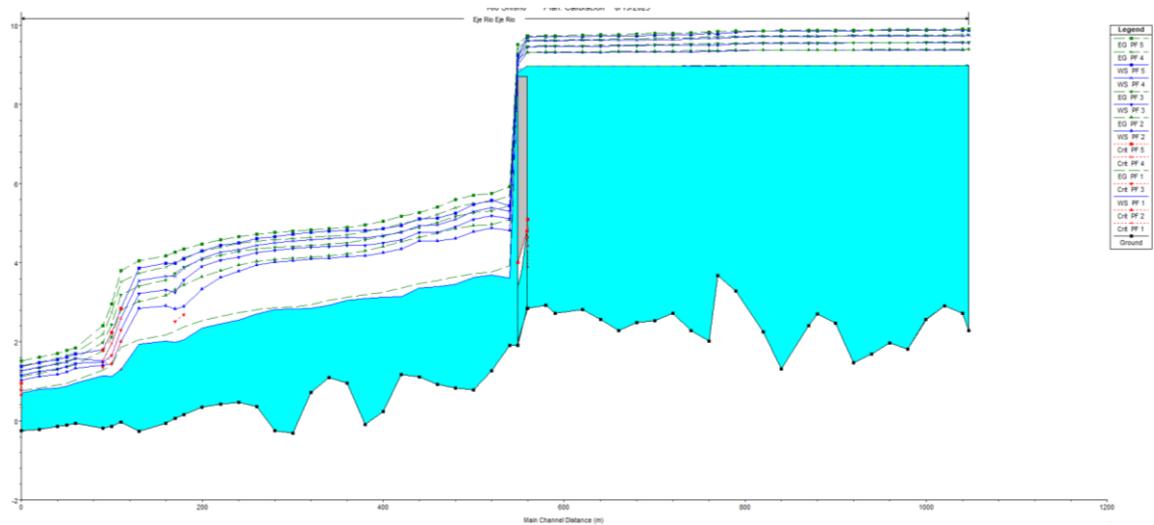


Nota. Elaboración propia

Se observó como la estructura tipo marco de concreto de 3x2m actuó como un elemento obstructor en el paso de los flujos provocando el rebose del agua y posteriormente el colapso de la estructura ver figura 32.

**Figura 32**

*Modelo HEC RAS Planta calibración*

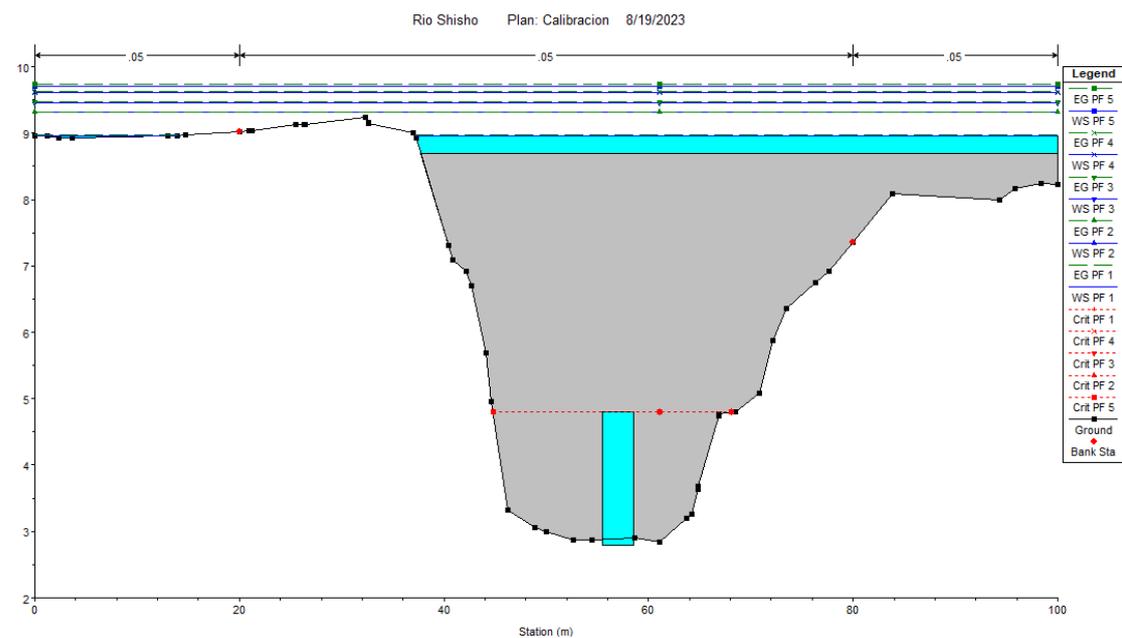


*Nota.* Elaboración propia

El resultado del modelo presenta los niveles de agua por encima del terreno mostrando sobre elevación del nivel de agua como lo ocurrido el evento de precipitaciones del 2017 como se muestra en la figura 33 y figura 34 que representa secciones del modelo hidráulico aguas arriba y aguas debajo de la alcantarilla marco.

**Figura 33**

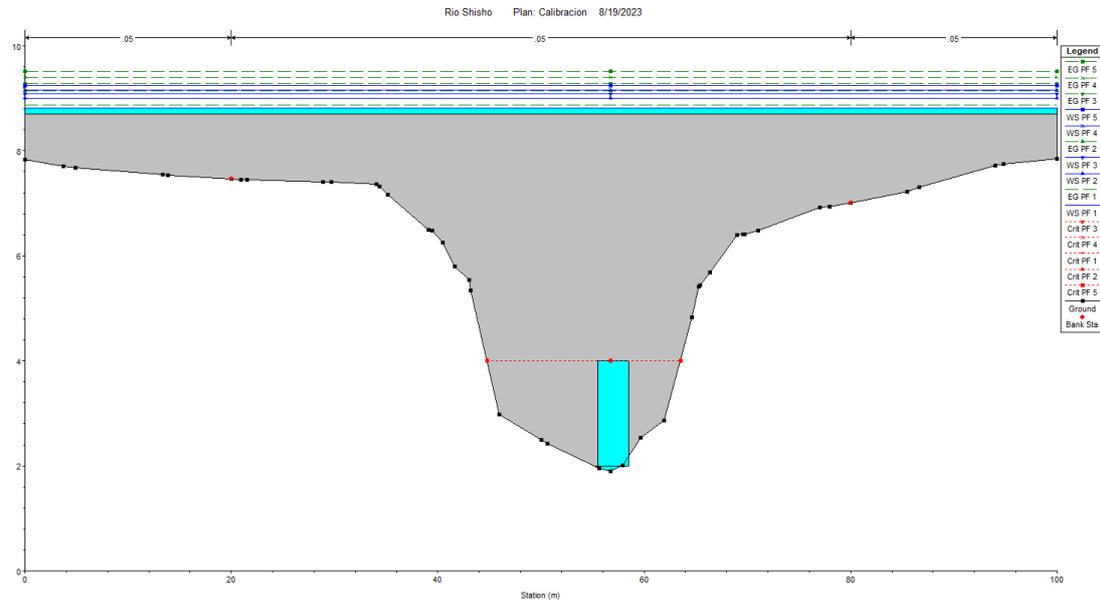
*Vista aguas arriba modelo calibración marco 3x2m*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 34**

*Vista aguas abajo modelo calibración marco 3x2m*



*Nota.* Elaboración propia

Los resultados obtenidos para la calibración del modelo se presentan en la figura 35 para los diferentes caudales se muestra el nivel máximo de agua obtenido.

**Figura 35**

*Salida Hec - Ras Modelo evento 2017*

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: Calibracion River: Eje Rio Reach: Eje Rio												Reload Data
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
Eje Rio	580	PF 1	50.00	2.92	8.96		8.97	0.000033	0.27	196.38	74.03	0.04
Eje Rio	580	PF 2	100.00	2.92	9.31		9.32	0.000098	0.49	224.39	86.73	0.08
Eje Rio	580	PF 3	125.00	2.92	9.46		9.48	0.000170	0.57	238.55	100.00	0.10
Eje Rio	580	PF 4	150.00	2.92	9.61		9.63	0.000208	0.65	253.08	100.00	0.11
Eje Rio	580	PF 5	175.00	2.92	9.71		9.74	0.000253	0.73	263.49	100.00	0.12
Eje Rio	560	PF 1	50.00	2.84	8.96	3.90	8.97	0.000029	0.27	199.07	76.48	0.04
Eje Rio	560	PF 2	100.00	2.84	9.31	4.42	9.32	0.000118	0.47	230.95	100.00	0.08
Eje Rio	560	PF 3	125.00	2.84	9.46	4.65	9.48	0.000156	0.55	246.14	100.00	0.10
Eje Rio	560	PF 4	150.00	2.84	9.61	4.90	9.62	0.000191	0.63	260.62	100.00	0.11
Eje Rio	560	PF 5	175.00	2.84	9.71	5.10	9.73	0.000233	0.71	270.96	100.00	0.12
Eje Rio	550		Culvert									
Eje Rio	540	PF 1	50.00	1.90	3.61		3.93	0.013449	2.47	20.24	17.77	0.74
Eje Rio	540	PF 2	100.00	1.90	4.81		5.08	0.005534	2.31	43.21	20.81	0.51
Eje Rio	540	PF 3	125.00	1.90	5.11		5.43	0.005765	2.52	49.58	21.48	0.53
Eje Rio	540	PF 4	150.00	1.90	5.29		5.69	0.006617	2.80	53.57	21.89	0.57
Eje Rio	540	PF 5	175.00	1.90	5.44		5.93	0.007608	3.07	56.94	22.39	0.62
Eje Rio	520	PF 1	50.00	1.26	3.69		3.77	0.002194	1.27	39.43	23.86	0.32
Eje Rio	520	PF 2	100.00	1.26	4.87		4.97	0.001638	1.40	71.33	29.45	0.29
Eje Rio	520	PF 3	125.00	1.26	5.19		5.31	0.001801	1.54	80.92	30.95	0.31
Eje Rio	520	PF 4	150.00	1.26	5.40		5.55	0.002092	1.72	87.45	31.96	0.33
Eje Rio	520	PF 5	175.00	1.26	5.58		5.76	0.002385	1.88	93.26	32.83	0.36
Eje Rio	500	PF 1	50.00	0.78	3.62		3.72	0.002327	1.42	35.32	18.63	0.33
Eje Rio	500	PF 2	100.00	0.78	4.79		4.93	0.002152	1.68	60.46	31.82	0.33
Eje Rio	500	PF 3	125.00	0.78	5.09		5.26	0.002383	1.85	71.84	42.96	0.35
Eje Rio	500	PF 4	150.00	0.78	5.29		5.49	0.002797	2.03	80.53	44.44	0.38
Eje Rio	500	PF 5	175.00	0.78	5.47		5.70	0.003190	2.18	88.45	45.76	0.41
Eje Rio	480	PF 1	50.00	0.82	3.45		3.65	0.004969	1.94	25.81	14.51	0.46
Eje Rio	480	PF 2	100.00	0.82	4.61		4.86	0.004760	2.22	45.01	19.92	0.47
Eje Rio	480	PF 3	125.00	0.82	4.91		5.18	0.007817	2.30	54.58	38.92	0.58
Eje Rio	480	PF 4	150.00	0.82	5.09		5.39	0.008049	2.46	62.27	45.65	0.60
Eje Rio	480	PF 5	175.00	0.82	5.25		5.59	0.008507	2.60	70.14	52.65	0.62

*Nota.* Elaboración propia

De los caudales analizados se obtuvieron los siguientes niveles de agua los cuales se muestran en la tabla 26:

**Tabla 26**

*Caudales para la calibración del modelo*

Caudal en m <sup>3</sup> /s	Nivel (m.s.n.m.)
50	8.97
100	9.32
125	9.48
150	9.62
175	9.73

*Nota.* Elaboración propia

Se interpoló el caudal a  $174\text{m}^3/\text{s}$  generado durante el evento del año 2017. Haciendo variaciones entre los valores de CN entre condiciones normales a condiciones húmedas se obtuvieron los valores CN calibrados que se presentan en la tabla 27:

**Tabla 27**

*Número de curva Calibrado*

Cuenca	CN normal	CN húmeda	CN calibrado
<b>Inferior (&lt;200 m.s.n.m.)</b>	69	84	78
<b>Superior (&gt;200 m.s.n.m.)</b>	74	87	82

*Nota.* Elaboración propia

c. Modelo Meteorológico

Para el modelo meteorológico se utilizó el período de retorno a 140 años, los datos de precipitaciones de la estación Pariacoto, la precipitación máxima fue transformada usando la tormenta SCS tipo II, por ausencia de perfiles de tormenta. Los datos descritos fueron ingresados al software HEC-HMS. Para el valor del tiempo de retardo (T-lag) se empleó el método del hidrograma unitario Snyder, utilizando las características del cauce y de la sub cuenca, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 28.

**Tabla 28**

*Tiempo de Retardo hidrograma Snyder*

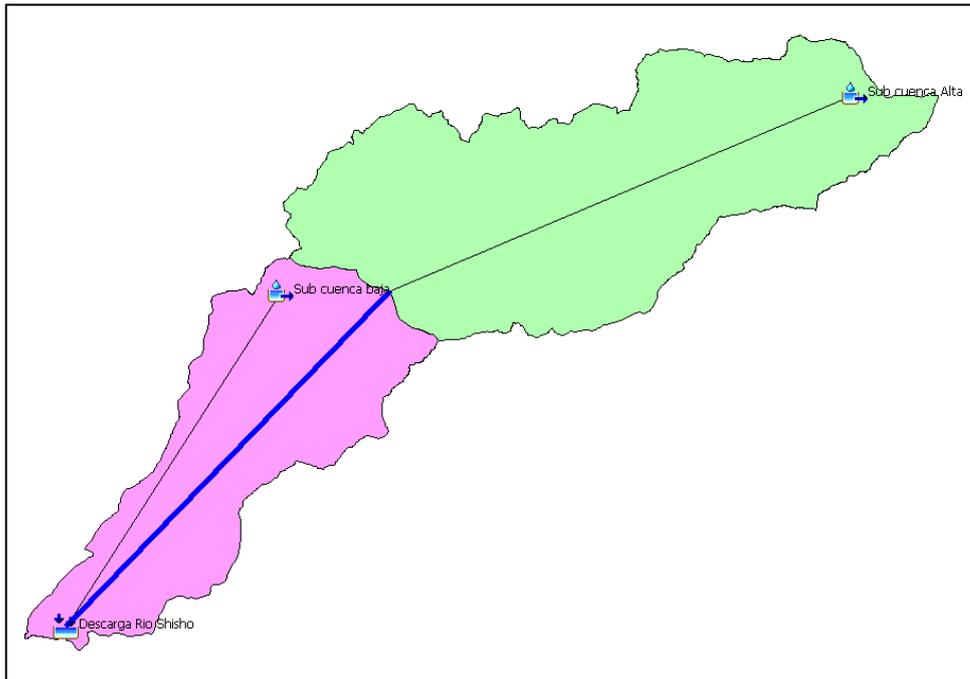
Cuenca	Área Km <sup>2</sup>	Parámetros Geomorfológicos		Parámetros Hidrograma Snyder		
		L	Lc	Ct	Tp	Cp
		millas	millas		(horas)	
Cuenca Inferior	102.99	14.09	7.31	2	8.03	0.6
Cuenca Superior	179.84	16.01	5.72	2	7.75	0.6

*Nota.* Elaboración propia

El modelo meteorológico se realizó en el software Hec - Hms como se representa en la figura 36

### Figura 36

Modelo HEC - HMS cuenca río Shisho

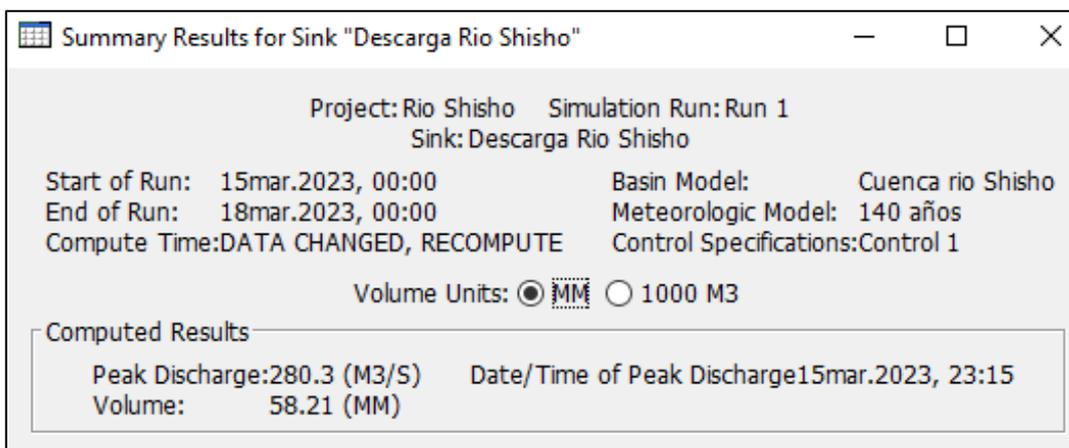


Nota. Elaboración propia

La simulación de la tormenta fue para un tiempo de 72 horas entre las con intervalos de 15 m obteniendo un caudal máximo para un período de retorno de 140 años de  $280.3\text{m}^3/\text{s}$  como se muestra en la figura 37.

### Figura 37

Reporte HEC - HMS cuenca río Shisho

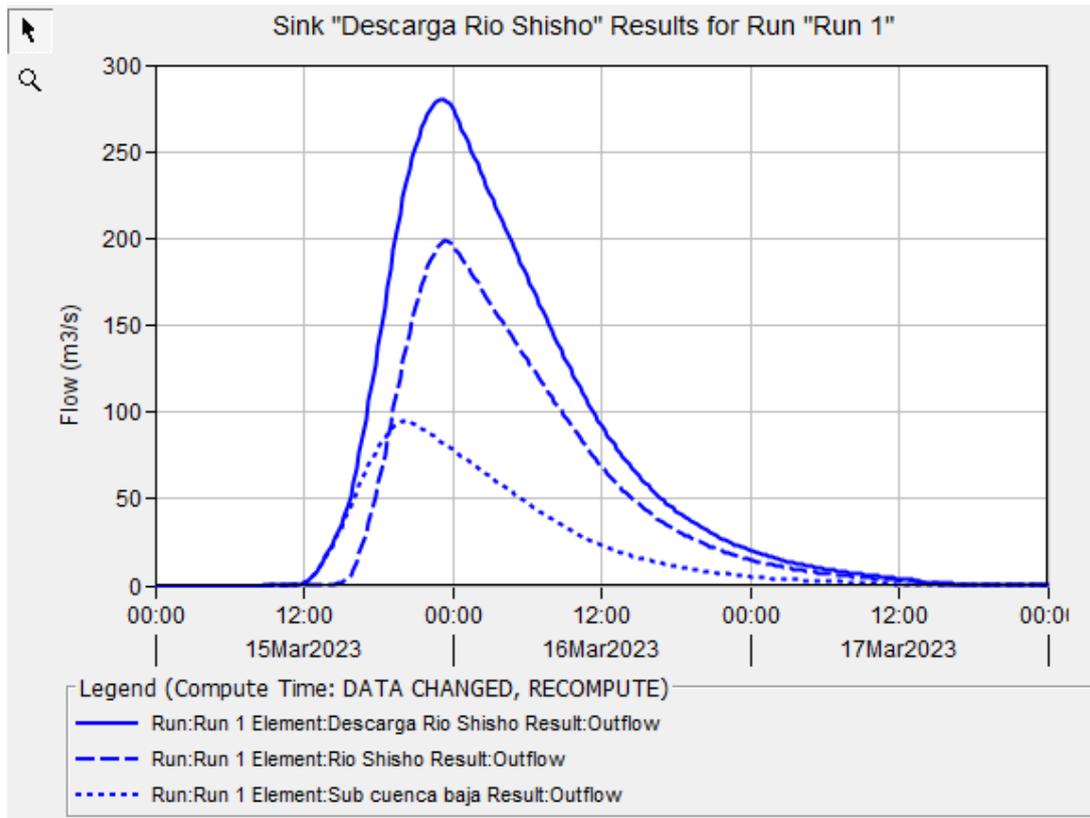


Nota. Elaboración propia

El reporte de caudales de tormenta se del modelo generado en el software HEC-HMS como se muestra en la figura 38.

**Figura 38**

*Reporte caudales de tormenta HEC-HMS*



*Nota.* Elaboración propia

El siguiente reporte se utilizó para el modelamiento hidráulico en HEC-HMS como flujo no permanente para la simulación del comportamiento del cauce en condición actual y modificando el cauce.

### **5.1.12 Transporte de Sedimentos**

De los valores obtenidos de la curva granulométrica del suelo se obtuvieron los siguientes valores D40, D50, D65 y D90 y el caudal a 140 años se utilizaron para obtener el cálculo del caudal unitario en  $q$  ( $m^2/s$ ) por las fórmulas empíricas de Meyer & Muller (1948), Shokllitsch (1950), Engelund & Hansen (1967), Mizuyama & Shimohigashi (1985) y Einstein-Brown (1950) tomando como caudal unitario el valor máximo obtenido.

Los resultados del transporte de sedimentos para un periodo de retorno de 140 años se muestran en la tabla 29

**Tabla 29***Transporte de sedimentos 140 años*

Método	Caudal unitario q (m <sup>2</sup> /s)
Meyer - Peter & Muller (1948)	0.0666
Shoklitsch (1950)	0.0006
Engelund & Hansen (1967)	0.0071
Mizuyama & Shimohigashi (1985)	0.0000
Einstein-Brown (1950)	0.0000
q máximo (m <sup>2</sup> /s)	0.0666
Caudal sólido de fondo (m <sup>3</sup> /s)	3.99 m <sup>3</sup> /s

*Nota.* Elaboración propia

El caudal unitario se multiplicó por el ancho estable de 60 m para obtener el caudal sólido de fondo de 3.99 m<sup>3</sup>/s, cuyo valor se considera despreciable con respecto al caudal líquido obtenido de 280.3 m<sup>3</sup>/s.

### **5.1.13 Modelamiento hidrodinámico río Shisho**

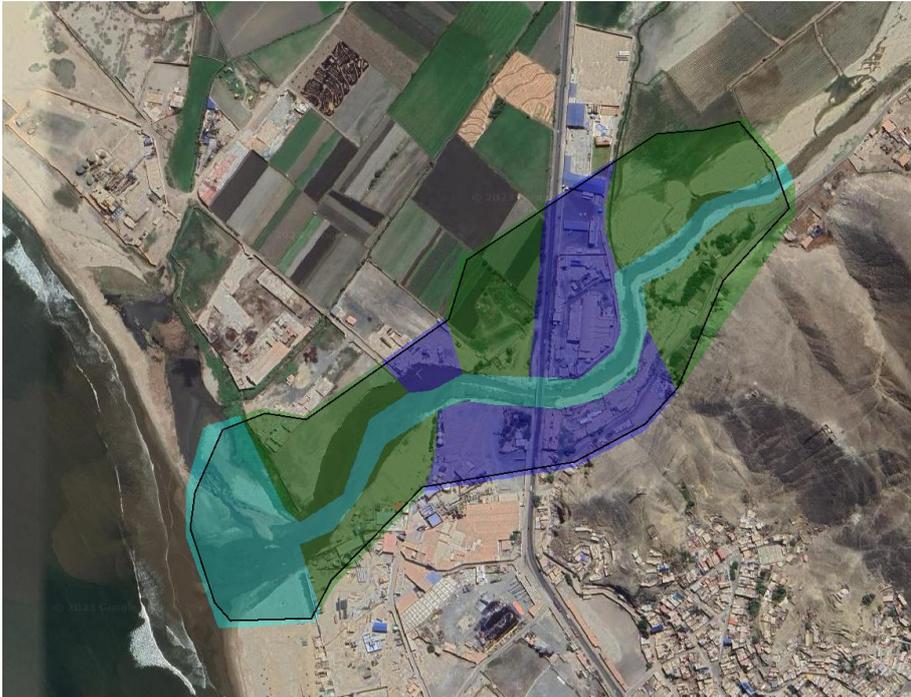
Se realizó el modelo hidrodinámico del cauce existente en el software HEC-RAS 2D insertando la topografía del cauce levantadas en formato tif, manning del lecho del río y laderas, caudales del modelo de tormenta generado en HEC-HMS.

#### **a. Coeficiente de Manning**

Se definieron coeficientes para coeficiente de rugosidad de Manning de la información obtenida en campo mediante el uso del software ArcGis se delimitaron regiones de similares características ver figura 39.

### Figura 39

#### Regiones Coeficiente de Manning



*Nota.* Elaboración propia

Se asignaron valores de Manning para el cauce del río, zonas urbanas y terrenos de cultivo ver tabla 30.

#### Tabla 30

##### Asignación Coeficiente de Manning

Región	Color	n Manning
Cauce de Río		0.04
Zona Urbana		0.08
Terrenos de Cultivo		0.06

*Nota.* Elaboración propia

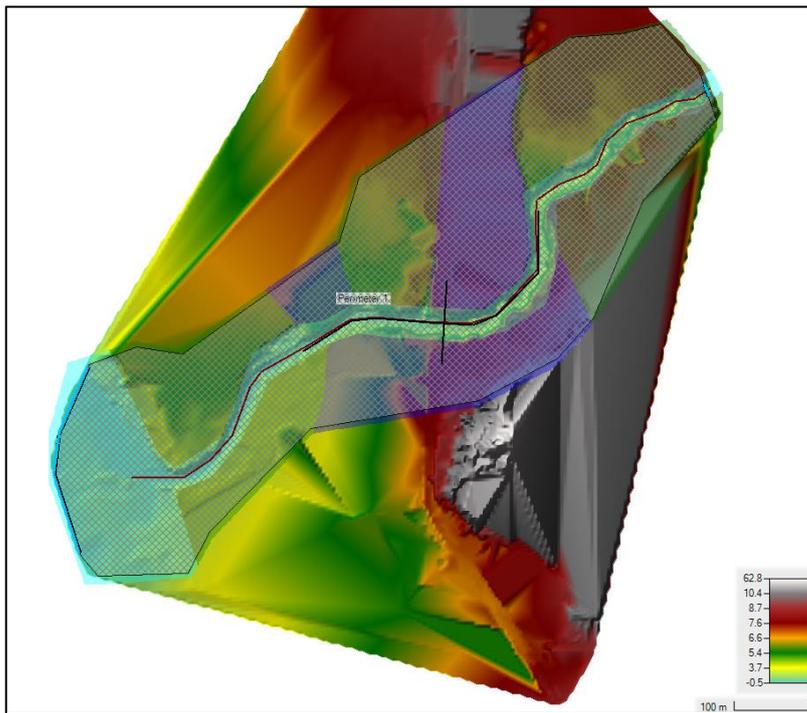
Los valores de manning asignados se utilizarán para los diferentes procesos del modelo hidrodinámico del río Shisho.

#### b. Modelo hidrodinámico 2D HEC-RAS

Se realizó el modelamiento hidrodinámico construyendo la maya a partir de la topografía en formato tif generada en civil 3D, asignación de Manning de acuerdo a la tabla 30, en el software HEC-RAS se generó la malla 2D, se delimitaron los breaklines del cauce del río y bordes de cauce; en la figura 40 se presenta el modelo 2D y en la figura 41 la vista en 3D del modelo hidrodinámico en Hec Ras.

**Figura 40**

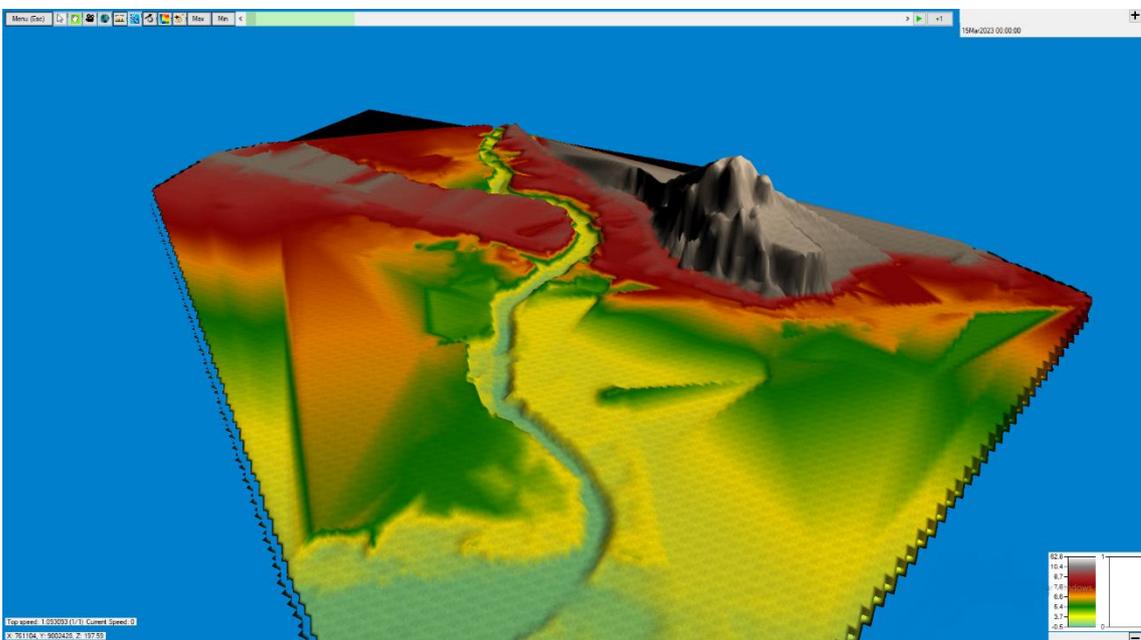
*Modelo Hec Ras 2D*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 41**

*3D View modelo 2D Hec Ras*

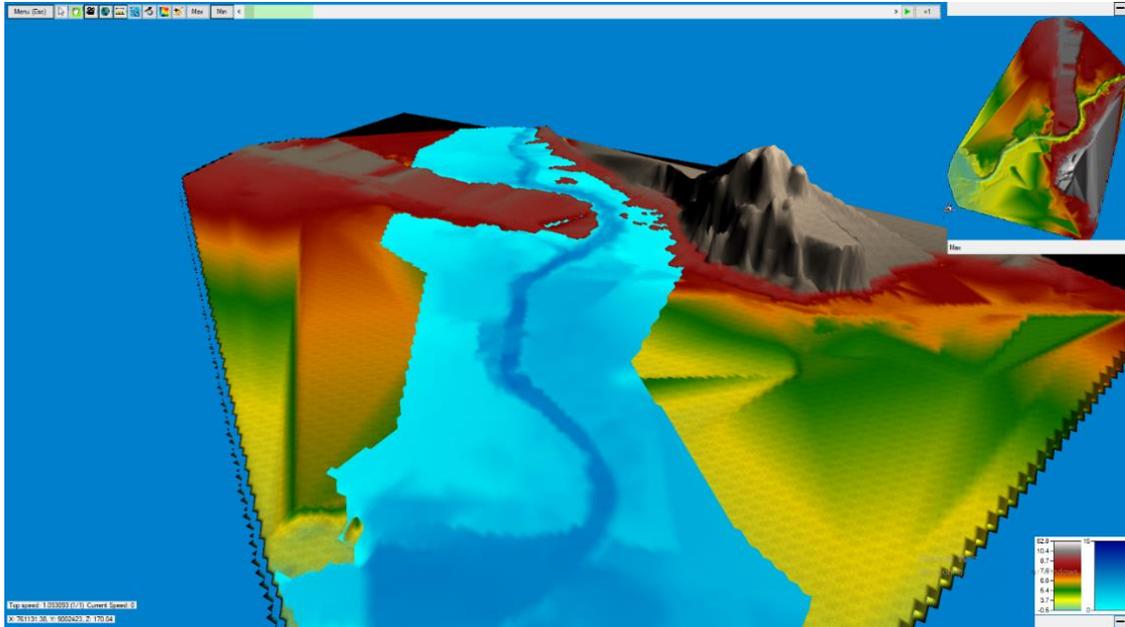


*Nota. Elaboración propia*

La figura 42 es la vista en 3D del resultado del modelo en Hec Ras 2D donde se puede identificar las áreas o zonas de inundación de la condición actual del río.

### Figura 42

*3D View modelo 2D Hec Ras Caudal Máximo*

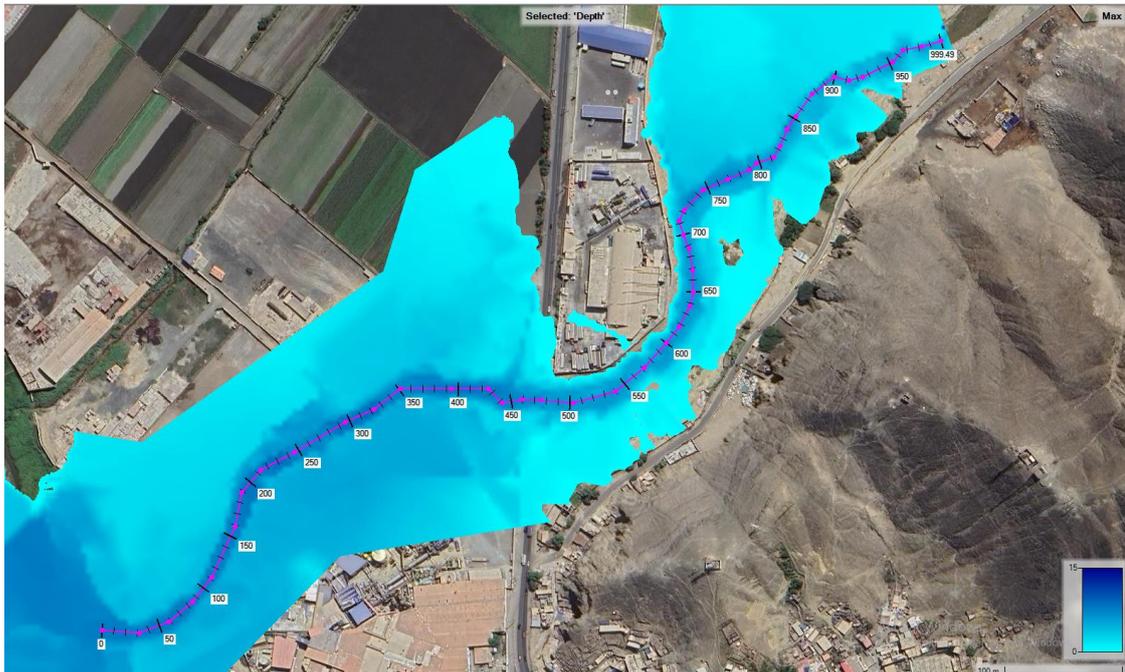


*Nota.* Elaboración propia

Se presenta el modelo 2D Hec Ras la vista en 3D donde se aprecia la zona de inundación producida por el caudal máximo a 140 años hasta su desembocadura en el océano Pacífico. En la figura 43 se puede apreciar el área de inundación implica afectación de infraestructura existente la carretera panamericana en el cruce con el puente Coishco.

**Figura 43**

*Vista en planta zona de inundación caudal máximo 140 años*

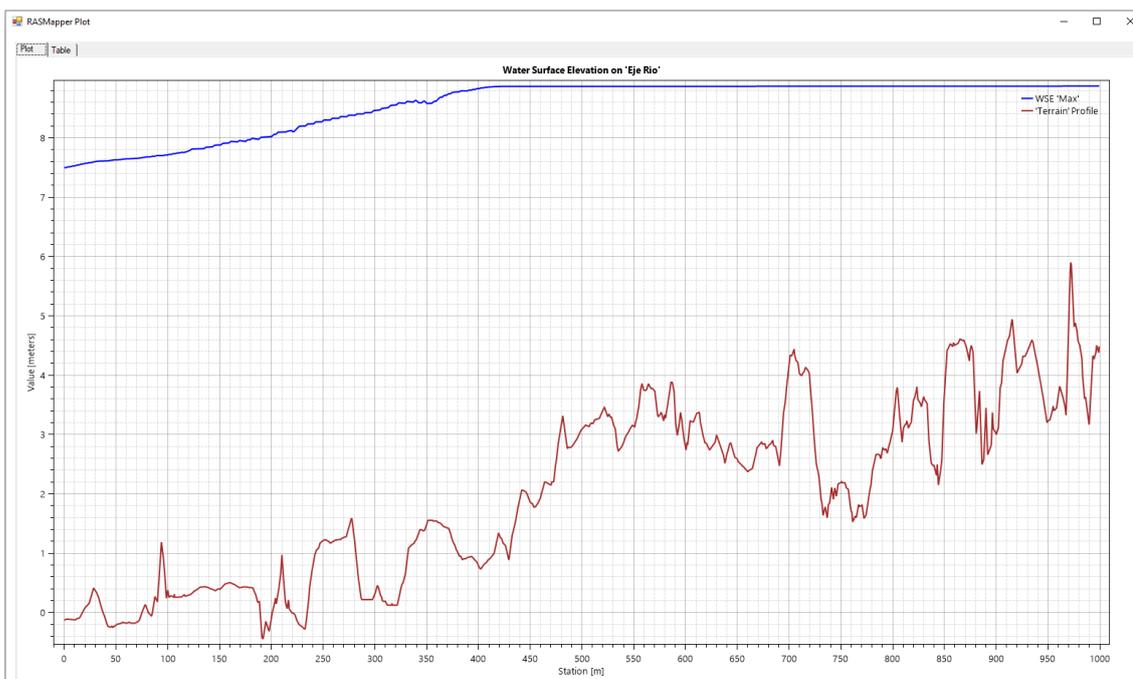


*Nota.* Elaboración propia

El resultado del nivel máximo de agua en condición actual se presenta en la figura 44 respecto al relieve del cauce existente teniendo una cota máxima de 8.875m.

**Figura 44**

*Vista perfil del nivel máximo de agua con un caudal máximo 140 años*

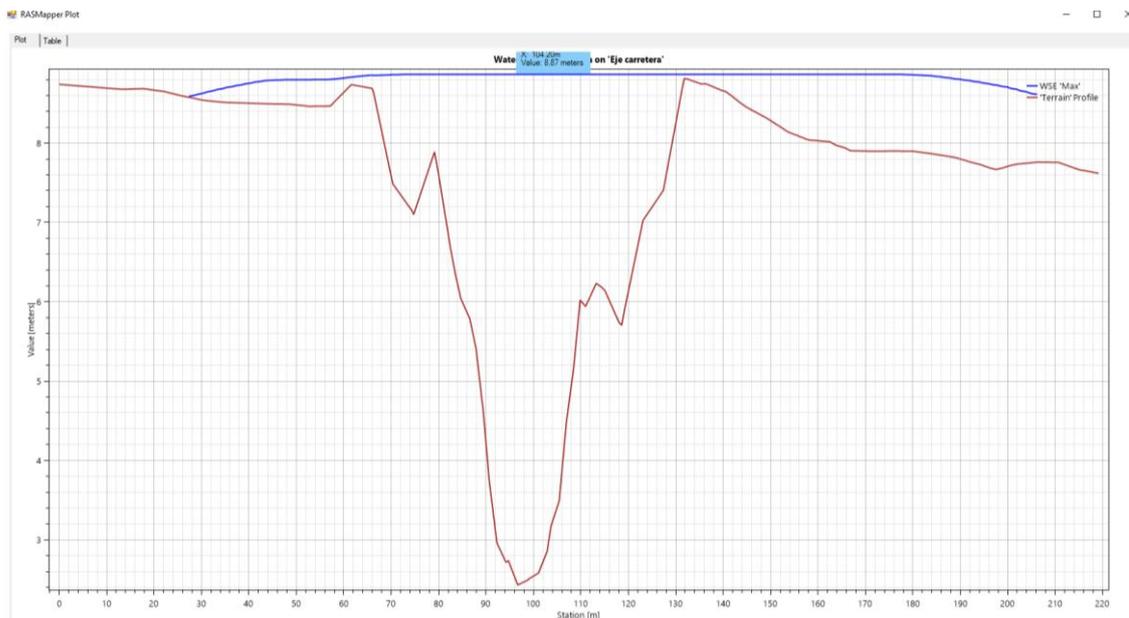


*Nota.* Elaboración propia

Se determinó de la figura 45 que la cota máxima de agua fue de 8.875 m.s.n.m. así como también se muestra la sección en la proyección del puente donde el nivel de agua máximo estimado es de 8.87 m.s.n.m., también se registraron velocidades críticas superiores a los 5.0 m/s. También se pudo observar que el rebose del cauce abarcó un ancho superior a los 80 metros.

### Figura 45

*Vista perfil de la sección de la sección cruce con la panamericana*



*Nota.* Elaboración propia

#### 5.1.14 Rectificación de cauce río Shisho

Se determinó el ancho de equilibrio del cauce utilizando los métodos de Petits, Simons y Henderson, Blech - Altunin y Manning Strickler, para luego modificar la topografía y realizar modelo hidrodinámico en HEC - RAS 2D. en la tabla 31 se muestran los resultados cálculos aplicando los diferentes métodos.

**Tabla 31**

*Ancho de equilibrio o estable del río*

Método	Río Shisho (m)
Pettis	74.34
Simons y Henderson	95.43
Blench – Altunin	85.71
Manning Strikler	53.62
Promedio	77.27
Mínimo	53.62
Máximo	95.43

*Nota.* Elaboración propia

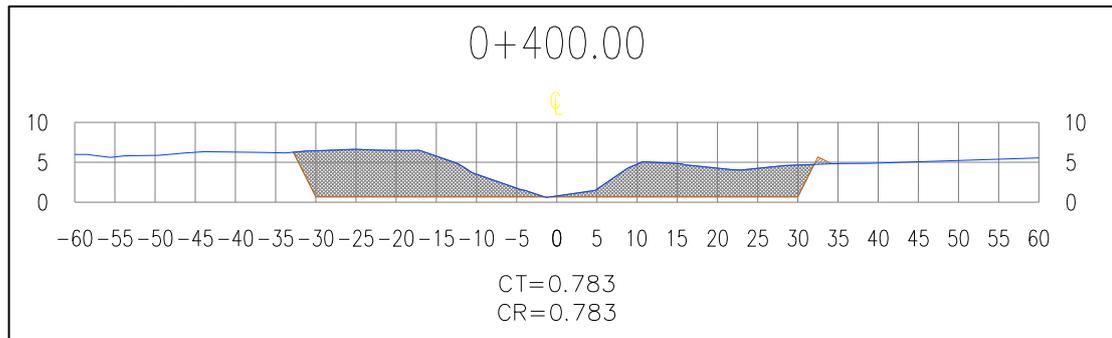
Se modificó la topografía del cauce utilizando como primer valor un ancho estable de 60 m, este se encuentra por encima del valor mínimo y ya que esto implica movimiento de tierra y/o explanaciones. Se realizó la iteración con diferentes anchos en el modelo hidrodinámico hasta poder encauzar el flujo optimizando el costo de obra.

a. Modificación de la topografía en Civil 3D 60 m

La figura 46 representa la sección típica modificada con un ancho de base de 60m.

**Figura 46**

*Sección modificada 60 m de ancho de base cauce del río*

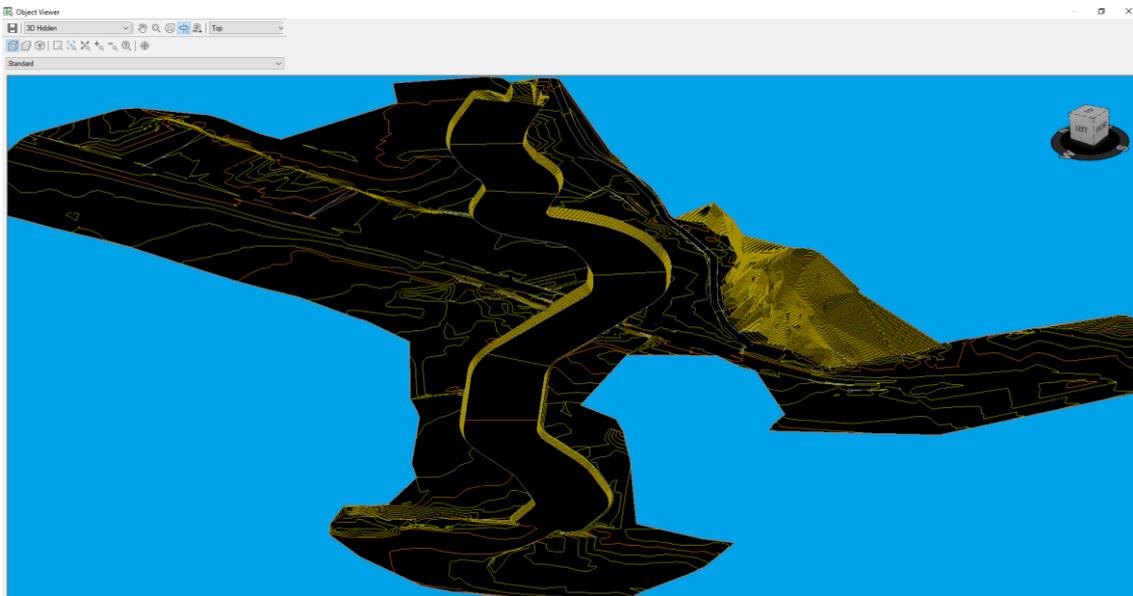


*Nota.* Elaboración propia

Se creó un alineamiento en el cauce del río Shisho para generar el corredor del cauce de un ancho de 60 m de base como nueva sección hidráulica que será parte del nuevo modelo hidrodinámico en HEC-RAS 2D tal como se muestra en la figura 47.

**Figura 47**

*Topografía modificada 60 m de ancho de base*

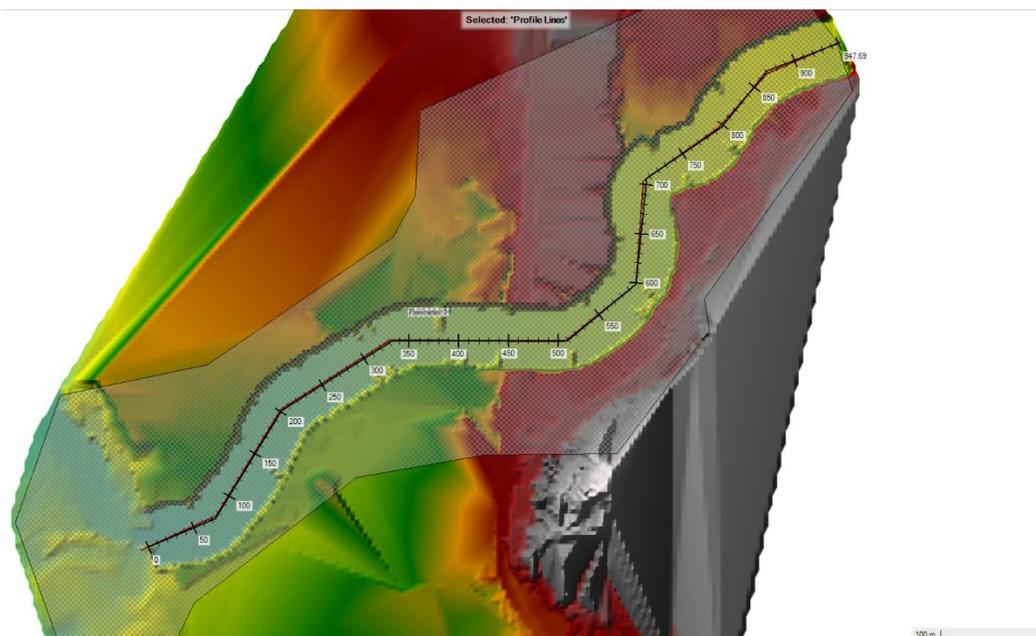


*Nota.* Elaboración propia

Se modificó el cauce del río en una longitud de 1 km hasta la desembocadura con el océano pacífico como se muestra en el 3D view generado con el software civil 3D para con la herramienta export to dem se creó la imagen tif y se generó el nuevo terreno en Hec Ras 2D el cual se presenta en la figura 48.

**Figura 48**

*Modelo Hec Ras 2D cauce modificado 60m*

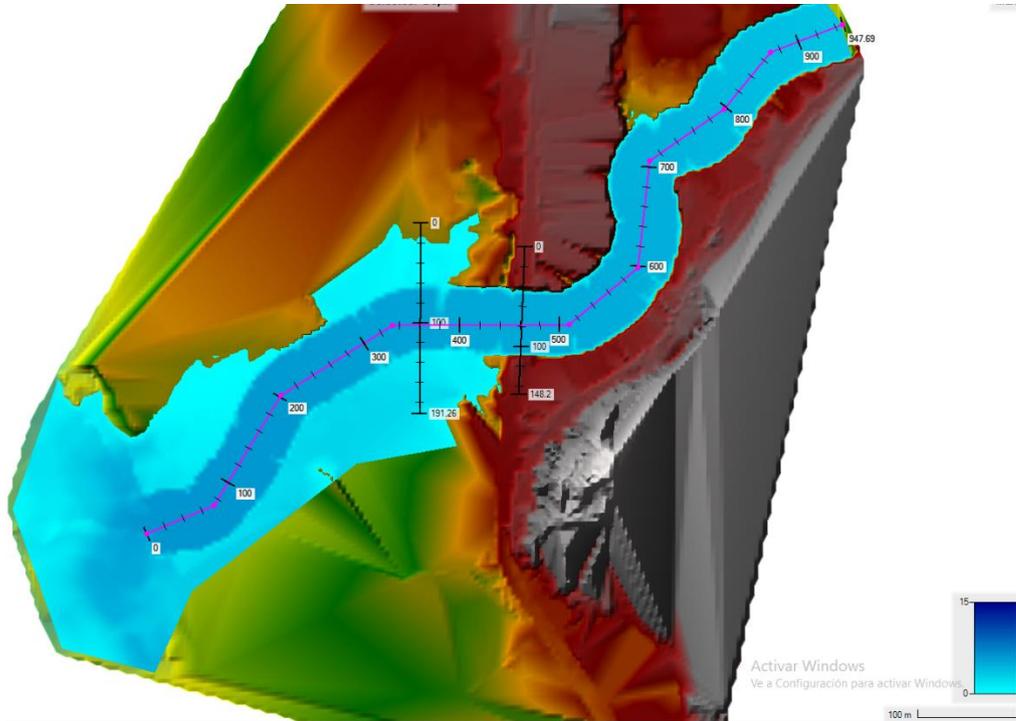


*Nota.* Elaboración propia

La figura 49 es el resultado del modelo hidrodinámico Hec Ras 2D el cual presenta el recorrido del flujo en el ancho propuesto.

**Figura 49**

*Resultado modelos Hec Ras 2D cauce modificado 60m*

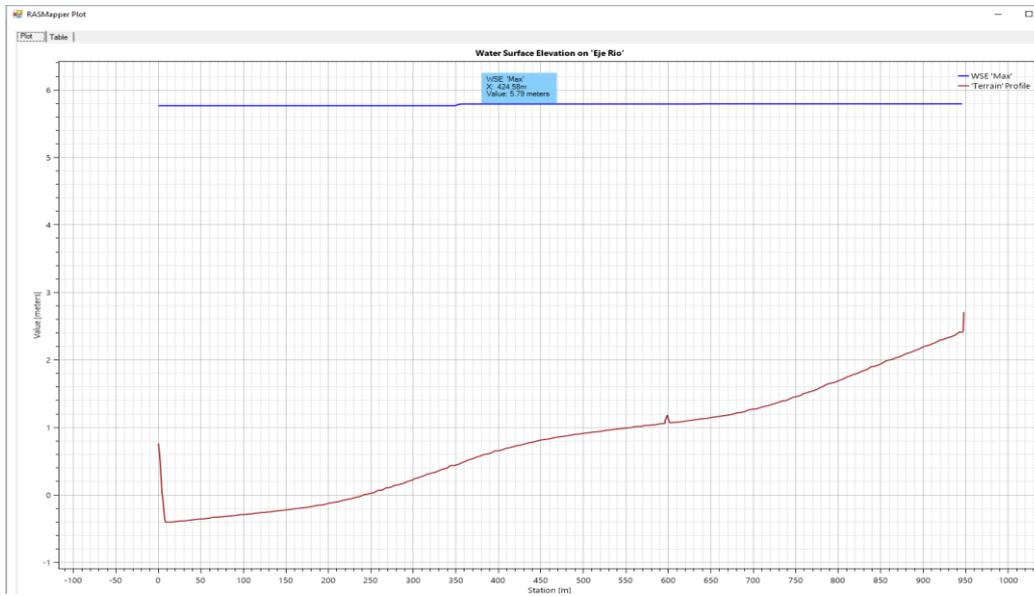


*Nota.* Elaboración propia

La figura 50 es el resultado del nivel máximo de agua obtenido en el modelo hidrodinámico, este perfil muestra la cota máxima de agua con respecto al terreno modificado

## Figura 50

*Perfil del nivel de agua máximo estimado (NAME) cauce modificado 60m*

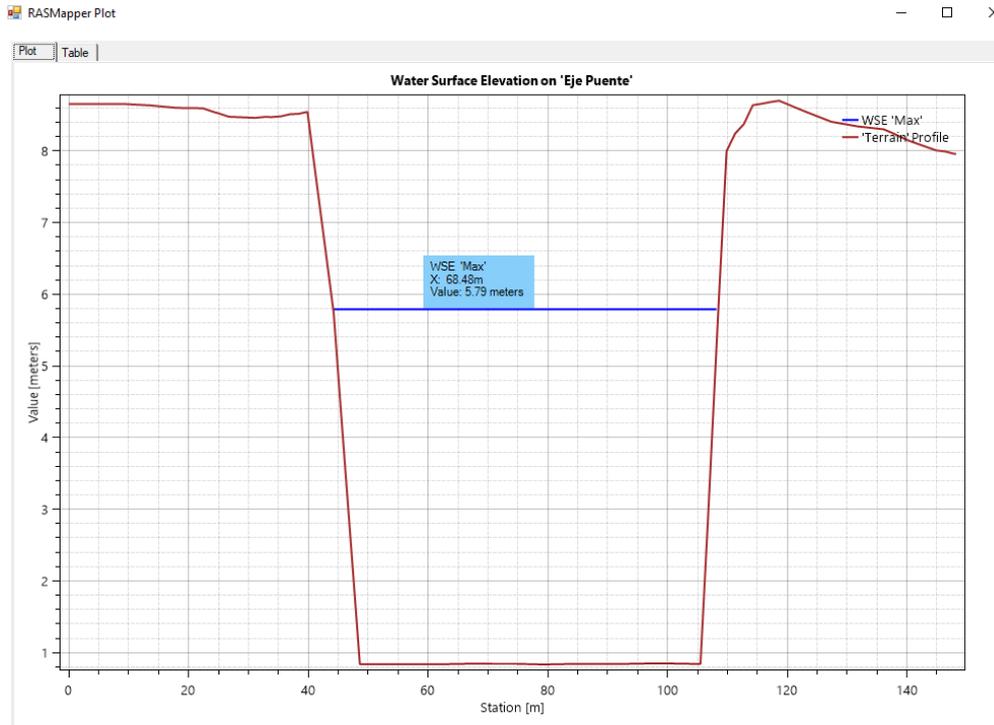


*Nota.* Elaboración propia

El resultado de la modificación del cauce a un ancho de 60 m dio como valor un nivel de agua máximo estimado de 5.79 m.s.n.m., entre las progresivas 440 y 947 ver figura 51, el ancho estable asignado evita el desborde del agua, sin embargo, entre las progresivas 0 y 440 se evidencia aún zonas de inundación en un ancho mayor a los 190 m, esto se debe a la poca pendiente de este tramo y presentar secciones con poca profundidad de cauce ver figura 52.

### Figura 51

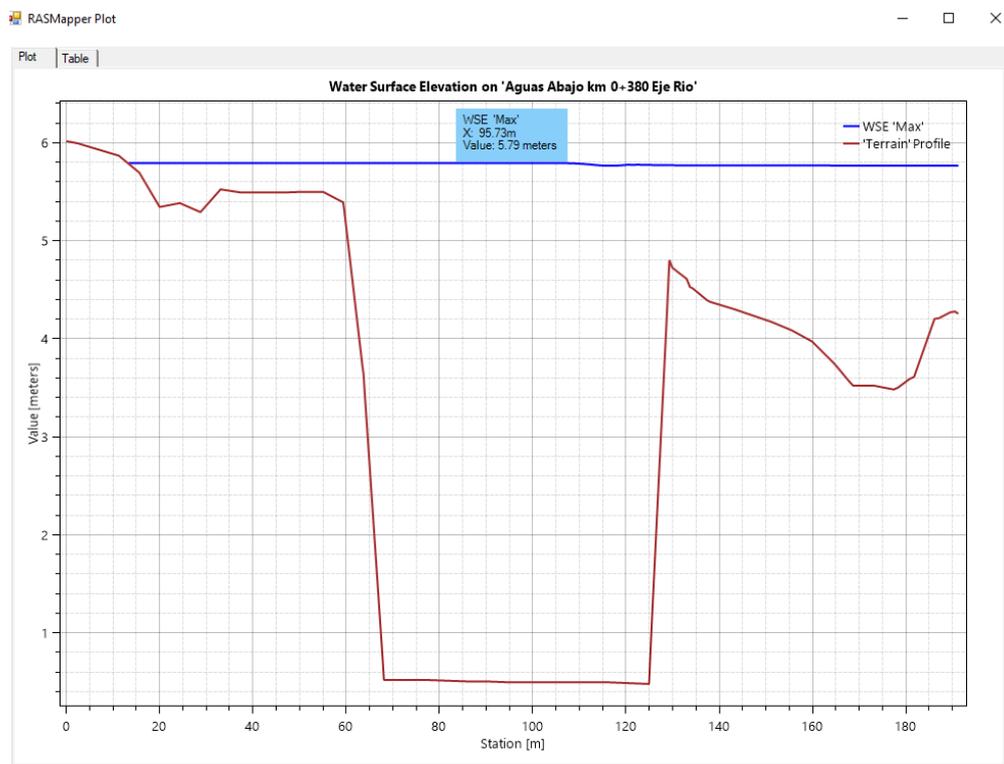
Resultado (NAME) Eje del puente cauce modificado 60m



Nota. Elaboración propia

### Figura 52

Resultado (NAME)aguas abajo del puente cauce modificado 60m

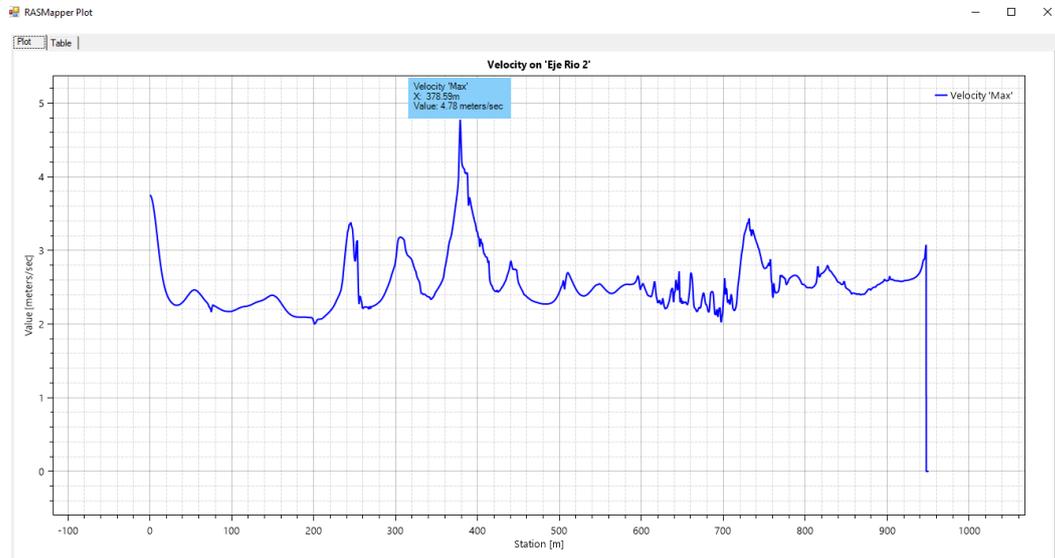


Nota. Elaboración propia

La figura 53 muestra el perfil del cauce vs las velocidades obtenidas con el cauce modificado.

### Figura 53

*Resultado velocidades máximas cauce modificado 60m*



*Nota.* Elaboración propia

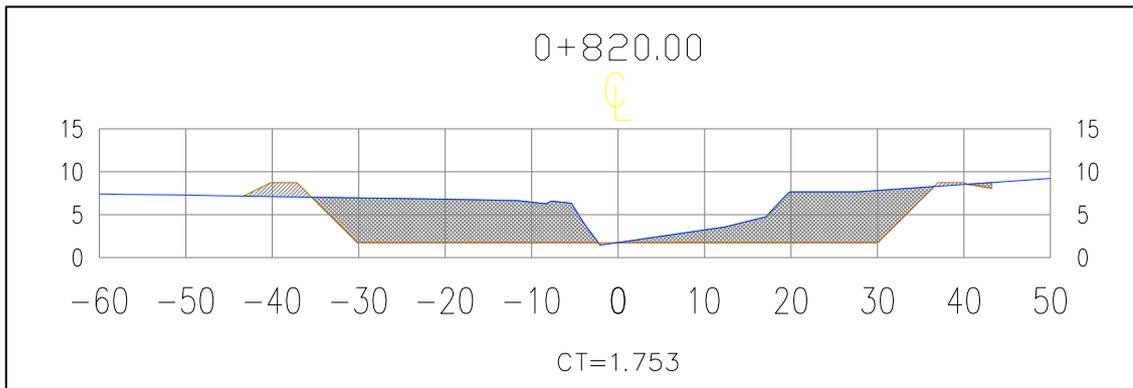
Los resultados de velocidades máximas en el cauce modificado dando como resultado una velocidad máxima de 4.78m/s en el km 0+378.6 ubicado en la zona de inundación.

- b. Modificación de la topografía en Civil 3D 90 m 400 metros aguas abajo del puente Coishco y 60 m aguas arriba del puente

Se modificó la topografía del cauce utilizando como primer valor un ancho estable de 60m desde la ubicación del puente Coishco hacia aguas arriba ver figura 54, y desde el puente Coishco hacia la desembocadura al océano pacifico un ancho de 90 m ver figura 55, este se encuentra por encima del valor máximo obtenido por Simmons y Henderson esto implicó mayor movimiento de tierras.

**Figura 54**

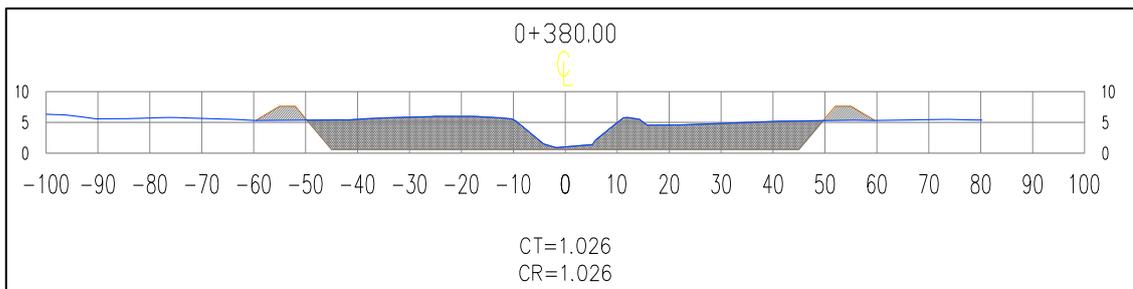
*Sección modificada 60 m de ancho.*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 55**

*Sección modificada 90 m de ancho.*

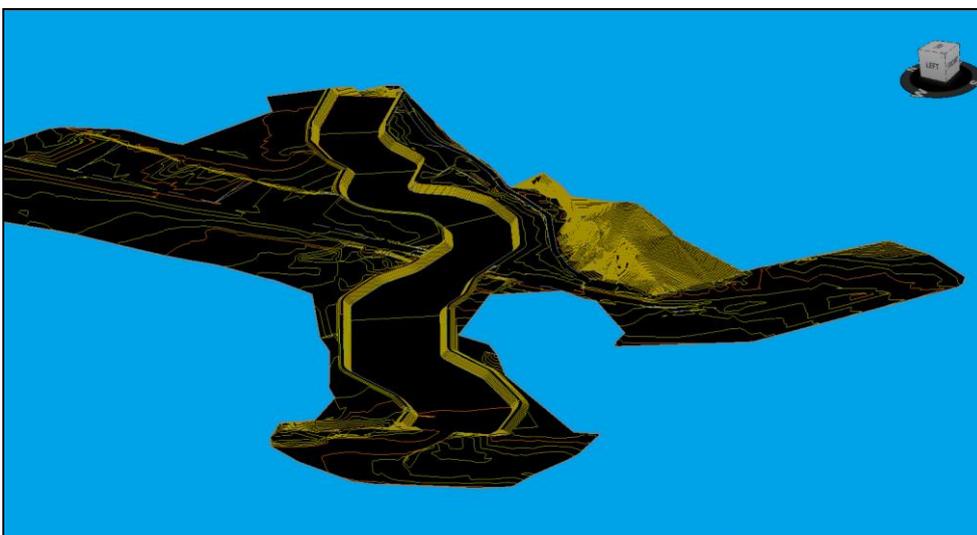


*Nota.* Elaboración propia

La figura 56 representa la topografía del cauce modificada asignando los anchos estables correspondientes.

**Figura 56**

*Topografía modificada 90 m y 60 metros de ancho de base*

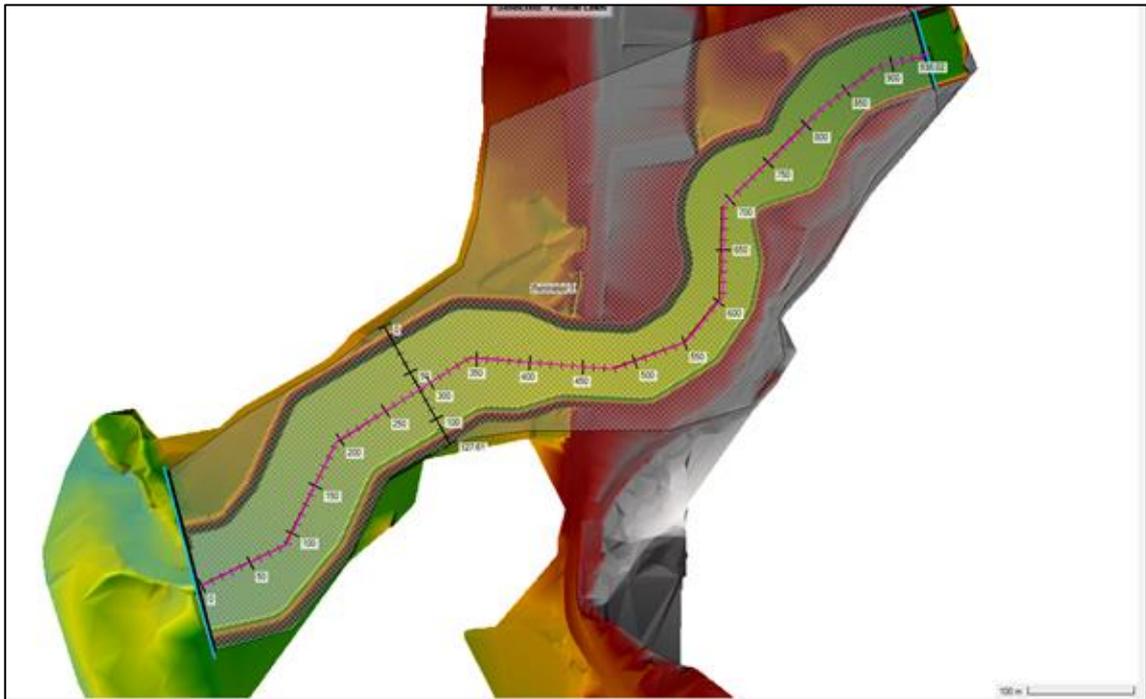


*Nota.* Elaboración propia

Se modificó el cauce del río en una longitud de 1 km hasta la desembocadura con el océano pacifico como se muestra en el 3D view generado con el software civil 3D para con la herramienta export to dem se creó la imagen tif, generando el nuevo terreno en Hec Ras 2D tal como se muestra en la figura 57.

**Figura 57**

*Modelo Hec Ras 2D cauce modificado 90m y 60m*

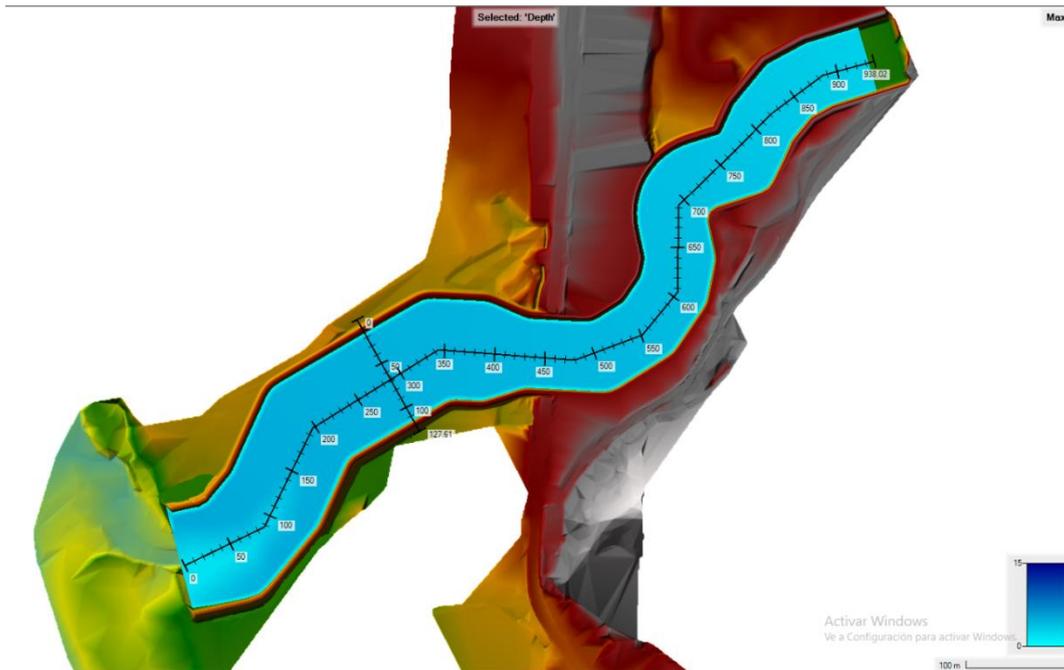


*Nota.* Elaboración propia

La figura 58 muestra el resultado del modelo hidrodinámico con el cauce modificado donde se evidencia que no hubo desborde del río.

**Figura 58**

*Resultado modelos Hec Ras 2D cauce modificado 60m y 90m*

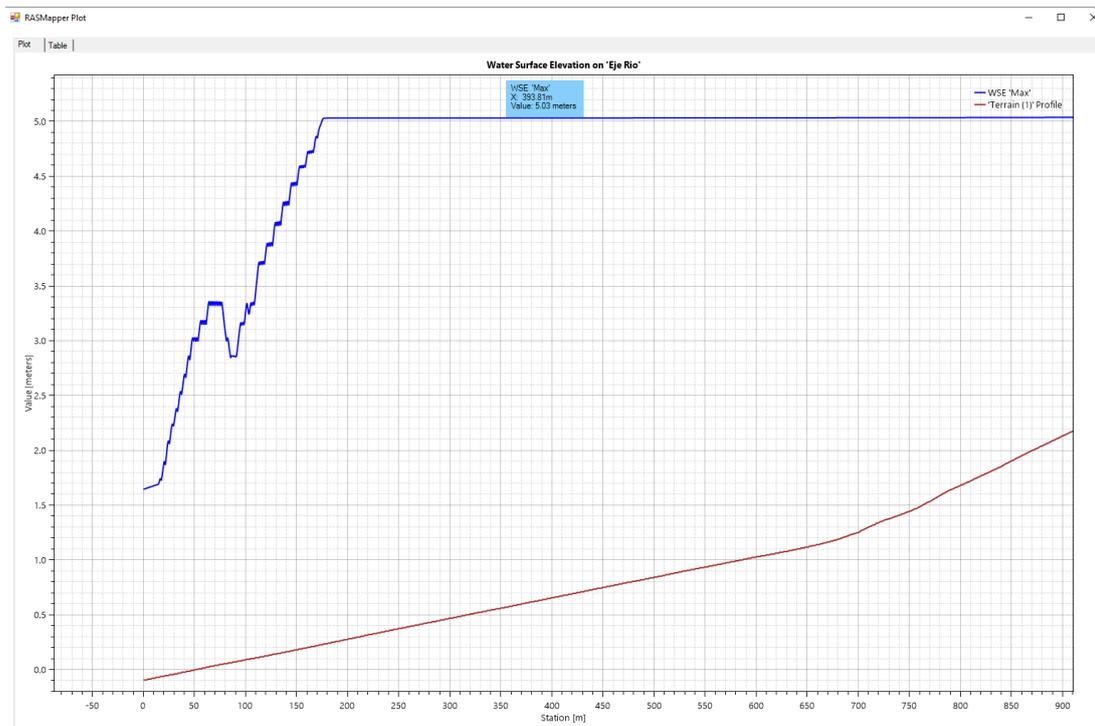


*Nota. Elaboración propia*

La figura 59 muestra el resultado del perfil del agua con el fondo del cauce modificado

**Figura 59**

*Perfil del nivel de agua máximo estimado (NAME) cauce modificado 90m*

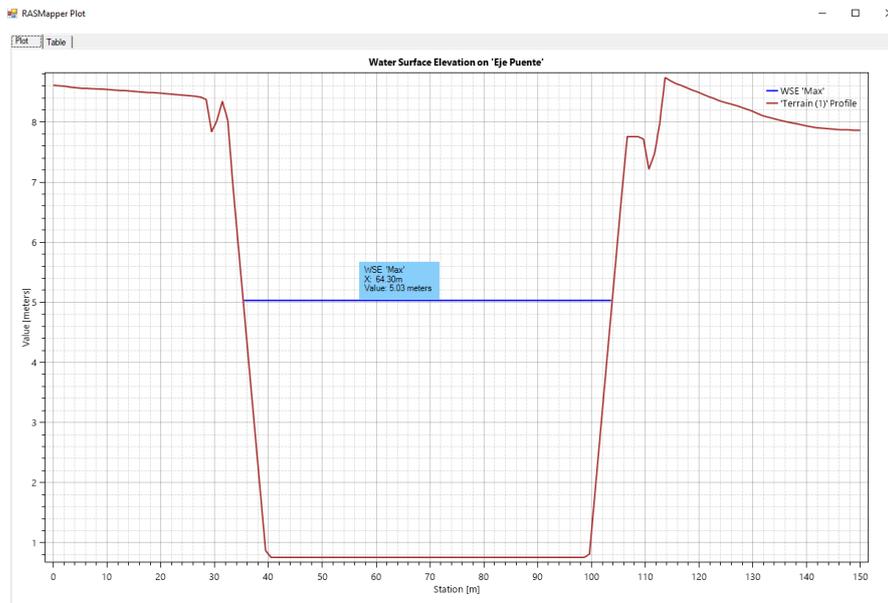


*Nota. Elaboración propia*

El resultado de la modificación del cauce a un ancho de 90 m y 60 m dio como valor un nivel máximo de agua estimado de 5.03 m.s.n.m., hasta la progresiva 0+170 del eje del río donde la altura decrece debido a su descarga al océano pacifico. La modificación del terreno evita el desborde de los flujos en el ancho asignado ver figura 60 y 61.

### Figura 60

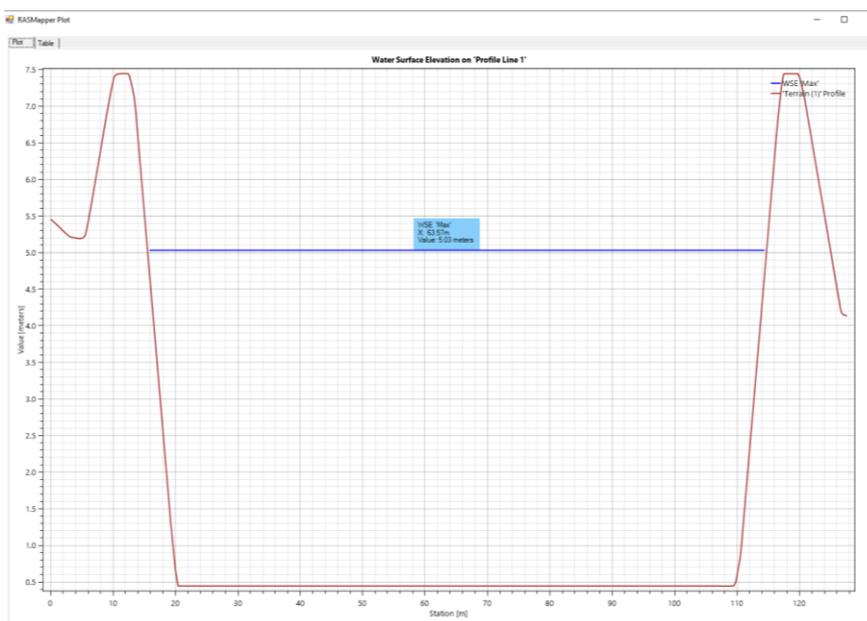
Resultado (NAME)Eje del puente cauce modificado 60m



Nota. Elaboración propia

### Figura 61

Resultado (NAME)aguas abajo del puente cauce modificado 90m

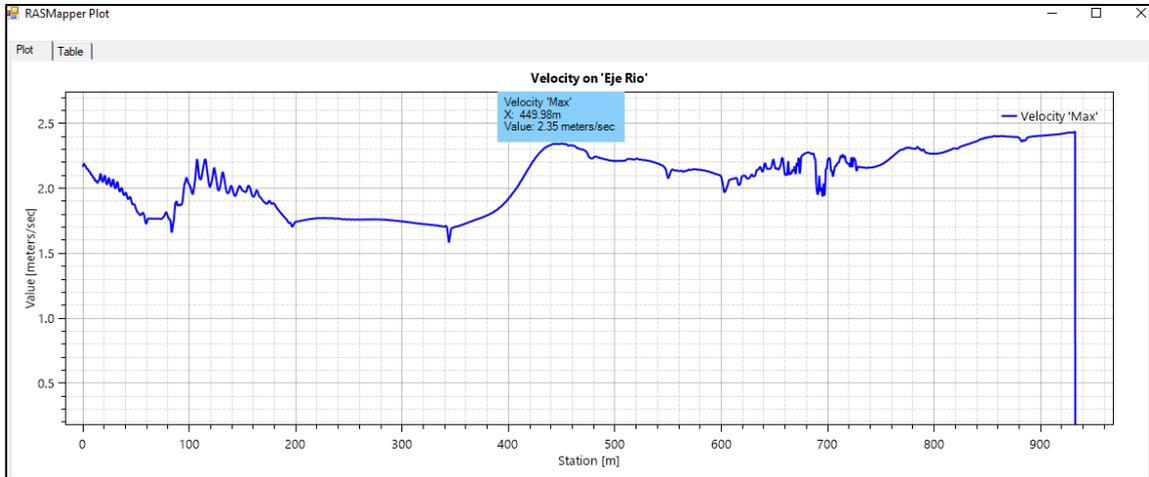


Nota. Elaboración propia

En la figura 62 se muestran los resultados de velocidades máximas en el cauce modificado dando como resultado una velocidad máxima de 2.35m/s en el km 0+449.98.

**Figura 62**

*Resultado velocidades máximas cauce modificado 90m*



*Nota.* Elaboración propia

### 5.1.15 Análisis de costo rectificación de cauce

En el software civil 3D se creó un alineamiento en planta y un perfil longitudinal asignando pendiente promedio de 0.35% para el drenaje de la quebrada y asignando la sección transversal según el ancho estable evaluado de 60m y 90m. Con la herramienta corredor se modificó el cauce y se generaron los volúmenes de movimiento de tierra para la construcción de la obra. Se adjunta planos de rectificación de cauce en el anexo C.

#### a. Reporte de movimientos de tierra

Con el software civil 3D se generó el reporte de áreas de corte y relleno para calcular los volúmenes de explanaciones como se muestra en la tabla 32.

**Tabla 32**

*Movimiento de tierras para la rectificación de cauce*

Progresiva	Área de Corte	Área de Relleno	Volumen Corte	Volumen Relleno
0+000.000	160.45	63.56	0	0
0+020.000	294.17	54.99	4546.2	1185.5
0+040.000	290.04	56.97	5781.03	1211.3
0+060.000	297.86	58.5	5202.17	1614.44
0+080.000	307.09	51.08	5948.95	1162.77
0+100.000	313.7	47.58	6207.86	986.6
0+120.000	327.15	43.02	6124.81	1116.9

Progresiva	Área de Corte	Área de Relleno	Volumen Corte	Volumen Relleno
0+140.000	325.96	42.45	6402.24	948.45
0+160.000	320.87	44.09	6468.23	865.42
0+180.000	315.02	42.57	6547.97	745.78
0+200.000	337.37	45.4	7149.37	549.74
0+220.000	283.43	41.87	6803.8	508.61
0+240.000	292.55	40.34	5803.93	782.21
0+260.000	297.42	39.88	5899.69	802.13
0+280.000	287.68	44.56	5850.95	844.31
0+300.000	331.08	38.06	6187.54	826.14
0+320.000	337.71	34.2	6687.9	722.59
0+340.000	350.48	31.73	7210.21	577.53
0+360.000	331.16	31.25	7049.83	548.26
0+380.000	389.14	29.31	7245.53	592.99
0+400.000	347.52	25.62	7366.61	549.3
0+420.000	343.42	15.23	6909.43	408.49
0+440.000	294	8.48	6374.2	237.13
0+460.000	369.42	0	6634.21	84.83
0+480.000	366.18	0	7355.98	0
0+500.000	405.74	0	7419.34	0
0+520.000	385.83	0	7659.95	0
0+540.000	388.53	0	7710.81	0
0+560.000	398.44	0	7748	0
0+580.000	404.11	0	7874.56	0
0+600.000	418.65	0.51	8015.46	6.57
0+620.000	414.02	0	7873.87	7.75
0+640.000	438.99	0	8150.07	0
0+660.000	411.01	0	8307.22	0
0+680.000	449.44	0	8837.74	0
0+700.000	370.45	0	8317.35	0
0+720.000	306.01	17.51	6281.99	346.51
0+740.000	262.42	14.01	5286.52	464.97
0+760.000	291.51	13.71	5683.28	220.27
0+780.000	329.65	13.03	6916.7	75.45
0+800.000	291.79	13.11	6654.3	110.02
0+820.000	260.44	10.41	5489.3	307.43
0+840.000	222.55	18.13	4851.24	297.69
0+860.000	244.4	17.12	4858.21	384.92
0+880.000	243.26	15.09	4999.08	351.84
0+900.000	261.48	15.34	5165.51	336.14
0+920.000	292.67	9.76	5541.5	251.03
0+940.000	311.13	9.65	6038.02	194.14

Progresiva	Área de Corte	Área de Relleno	Volumen Corte	Volumen Relleno
0+960.000	313.37	8.4	6244.97	180.5
0+972.522	341.31	8.27	4098.98	104.38
		Total (m <sup>3</sup> )	319,782.61	21,511.03

*Nota.* Elaboración propia

#### b. Metrados

Del reporte de movimiento de tierras se calcularon los valores y partidas necesarias para la ejecución de la obra rectificación de cauce como se muestra en la tabla 33.

**Tabla 33**

*Metrados rectificación de cauce*

Descripción	UND.	Metrado
Rectificación de cauce		
Movimiento de tierras		
Excavación en material suelto	m <sup>3</sup>	319,782.61
Conformación de terraplenes con material propio	m <sup>3</sup>	21,511.03
Transportes		
Transporte de materiales excedentes a DME	m <sup>3</sup>	298,271.58
Protección ambiental		
Programa de cierre de obra		
Conformación y acomodo de DME	m <sup>3</sup>	298,271.58

*Nota.* Elaboración propia

#### c. Costo de ejecución de proyecto

Se presenta la tabla 34 donde se calculó del costo, para el cual se realizaron los análisis de precios unitarios correspondientes a las partidas descritas las cuales se adjuntan en el anexo D de la presente investigación. Ibáñez (2012) recomienda en su libro Manual de costos y presupuestos considerar valores de 20% en gastos generales y 10 % de utilidades con respecto al costo directo. El valor del IGV vigente según decreto supremo N° 055-99-EF publicado el 2011 es de 18%.

**Tabla 34***Presupuesto rectificación de cauce*

Descripción	UND.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
Rectificación de cauce				2,280,076.93
Movimiento de tierras				1,981,791.21
Excavación en material suelto	m <sup>3</sup>	319,782.61	6.13	1,960,267.40
Conformación de terraplenes con material propio	m <sup>3</sup>	21,511.03	12.78	21,523.81
Transportes				298,285.71
Transporte de materiales excedentes a DME	m <sup>3</sup>	298,271.58	14.13	298,285.71
Protección ambiental				1,002,192.51
Programa de cierre de obra				1,002,192.51
Conformación y acomodo de DME	m <sup>3</sup>	298,271.58	3.36	1,002,192.51
Costo directo	cd			3,282,269.43
gastos generales cd*%	gg	20%		656,453.89
utilidad cd*%	u	10%		328,226.94
subtotal cd+gg+u	st			4,266,950.27
IGV. st*18%	igv	18%		768,051.05
<b>Total, presupuesto st+igv</b>				<b>5,035,001.31</b>

*Nota.* Elaboración propia

El costo de inversión calculado es de S/. 5,035,001.31 incluido IGV adicionalmente se debe tener en cuenta el costo de compra de tierras y compensación de afectados por la recuperación del cauce del río.

#### **5.1.16 Pérdidas económicas producidas por el Fenómeno del Niño.**

Lozada (2017) ex director general de caminos y Ferrocarriles del ministerio de transporte y comunicaciones expuso los retos para la reconstrucción con cambios producidos por el FEN 2017, donde indica pérdidas económicas por red vial afectada ocasionadas durante el evento señalado, sienta un total de S/. 4,333 millones a nivel nacional y solo en la región de Ancash un total de S/. 1171 millones tal como se muestra en la figura 63.

**Figura 63***Red vial nacional carreteras dañadas por el FEN*

Nº	REGIÓN	DAÑO	PRESUPTO
		KM	Millones S/
1	PIURA	539	998
2	ANCASH	495	1,171
3	LIMA	406	736
4	CAJAMARCA	365	348
5	LA LIBERTAD	211	266
6	HUANCAVELICA	137	220
7	AYACUCHO	130	78
8	ICA	91	126
9	AREQUIPA	89	163
10	LAMBAYEQUE	86	178
11	JUNIN	65	39
12	LORETO	14	9
	<b>TOTAL</b>	<b>2,630</b>	<b>4,333</b>

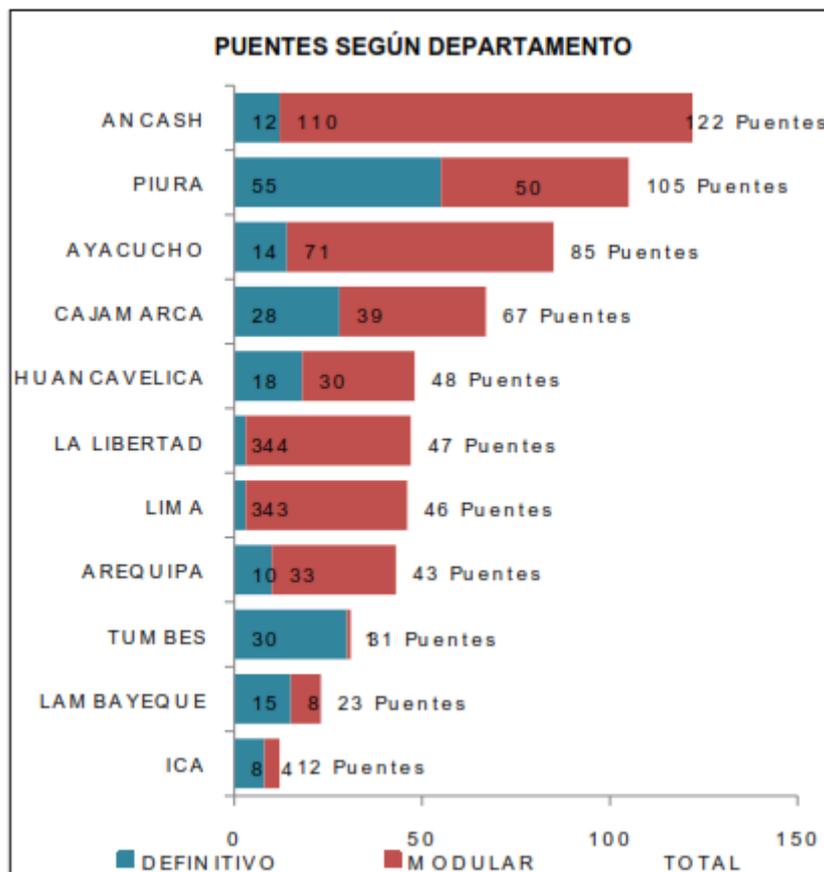
*Nota.* Lozada (2017)

De la figura 63 se determinó que el 19% del daño se dio en la región Ancash. Se tomó para la investigación el río Shisho ubicado en Ancash el cual formó parte de la estadística de estos daños.

Lozada (2017) propuso como parte del proyecto de reconstrucción con cambios un programa de puentes modulares y definitivos a nivel nacional siendo una de las principales obras el puente Coishco en Ancash ver figura 64.

**Figura 64**

*Programa de puentes según departamento*



*Nota.* Lozada (2017)

Se dispuso la construcción de 12 puentes definitivos y 122 puentes modulares en la región Ancash para restablecer la transitabilidad de las vías.

La figura 65 presenta el puente Coishco tipo modular ejecutado como parte del proyecto de la reconstrucción con cambios.

## Figura 65

### Puente modular Coishco



*Nota.* Lozada (2017)

Como parte del programa de reconstrucción con cambios se instaló el puente Coishco tipo modular como se puede apreciar en la figura anterior también se puede apreciar que la ejecución de los trabajos solo consistió en la ejecución del puente sin considerar obras complementarias como encauzamiento o rectificación de cauce. Se entiende que este puente fue ejecutado como una medida paliativa para dar transitabilidad a la vía panamericana norte.

### 5.2 Análisis de resultados

Del levantamiento topográfico se ha determinado las siguientes características del río Shisho en su desembocadura al océano pacífico y una de longitud de 1 km, se forma un meandro con una pendiente promedio de 0.7%, un ancho promedio de 20m y una profundidad aproximada de 4m desde el borde superior del cauce. En los bordes del río se encuentran asentados terrenos de cultivo, zonas urbanas, fábricas procesadoras de conservas de pescado que han reducido el ancho natural del río. De las calicatas realizadas en el lecho del río se determinó que está conformado por arenas pobremente gradadas con limo y grava con un diámetro medio (D50) de 2.5 mm obtenido de la curva granulométrica como se muestra en la tabla 35.

**Tabla 35***Resultado partículas del cauce*

% Representativo	Tamaño de partícula
D40	1.00mm
D50	2.5mm
D65	8.0mm
D90	40.0 mm

*Nota.* Elaboración Propia

Se determinaron las condiciones hidrodinámicas del río Shisho partiendo desde los datos meteorológicos de la estación Pariacoto para determinar la precipitación máxima 24 hr para un periodo de retorno de 140 años, el periodo de retorno se calculó a partir del manual de hidrología e hidráulica del ministerio de transportes según el riesgo de la obra que por la proximidad del puente Coishco le corresponde 25% y una vida útil de 40 años. Los datos de la estación Pariacoto tienen un registro de lluvias de 41 años tomados desde 1981 hasta 2022 donde el mayor valor registrado es de 81 mm/día en el año 2017, año en cual se produjo el evento de inundaciones y desborde del río Shisho.

Se realizó el análisis estadístico en el software trend, verificando la confiabilidad de los datos dando como resultado valores de confiabilidad por encima del 95%. Se procedió a la prueba de ajuste de bondad mediante el test Kolmogorov-Smirnov en el software hidrogomon, cuyos resultados fueron que la distribución que más se ajusta a la serie de datos es Log Pearson III al tener como delta tabular máximo 0.08356 siendo el menor de todas funciones de distribución. Del software hidrogomon también se obtuvieron las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, el valor utilizado para los cálculos fue de 95.37mm corresponde a un periodo de retorno de 140 años, al cual se le debe aplicar el factor de 1.13, dando un valor de 107.77mm.

Se determinó el histograma de diseño usando como referencia el patrón de lluvia (SCS) eligiendo la una tormenta típica Tipo II la cual corresponde ya que la cuenca se encuentra alejada del océano pacífico y brinda resultados conservadores. Para cálculo del caudal máximo se utilizó el hidrograma sintético de Snyder y el hidrograma unitario SCS para los cuales se debe calibrar el modelo utilizando valores de CN obtenidos a partir de eventos y caudales disponibles. Para calibrar el modelo se utilizó el evento producido en fenómeno del niño del 2017 donde se tiene como dato la precipitación máxima en la estación Pariacoto y nivel máximo de agua obtenido mediante registros fotográficos y

levantamientos topográficos en la zona del evento. Los datos para la calibración son la precipitación de 81 mm y una cota máxima de agua de 9.7m en la zona de la investigación. La cuenca principal tiene un área de 282.82 km<sup>2</sup> y una longitud de 48.44 km la cual se dividió en dos subcuencas, cuenca alta con un área de 179.84 km<sup>2</sup> y cuenca baja de 102.98 km<sup>2</sup>, cuyos valores de CN oscilan para cota superior a 200 m.s.n.m. entre 69 -84 y para valores de cota inferior a los 200 m.s.n.m. 74 y 87. Se utilizaron los siguientes caudales para la calibración del modelo 50, 100, 125, 150, 175 m<sup>3</sup>/s, se cargó la topografía del terreno al software HEC-RAS y se asignaron los diferentes caudales el caudal que más se aproximó a la cota de inundación fue de 175 m<sup>3</sup>/s con una cota de 9.73 metros; Se interpoló el caudal a 174 m<sup>3</sup>/s generado durante el evento del año 2017. Haciendo variaciones entre los valores de CN entre condiciones normales a condiciones húmedas se obtuvieron los valores CN calibrados para la cuenca alta un CN de 78 y para la cuenca baja un valor de 82.

Para el cálculo del caudal a 140 años se utilizó el modelo de tormenta tipo II, utilizando el software HEC-HMS se realizó la simulación de la tormenta utilizando los datos de área de cuenca, curva CN y el tiempo de retardo cálculo según Snyder. El caudal máximo obtenido fue de 280.3 m<sup>3</sup>/s. del software HEC-HMS se obtuvo el reporte de caudales de tormenta para el modelamiento hidrodinámico en el software HEC-RAS. Se realizó el cálculo de caudal de transporte de sedimentos mediante fórmulas empíricas de Meyer & Muller (1948), Shokllitsch (1950), Engelund & Hansen (1967), Mizuyama & Shimohigashi (1985) y Einstein-Brown (1950) obtenido como mayor valor un caudal de 3.99 m<sup>3</sup>/s el cual se considera despreciable para el modelo hidrodinámico.

El modelamiento hidrodinámico del río Shisho se realizó inicialmente con el cauce del río en su condición actual, utilizando la herramienta ras mapper del software HEC-RAS 2D se insertó la topografía en formato tif generada en el software civil 3d a partir de la malla y curvas de nivel creadas del levantamiento topográfico mediante vuelo fotogramétrico, para asignar el número de manning se utilizó el software ARCGIS, discretizando áreas según su zonificación y cobertura principalmente. Se definieron tres tipos; zona agrícola, zona urbana y cauce del río, a las cuales se les asignó los siguientes valores de manning 0.06, 0.08 y 0.04 respectivamente. Para la asignación del caudal se trabajó con un flujo no permanente utilizando el reporte de caudales mediante modelo de tormenta. Como resultado del modelo hidrodinámico se obtuvo un nivel máximo de agua de 8.875 m.s.n.m., velocidades superiores a los 5.0m/s y el rebose del cauce abarcó un ancho superior a los 80 metros. Este resultado se ya porque las condiciones del cauce se

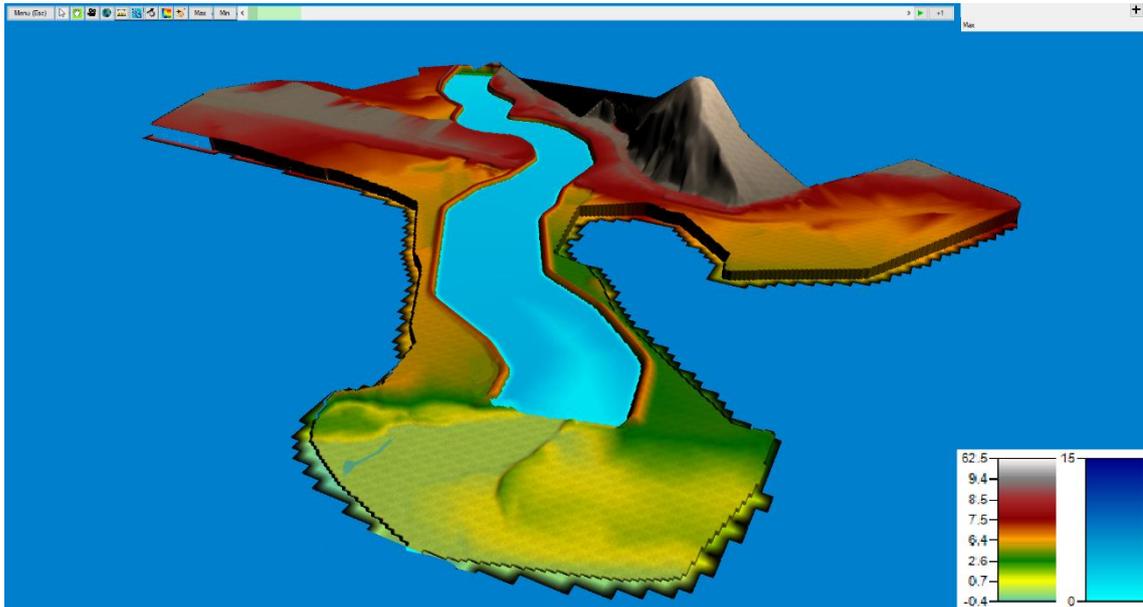
ven reducidas en su ancho por asentamientos urbanos, terrenos de cultivo y desarrollo industrial en la zona, la construcción de edificios, fábricas y viviendas han invadido el cauce natural del río esto ha dado como resultado que ante un evento de grandes precipitaciones se generan desbordes e inundaciones como es el caso ocurrido en el FEN del 2017.

Se determinó el ancho de equilibrio del cauce utilizando los métodos de Petits, Simons y Henderson, Blech - Altunin y Manning Strickler, el ancho utilizado para la rectificación del cauce fue de 60 m superior al mínimo calculado, se utilizó el menor valor teniendo en cuenta que rectificar el cauce o modificar implica movimiento de tierra, cuanto mayor sea el ancho a rectificar mayor será el movimiento y el costo de obra será mayor. La topografía se modificó en el software civil 3d creando un corredor en planta y perfil, con una sección típica tipo trapezoidal con un ancho de base de 60m, para luego proceder a ingresar este nuevo relieve en formato tif al software HEC RAS, posteriormente se repitió la secuencia del primer modelamiento hidrodinámico para obtener los resultados respectivos. El nivel de agua máximo estimado obteniendo rectificando el cauce fue de 5.79m.s.n.m. y una velocidad máxima en el cauce de 4.78m/s, este resultado el flujo se mantuvo en el cauce propuesto desde la progresiva 0+420 hasta la progresiva 0+947.65 y desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 0+420 se evidencio desborde del flujo del cauce en un ancho mayor a 80 m lo que indica que el ancho inicial propuesto no soporta el caudal máximo obtenido a 140 años de periodo de retorno, además de observar que el terreno en la parte inferior del cauce es llano y de profundidad de cauce de 4.8m y según el nivel de agua máximo estimado obtenido implica desborde de los flujos.

Del modelamiento hidrodinámico con un ancho de 60 m se pudo apreciar desborde de los flujos para el siguiente modelo hidrodinámico se mantuvo el ancho de 60 m en la zona superior del cauce y en la parte inferior donde presentó desborde, se proyectó un ancho mayor de 90 metros y colocar un dique de contención de altura de 2 metros por encima del borde de cauce para evitar el desborde; el valor próximo al mayor ancho estable calculado. Se repitió el proceso para crear el modelo hidrodinámico en el software HEC RAS obteniendo como resultado un nivel de agua máximo estimado de 5.03 m.s.n.m. y una velocidad máxima de 2.35m/s. El flujo se mantiene dentro del cauce propuesto y las velocidades del cauce son bajas logrando rectificar el cauce del río para un periodo de retorno de 140 años tal como se presenta en la figura 66.

## Figura 66

### 3D view Resultado modelamiento ancho estable



*Nota.* Elaboración Propia

Se realizó el cálculo de metrados para ejecutar la rectificación del cauce, el reporte de movimiento de tierras para obtener los volúmenes de corte y relleno se obtuvo del software civil 3D donde se modeló la topografía con el cauce modificado. El volumen de corte para la modificación de cauce es de  $319,782.61 \text{ m}^3$  y el volumen de relleno para completar el dique y evitar el desborde del río es de  $21,511.03 \text{ m}^3$ , para estimar el costo de obra se identificaron las partidas necesarias para la rectificación de cauce, como corte en material suelto, relleno con material propio, transporte material a DME, conformación de DME, gastos generales 20% del costo directo, Utilidad 10% del costo directo más el IGV. El presupuesto de obra para la rectificación de cauce es de cinco millones treinta y cinco mil uno con 31/100 soles (S/ 5,035,001.31). Lozada (2017) indica que las pérdidas en la región Ancash por el cierre de vías producido por desborde de quebradas ascienden a S/. 1171 millones de soles, en el mismo año para dar transitabilidad a la panamericana por la pérdida de la plataforma vial se construyó un puente modular en el distrito de Coishco sin embargo no se tuvo en cuenta el ancho adecuado del cauce para evitar velocidades erosivas, desborde del río, actualmente el ancho de cauce está reducido a 20 m, mientras que el puente modular construido tiene una longitud de 50 m, se debe tener presente que de no ejecutarse una rectificación adecuada del cauce el evento producido en el 2017 se puede volver a repetir, causando desbordes del río, cierre de vías, pérdidas de infraestructura urbana, y riesgo de pérdidas humanas.

### 5.3 Constatación de Hipótesis

La hipótesis general: A partir de la rectificación del río con sección geométrica trapezoidal en toda su longitud a partir del puente Coishco en aguas arriba se definió un ancho superficial de 60 m mientras que aguas abajo fue necesario de 90 m para evitar las inundaciones. Por tanto, las nuevas condiciones hidrodinámicas del río Shisho según el modelo número HEC-RAS reflejo que, en aguas arriba del puente las velocidades y tirante oscilan entre 2.35 m/s y 5.03m.s.n.m. respectivamente. Mientras que aguas abajo el comportamiento de las velocidades y tirante fue de 2.0 m/s y 5.03 m.s.n.m. Por todo lo señalado se concluye que la hipótesis general se cumple parcialmente.

En la hipótesis específica 1: la condición topográfica del cauce el río Shisho presenta una pendiente de 0.7% en promedio el diámetro medio de los sedimentos es de 2.5 mm. Se confirman las características topográficas de condiciones antrópicas con pendientes inferiores al 1%, un ancho promedio de cauce de 20 m, debido a que se han asentado terrenos de cultivo, zonas urbanas y fábricas procesadoras de conservas, condiciones que propician desbordes o inundaciones en épocas máximas avenidas. Por lo tanto, se cumplió la hipótesis específica ya que presenta en su totalidad las características descritas en la hipótesis.

En la hipótesis específica 2: las condiciones hidrodinámicas del río agresivas se dan por máximas avenidas, cauce con condiciones topográficas reducidas, transporte de sedimentos. Se confirma la hipótesis ya que el caudal estimado es superior al que podría soportar cauce natural del río, del modelamiento hidrodinámico en el software HEC RAS 2D se obtuvieron velocidades mayores a 5.0 m/s y un área de inundación de 80 m.

En la hipótesis específica 3: se rectificó el cauce calculando el ancho estable por el método de Petits, Simons y Henderson, Blech y Altunin y Manning Strickler, haciendo una primera iteración con un ancho de 60 m cuyo resultado el río mantiene su cauce aguas arriba del puente Coishco, sin embargo, aguas abajo presenta inundaciones, como segunda iteración se modelo con 60 m de ancho aguas arriba y 90 m aguas abajo del puente Coishco en este modelamiento el flujo se mantuvo en el cauce rectificado evitando inundaciones y desbordes del río. La ejecución de esta obra tendría un costo de S/. 5,035,001.31, las pérdidas por huaicos solo en la región de Ancash son un total de S/. 1171 millones. Se confirma la hipótesis que este costo de inversión por rectificación de cauce evitará pérdidas económicas, daños a terceros y cierre de la vía panamericana norte durante épocas de altas precipitaciones.

## CONCLUSIONES

1. Las condiciones hidrodinámicas del cauce del río Shisho no es el adecuado para conducir los flujos para un periodo de retorno a los 140 años causaría inundaciones y desborde del río como lo ocurrido el fenómeno del niño del 2017.
2. El levantamiento topográfico del cauce del río dio como resultado un ancho de cauce de 20 m y pendientes menores a 1%, además de presentar partículas de suelo de 2.5 mm.
3. El análisis hidrodinámico del río Shisho en condiciones actuales presenta parámetros agresivos que propician la inundación el desborde del río, se realizó el modelamiento hidráulico para un caudal de  $280.3 \text{ m}^3/\text{s}$  obteniendo como resultado un nivel de agua de 8.87 m.s.n.m., velocidades mayores a 5 m/s y un área de inundación en un ancho de 80 m, comprometiendo estructuras asentadas sobre la margen del río, terrenos del cultivo y el puente modular sobre la vía panamericana norte.
4. La rectificación del cauce del río comprende dos tramos el primero de 90 metros de ancho de base en una longitud de 450 metros y el segundo con 60 m de ancho de base en una longitud de 500 metros, el monto de inversión de esta rectificación de cauces será de S/ 5,035,001.31 soles, obra que evitaría inundaciones, cierres de la vía y pérdidas económicas las cuales se registraron en toda la región de Ancash en S/. 1171 millones de soles.
5. El modelo hidrodinámico permitió determinar los anchos de inundación del río Shisho, este ancho fue corroborado por el evento del fenómeno del niño del 2017 y la determinación del ancho estable del río.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que durante la ejecución de obras definitivas en cauces de quebradas y ríos se debe considerar el ancho estable para evitar inundaciones, cierre de vías y pérdidas económicas en la zona de investigación.
2. Se recomienda crear modelos hidrodinámicos para el análisis de quebradas, ríos previos a los asentamientos urbanos, zonas agrícolas ya que por circunstancias antrópicas estos se ven afectados en reducción de anchos naturales, obstáculos que impiden el libre tránsito de los flujos.
3. Para el cálculo del monto de obra para la ejecución del encauzamiento solo se consideró el costo directo de obra se debe tener en cuenta también las expropiaciones y áreas de afectación a terceros, ya que a pesar de haber invadido el cauce natural del río se debe considerar un monto de compensación adecuado.
4. Se recomienda para futuras investigaciones tener en consideración el transporte de sedimentos y realizar un análisis de flujos no newtonianos, ya que en esta investigación el caudal de sólidos dio un valor despreciable, existen quebradas donde el flujo de sólidos es considerable y el comportamiento de estos flujos repercute de manera directa en el modelo hidrodinámico.

## REFERENCIAS

- Alvarez , G. J., & Márquez , M. (2020). *Análisis hidráulico e hidrológico de la cuenca del río Moquegua para el diseño de defensa ribereñas* . Lima; Perú: Universidad Ricardo Palma.
- Cahuana Andia, A. &. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología civ-233 (Trabajo de grado)*. Cochacarcas: Universidad Mayor de San Simón.
- Chow, V. (1994). *Hidrología Aplicada* . Texas: The University of Texas at Austin.
- Cordova, C. D., & Seminario, C. E. (2022). *Análisis Hidrodinámico del afluente del río Nanay para los mapas temáticos*. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma.
- Fajardo, B., & Sierra, S. (2021). *Análisis del efecto que tienen las formas de las pilas en el comportamiento hidrodinámico y en el transporte de sedimentos de fondo para un tramo del río magdalena en el departamento de Bolívar-Colombia, mediante la modelación en IBER*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Gómez, R., & López, R. (2019). *Determinación de la cota de inundación del río Arauca en la vereda barrancones, municipio de Arauca mediante un modelo hidrodinámico*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Guamán, E., & Serpa, T. (2020). *Aplicación de un modelo hidrodinámico bidimensional para evaluar zonas de inundación: caso del Río Yanuncay en la ciudad de Cuenca-Ecuador*. Cuenca: Universidad Católica de Cuenca.
- Ibáñez Asensio, S. (2015). Morfología de las cuencas. *Universidad Politécnica de Valencia*, 1-12.
- Kerlinger, F., & Lee, B. (2002). *Investigación del comportamiento. Métodos de Investigación en ciencias sociales*. México: McGraw-Hill.
- Moreno , G. A., & Huaman , D. E. (2021). *Análisis de Sensibilidad Hídrica y Evaluación de Riesgo por Inundación de la quebrada Cansas* . Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Officials, T. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Official.
- Puelles Maza, J. C. (2015). *Estudio hidráulico e hidrológico de la Cuenca Alto Perú y el Porvenir en el asentamiento humano Las Mercedes Alto Perú, distrito de la Oroya, provincia de Yauli–Junín para la construcción futura de obras de arte ante amenazas de derrumbes provocado por* . La merced.

Quiroga Alejandro, L. (2015). *Hidráulica Fluvial*. Tabasco: Universidad.

Villalobos , F. (2016). *Mecánica de Suelos: Segunda Edición*. Concepción: Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Villón, M. (2007). *Hidráulica de Canales*. Lima: Villón.

Wolf, P., & Ghilani, C. (2015). *Topografía 14<sup>o</sup> Edición*. Ciudad de México : Alpha Editorial .

## ANEXOS

### Anexo A: Matriz de Operacionalización de las variables

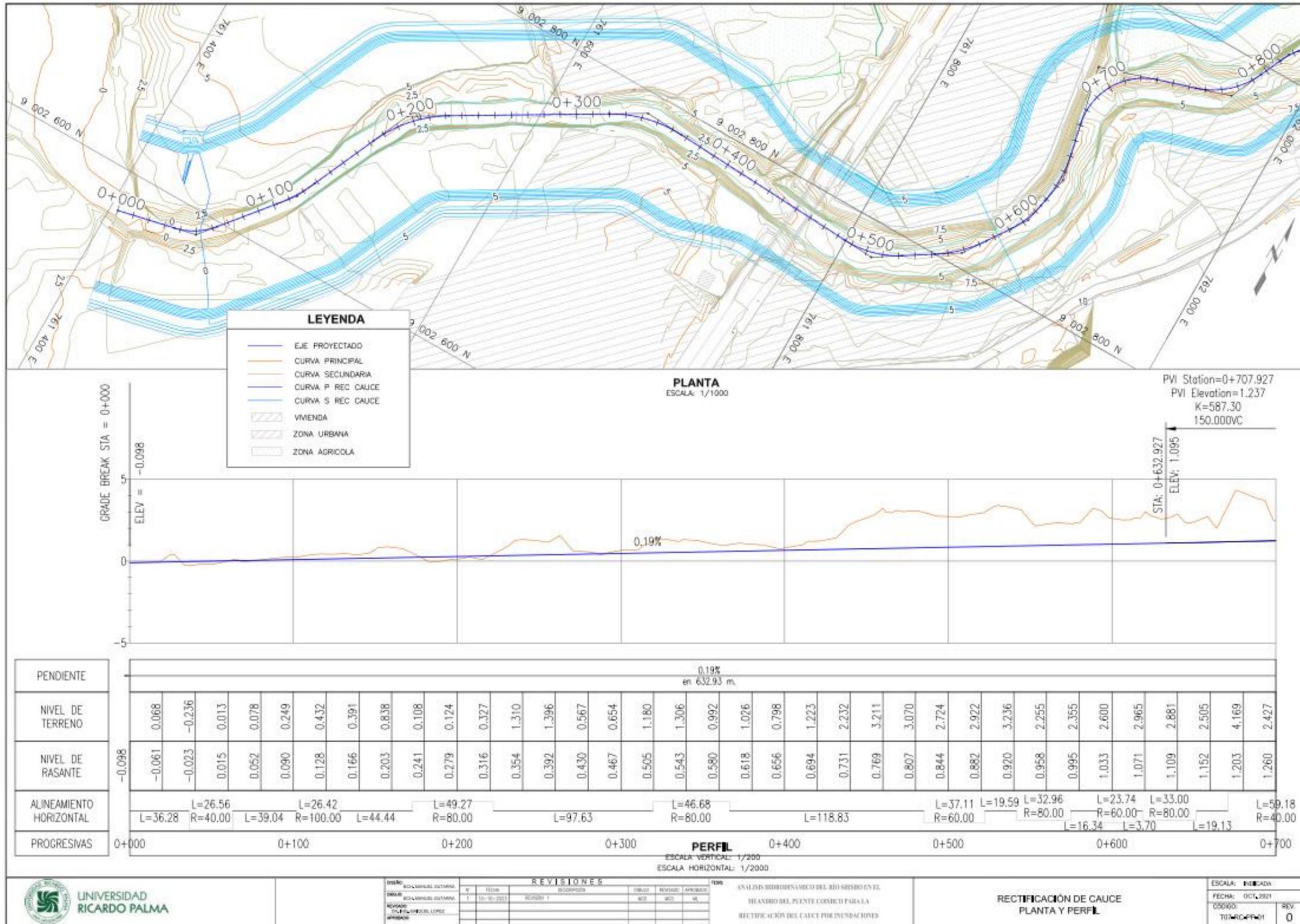
Variables		Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Variable Independiente	Análisis del río Shisho en el meandro del puente Coishco.	Carrasco (2005) conforma el grupo de variables que ejercen influencias o efectos en la variable dependiente y a su vez permiten explicar estas.	Estudio de Hidrodinámico del río	Topografía (pendiente) Mecánica Suelos (Clasificación de materiales) Caudales Tirante de Agua Velocidad de Flujo	Levantamiento Topográfico SUCS - ASSTHO Simulaciones en Modelos matemáticos
Variable dependiente	Rectificación de cauce del río Shisho en el meandro del puente Coishco.	Carrasco (2005) conforma el grupo de variables que reciben influencias o efectos en de otras variables, son las variables que se explican en función a otras.	Tramo de estudio del río Shisho	Ancho de Cauce Talud de cauce	Modificación de topografía AutoCAD Civil 3D Istram Hec Ras

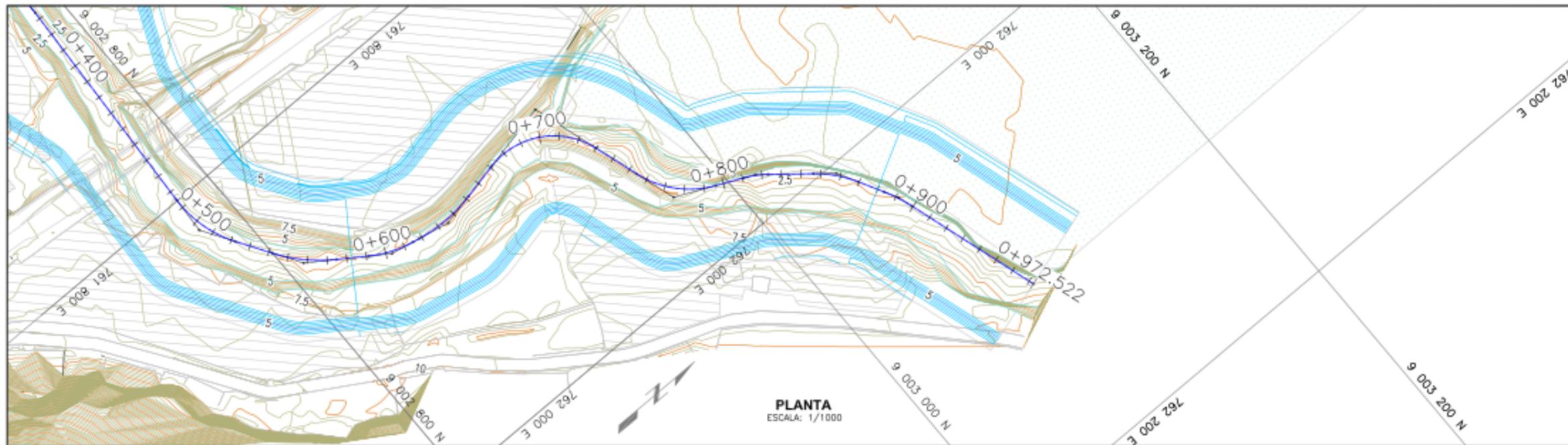
## Anexo B: Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variables Independiente</b>
¿Cuáles son las condiciones hidrodinámicas del río Shisho con la rectificación del meandro en el puente Coishco que reduce el riesgo de inundaciones?	Realizar el análisis hidrodinámico del río Shisho en el meandro del puente Coishco para la rectificación del cauce por inundaciones	Las condiciones hidrodinámicas son favorables que no permiten la inundación producto de la rectificación del río, posee velocidades a 2m/s tirante inferior a 2m y ancho de encauzamiento 60m	Condiciones Hidrodinámicas del río Shisho en el meandro del puente Coishco
<b>Problemas Específico</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis Específica</b>	<b>Variables Dependiente</b>
¿Cuáles son las condiciones topográficas y características de los sedimentos que se transportan en el meandro del Puente Coishco del río Shisho?	Realizar el levantamiento topográfico en el meandro del Puente Coishco y caracterización de sedimentos.	Las condiciones topográficas se caracterizan por tener una pendiente inferior al 1%, un relieve homogéneo y un ancho reducido por causas antrópicas. Los diámetros de sedimentos frecuentes transportados en el meandro son de 2.5 mm	Variable dependiente Rectificación de cauce del río Shisho en el meandro del puente Coishco
¿Cuáles son las características hidrodinámicas del río Shisho en el meandro del puente Coishco?	Realizar el análisis hidrodinámico del río Shisho en el meandro del puente Coishco	El río posee condiciones hidrodinámicas agresivas que generan la inundación en las laderas del río por condiciones antrópicas y máximas avenidas.	
¿Cuáles son los parámetros técnicos y económicos para la rectificación del meandro del puente Coishco?	Determinar la rectificación del meandro del Puente Coishco, aspectos técnicos y económicos para su construcción	La rectificación del meandro mitigará las inundaciones y erosiones de meandro del río Shisho y su costo de ejecución evitará pérdidas económicas por daños a terceros y cierre de la vía	

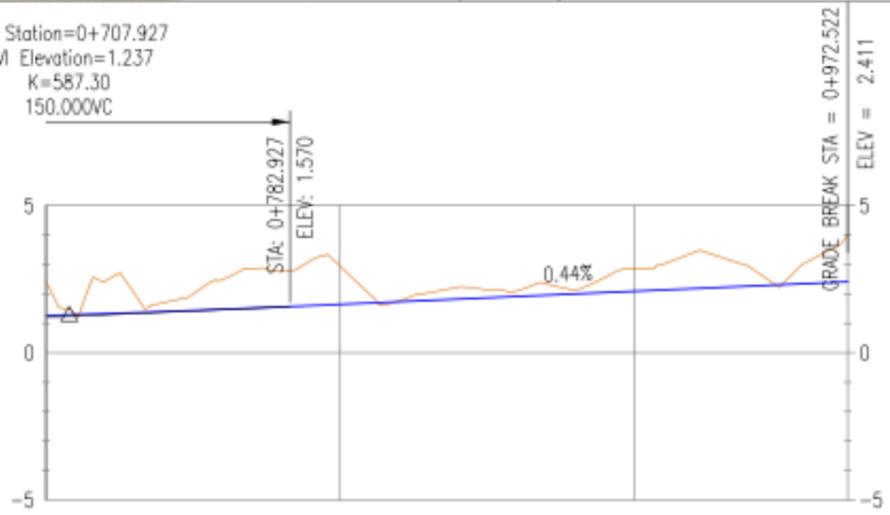
Anexo C: Planos

Plano T07-RC-PP-01





PVI Station=0+707.927  
 PVI Elevation=1.237  
 K=587.30  
 150.000VC



LEYENDA	
	EJE PROYECTADO
	CURVA PRINCIPAL
	CURVA SECUNDARIA
	CURVA P REC CAUCE
	CURVA S REC CAUCE
	VIVIENDA
	ZONA URBANA
	ZONA AGRICOLA

PENDIENTE	0.44% en 189.60 m.													
NIVEL DE TERRENO	2.416	1.701	2.491	2.771	2.939	1.754	2.223	2.097	2.147	2.864	3.400	2.854	3.153	
NIVEL DE RASANTE	1.324	1.395	1.472	1.557	1.645	1.734	1.823	1.912	2.001	2.089	2.178	2.267	2.356	2.411
ALINEAMIENTO HORIZONTAL	L=59.18 R=40.00	L=24.37 R=50.00	L=41.65 R=50.00	L=12.57 R=60.00	L=23.29 R=60.00	L=15.84 R=140.00	L=22.96 R=60.00	L=14.00 R=60.00	L=73.24					
PROGRESIVAS	0+700			0+800			0+900			0+972.52				

**PERFIL**  
 ESCALA VERTICAL: 1/2000  
 ESCALA HORIZONTAL: 1/2000

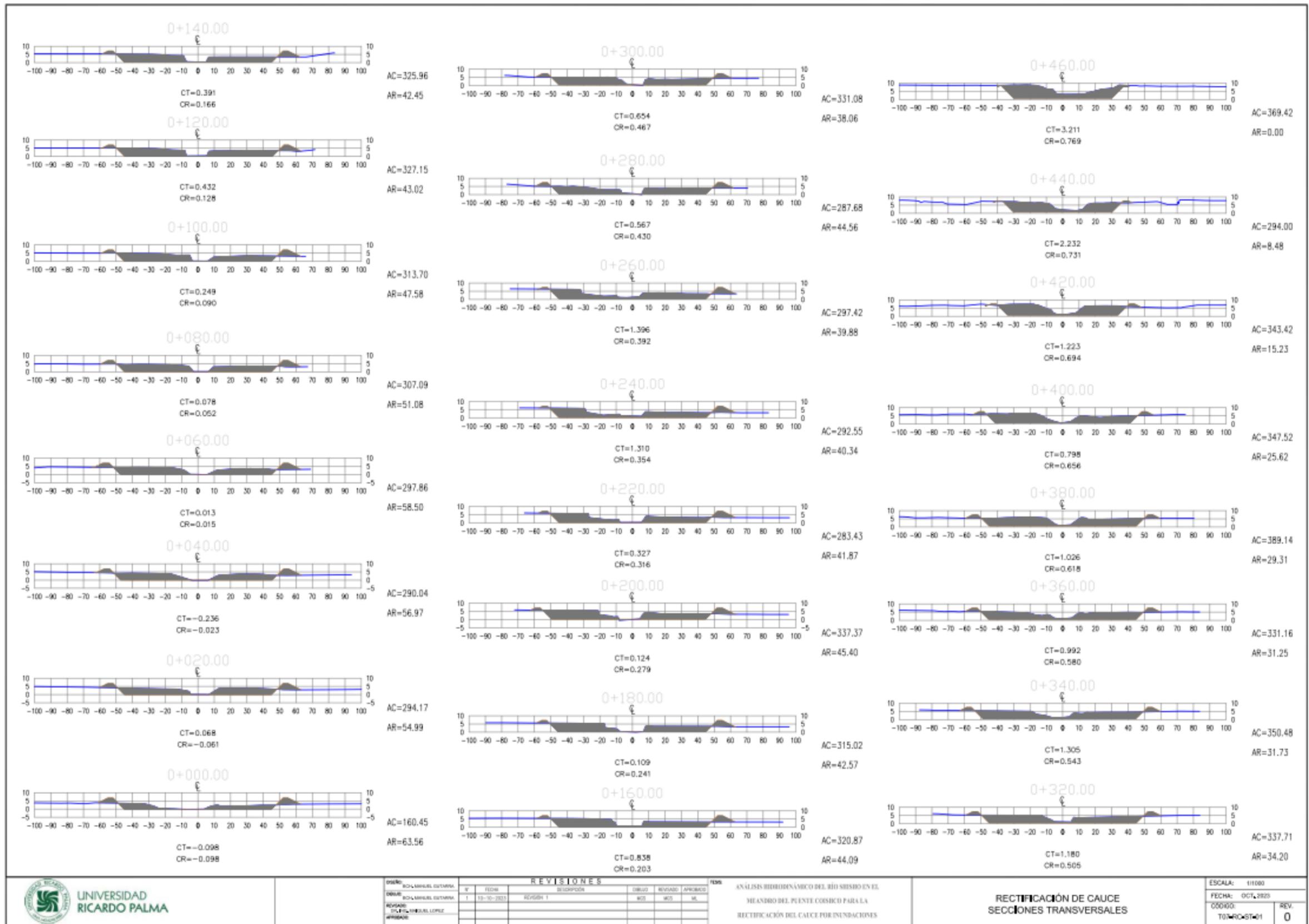


REVISIONES				
NO.	FECHA	DESCRIPCION	ELABO	APROBADO
1	13-10-2021	REVISI# 1	MS	MS

ANÁLISIS HIDRODINÁMICO DEL RÍO SIBISO EN EL  
 MEANDRO DEL PUENTE COSICO PARA LA  
 RECTIFICACIÓN DEL CAUCE POR INUNDACIONES

RECTIFICACIÓN DE CAUCE  
 PLANTA Y PERFIL

ESCALA:	INICIADA
FECHA:	OCT. 2021
OS000:	REV.
T07-RC-ST-02	0

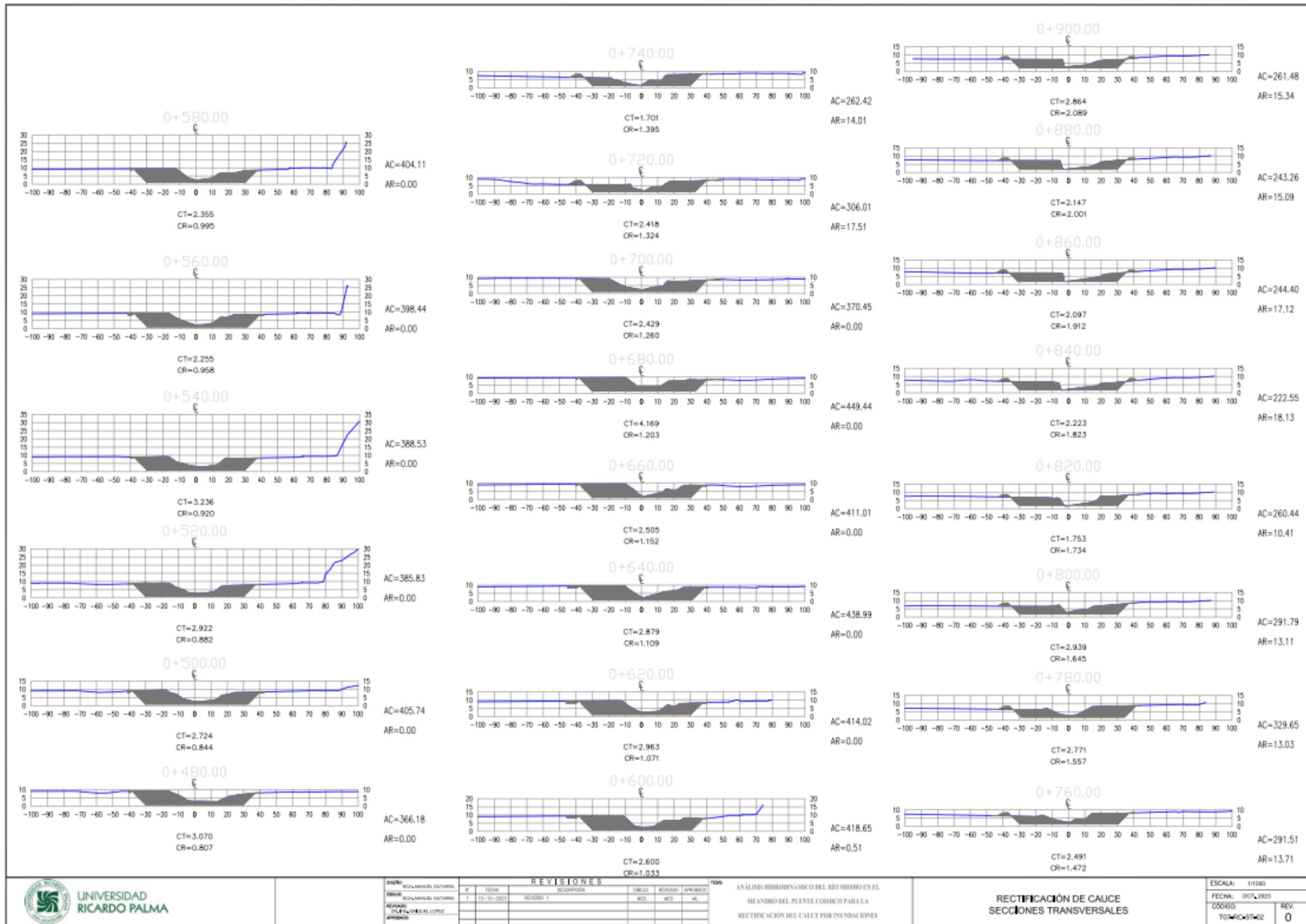


REVISIONES				
Nº	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABO	REVISADO
1	13-10-2023	REVISIÓN 1	WCL	WCL

ANÁLISIS HIDRODINÁMICO DEL RÍO SIBISO EN EL  
 MEANDRO DEL PUENTE COSMICO PARA LA  
 RECTIFICACIÓN DEL CAUCE POR INUNDACIONES

RECTIFICACIÓN DE CAUCE  
 SECCIONES TRANSVERSALES

ESCALA:	1/1000
FECHA:	OCT. 2023
000000	REV.
T07-RC-ST-01	0



REVISIONES				
N°	FECHA	DESCRIPCION	ELABO	APROBADO
1	10-10-2021	REVISION 1	MS	MS

ANÁLISIS HIDRODINÁMICO DEL RÍO SIESO EN EL  
 DILANDRO DEL PUENTE COSMICO PARA LA  
 RECTIFICACIÓN DEL CAUCE POR INUNDACIONES

RECTIFICACIÓN DE CAUCE  
 SECCIONES TRANSVERSALES

ESCALA:	1:1000
FECHA:	OCT. 2021
OSORIO:	T07-RC-ST-02
REV.	0

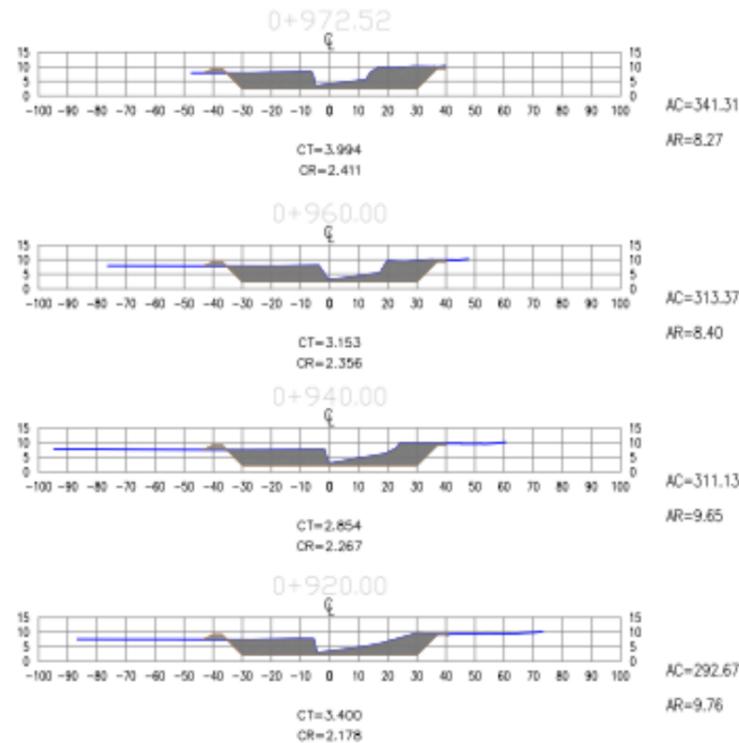


TABLA DE VOLUMEN TOTAL						
PROGRESIVA	A.RELLENO	A.CORTE	V.RELLENO	V.CORTE	V.ACUMULADO RELLENO	V.ACUMULADO CORTE
0+800.00	63.36	165.45	0.00	0.00	0.00	0.00
0+820.00	54.98	284.17	1485.50	4548.20	1485.50	4548.20
0+840.00	56.97	290.04	1271.30	5190.00	2396.80	10027.20
0+860.00	58.58	297.86	924.44	5292.17	4391.24	15529.40
0+880.00	57.08	297.29	1162.17	5948.95	5774.21	21478.20
0+900.00	47.08	373.79	986.60	6307.86	6760.81	27886.00
0+920.00	43.02	227.15	1116.80	6724.81	7277.61	33871.01
0+940.00	42.48	325.96	948.45	6432.24	8226.06	42313.20
0+960.00	44.09	320.87	865.42	6498.23	9091.28	46687.47
0+980.00	42.67	376.02	745.78	6547.97	9837.16	53239.44
0+200.00	45.40	337.37	548.74	7148.27	10386.90	60378.82
0+220.00	41.87	283.43	608.61	6803.60	10995.51	67182.61
0+240.00	46.24	292.20	782.21	5803.92	11677.71	72986.54
0+260.00	39.88	297.42	802.13	6098.68	12479.86	78866.23
0+280.00	44.26	287.88	844.21	5858.95	13324.18	84751.18
0+300.00	38.28	331.08	828.14	6787.64	14192.31	90704.71
0+320.00	34.28	357.71	722.58	6687.90	14872.90	97112.82
0+340.00	31.73	380.48	677.63	7210.21	15460.43	104023.82
0+360.00	31.25	331.16	548.28	7048.63	15998.69	111072.65
0+380.00	29.21	389.14	682.88	7318.43	16681.68	118781.18
0+400.00	25.62	347.52	548.20	7360.61	17143.98	126484.78
0+420.00	16.23	243.42	428.48	6928.43	17568.47	133394.21
0+440.00	8.48	294.80	227.13	6574.20	17796.66	139788.41
0+460.00	0.00	389.42	84.82	6639.21	17871.43	146402.82
0+480.00	0.00	380.18	0.00	7305.98	17871.43	152758.61
0+500.00	0.00	405.74	0.00	7419.34	17871.43	159171.94
0+520.00	0.00	385.82	0.00	7658.95	17871.43	165857.69
0+540.00	0.00	388.53	0.00	7710.81	17871.43	172864.70
0+560.00	0.00	398.44	0.00	7148.00	17871.43	180296.70
0+580.00	0.00	404.71	0.00	7874.38	17871.43	188171.26
0+600.00	0.91	478.65	6.57	8015.46	17871.43	196486.72
0+620.00	0.00	474.02	7.15	7873.87	17885.75	205360.58
0+640.00	0.00	428.89	0.00	8102.07	17885.75	214702.65
0+660.00	0.00	411.21	0.00	8307.22	17885.75	224517.88
0+680.00	0.00	448.44	0.00	8837.74	17885.75	234954.62
0+700.00	0.00	370.40	0.00	8377.35	17885.75	246132.97
0+720.00	17.81	306.01	346.61	6281.69	18232.26	247854.97
0+740.00	14.21	282.42	484.87	5388.52	18691.24	252245.49
0+760.00	13.71	239.81	220.27	5683.28	19077.50	258824.77
0+780.00	13.00	328.85	75.45	6916.10	18992.95	265841.47
0+800.00	13.11	291.79	110.02	6854.30	18932.97	272496.78
0+820.00	10.41	280.44	207.43	5488.20	18413.40	277885.08
0+840.00	18.13	222.86	297.68	4807.24	18738.28	282838.30
0+860.00	17.12	244.40	284.92	4859.21	20092.01	287594.51
0+880.00	16.09	243.26	381.84	4998.08	20444.84	292093.60
0+900.00	15.24	281.48	536.14	5185.51	20780.89	297058.10
0+920.00	8.78	292.87	291.03	6547.83	21032.02	301606.63
0+940.00	8.65	211.15	194.14	6028.02	21236.18	304438.63
0+960.00	8.43	273.37	180.80	6244.97	21438.68	310883.80
0+972.52	8.27	247.21	104.28	4098.98	21517.65	316782.58

	DISEÑO: BCL MARIEL ESTAYMA DIBUJO: BCL MARIEL ESTAYMA REVISADO: DPL FOLIO MARIEL LOPEZ APROBADO:	<b>REVISIONES</b> <table border="1"> <tr> <th>N°</th> <th>FECHA</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>DEBIDO</th> <th>REVISADO</th> <th>APROBADO</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>10-10-2013</td> <td>REVISION 1</td> <td>ACS</td> <td>ACS</td> <td>ML</td> </tr> </table>	N°	FECHA	DESCRIPCION	DEBIDO	REVISADO	APROBADO	1	10-10-2013	REVISION 1	ACS	ACS	ML	TÍTULO: ANALISIS HIDRODINAMICO DEL RIO SIBISO EN EL MEANDRO DEL PUENTE COSICO PARULLA RECTIFICACION DEL CAUCE POR INUNDACIONES	ESCALA: 1/11000 FECHA: OCT. 2013 OSORIO: T07-RC-ST-01 REV: 0
	N°	FECHA	DESCRIPCION	DEBIDO	REVISADO	APROBADO										
1	10-10-2013	REVISION 1	ACS	ACS	ML											
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA	RECTIFICACION DE CAUCE SECCIONES TRANSVERSALES															

## Anexo D: Análisis de precios

<b>m3/DIA EXCAVACION EN MATERIAL SUELTO</b>						
<b>MO. 810</b>	<b>EQ. 810</b>	<b>Costo unitario directo por m3</b>			<b>6.13</b>	
<b>Jornada (hr) 8</b>						
<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ	hh	0.5	0.0049	30.51	0.15	
PEON	hh	2	0.0198	16.76	0.33	
<b>0.48</b>						
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5	0.48	0.02	
EXCAVADORA SOBRE ORUGA 115-165 HP 0.75-1.4 yd	hm	0.5	0.0049	285.5	1.4	
TRACTOR DE ORUGAS DE 190 - 240 HP	hm	1	0.0099	426.97	4.23	
<b>5.65</b>						
<b>m3/DIA CONFORMACION DE TERRAPLEN CON MATERIAL PROPIO</b>						
<b>MO. 1140</b>	<b>EQ. 1140</b>	<b>Costo unitario directo por m3</b>			<b>12.78</b>	
<b>Jornada (hr) 8</b>						
<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ	hh	1	0.007	30.51	0.21	
PEON	hh	3	0.0211	16.76	0.35	
<b>0.56</b>						
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5	0.56	0.03	
MOTONIVELADORA DE 145 - 150 HP	hm	1	0.007	257.5	1.8	
TRACTOR DE ORUGAS DE 190 - 240 HP	hm	0.5	0.0035	426.97	1.49	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 10	hm	1	0.007	186.16	1.30	
<b>4.62</b>						
<b>Subpartidas</b>						
SELECCION DE MATERIAL EXCEDENTE DE CORTE	m3		1.2	4.55	5.46	
AGUA PARA LA OBRA	m3		0.12	17.86	2.14	
<b>7.6</b>						
<b>m3/DIA TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES</b>						
<b>MO. 230</b>	<b>EQ. 230</b>	<b>Costo unitario directo por m3</b>			<b>S/. 14.13</b>	
<b>Jornada (hr) 8</b>						
<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
<b>Mano de Obra</b>						
OFICIAL	hh	0.48	0.01669565	18.54	0.31	
<b>0.31</b>						
<b>Equipos</b>						
CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3yd3	hm	0.48	0.01669565	176.9	2.95	
CAMION VOLQUETE 15	hm	1	0.03478261	312.53	10.87	
<b>13.82</b>						

<b>m3/DIA CONFORMACION Y ACOMODO DE DME</b>					
<b>MO. 1,290.0</b>		<b>EQ. 1,290.0</b>	<b>Costo unitario directo por : m3</b>		<b>S/. 3.36</b>
<b>Jornada (hr) 8</b>					
<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Mano de Obra</b>					
CAPATAZ	hh	0.1	0.0006	30.51	0.02
PEON	hh	1	0.0062	16.76	0.1
					<b>0.12</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5	0.12	0.01
TRACTOR DE ORUGAS DE 190 - 240 HP	hm	1	0.0062	426.97	2.65
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 10	hm	0.5	0.0031	186.16	0.58
					<b>3.24</b>

## Anexo E: Permiso de la empresa para el uso de información.



### AUTORIZACIÓN USO DE INFORMACIÓN

El que suscribe, **José Manuel Paucar Garcés**, identificado con DNI N° 07859220, representante legal del Consorcio Peruano Puentes Ancash, identificada con RUC N° 20607626384, autorizo que:

El Bachiller en ingeniería civil **Manuel Erasmo Gutarra Senepo** identificado con DNI 43375038 utilice la información topográfica, hidrológica y anexos correspondientes del ESTUDIO DEFINITIVO DEL PROYECTO: "CONSTRUCCIÓN DE PUENTES POR REEMPLAZO EN ANCASH" ESTUDIO 1 – PUENTE COISHCO. Para la elaboración de su tesis de grado de ingeniería civil en la Universidad Ricardo dada su participación en la elaboración del proyecto como coordinador y asistente de ingeniería.

Se expide la presente autorización, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Lima, 30 de mayo del 2023



Ing. José Manuel Paucar Garcés  
Representante Legal  
CONSORCIO PERUANO PUENTES ANCASH