

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

---

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE  
INUNDACIONES EN EL CAUCE DEL RIO CHICAMA ENTRE EL TRAMO  
PUENTE CAREAGA Y DESVIO SINTUCO”**

---

**Área de Investigación:**

Hidrología – Ingeniería Hidráulica

**Autor(es):**

Br. Gomez Aponte, Edgar Joel  
Br. Pimentel Quiliche, Deyanira Alexandra

**Jurado Evaluador:**

**Presidente:** Ing. Guillermo Cabanillas Quiroz

**Secretario:** Ing. Alejandro Vejarano Geldres

**Vocal:** Ing. José Alcides Gálvez Paredes

**Asesor:**

Ing. Álvaro Fernando Salazar Perales

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

**TRUJILLO – PERÚ**

**2022**

**Fecha de Sustentación: 2022/04/20**



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

---

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE  
INUNDACIONES EN EL CAUCE DEL RIO CHICAMA ENTRE EL TRAMO  
PUENTE CAREAGA Y DESVIO SINTUCO”**

---

**Área de Investigación:**

Hidrología – Ingeniería Hidráulica

**Autor(es):**

Br. Gomez Aponte, Edgar Joel  
Br. Pimentel Quiliche, Deyanira Alexandra

**Jurado Evaluador:**

**Presidente:** Ing. Guillermo Cabanillas Quiroz

**Secretario:** Ing. Alejandro Vejarano Geldres

**Vocal:** Ing. José Alcides Gálvez Paredes

**Asesor:**

Ing. Álvaro Fernando Salazar Perales  
**Código Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-8871-2368>

**TRUJILLO – PERÚ**

**2022**

**Fecha de Sustentación: 2022/04/20**

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE  
INUNDACIONES EN EL CAUCE DEL RIO CHICAMA ENTRE EL TRAMO  
PUENTE CAREAGA Y DESVIO SINTUCO”**

**JURADO CALIFICADOR**

.....  
**ING. GUILLERMO CABANILLAS QUIROZ**  
**CIP N° 17902**  
**PRESIDENTE**

.....  
**ING. ALEJANDRO VEJARANO GELDRES**  
**CIP N° 91982**  
**SECRETARIO**

.....  
**ING. JOSE ALCIDES GALVEZ PAREDES**  
**CIP N° 29911**  
**VOCAL**

.....  
**ING. ÁLVARO FERNANDO SALAZAR PERALES**  
**CIP N° 97281**  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios, por guiarme en la vida en cada paso que doy, por darme la fuerza y el apoyo espiritual en todo el trayecto de mi carrera universitaria; porque sin la ayuda de él nada de esto fuera posible.

A mis padres por ser los principales pilares en mi vida, los que siempre me apoyan y me acompañan en cada paso que doy; les dedico todo mi esfuerzo puesto a lo largo de mi carrera como también esta tesis reconociendo el sacrificio que día a día hicieron para poder terminar mis estudios.

A mis hermanas por siempre confiar en mí, y darme la fuerza necesaria para seguir adelante.

A mi abuela por siempre preocuparse por mi bienestar, lo que me permitió estar bien de salud para poder lograr mis objetivos.

**Br. Gomez Aponte, Edgar Joel**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis dedico a Dios por bríndame salud, por guiarme en cada paso de mi vida y por darme fuerzas para continuar con mis metas.

A mi madre María Quiliche Huaccha por su amor, sacrificio y por ser mi apoyo fundamental a lo largo de mi carrera, por ser mi motor y mi mayor inspiración para salir adelante.

A mis abuelitos Olga y Alejandro, a quienes amo como si fueran mis padres, por su gran amor incondicional y por creer siempre en mí.

A mis tíos Carlos, Irma, Elmer y William por su cariño hacia mi persona y por haberme apoyado siempre a lo largo de mi vida.

A mis primos Katty, Diego, Jaime y Karla, a quienes amo como si fueran mis hermanos, por confiar en mí y por sus buenos consejo.

**Br. Pimentel Quiliche, Deyanira Alexandra**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios, por proteger y cuidar a mi familia, como también por darme la fuerza mental y espiritual necesaria para poder terminar esta etapa importante en mi vida.

Agradezco a mis padres por apoyarme incondicionalmente y los consejos que siempre me vienen dando para poder salir a delante logrando las metas que me trace a lo largo de mi vida.

Agradezco a mis hermanas por siempre transmitirme buenos ánimos para poder superar cualquier obstáculo que se me presente.

Agradezco a mi abuela por siempre creer en mí y aconsejarme para poder hacer bien las cosas.

Agradezco a mis amigos quienes me ayudaron y me dieron la motivación necesaria para poder continuar logrando mis metas a lo largo de la carrera universitaria demostrándome que siempre puedo contar con ellos.

Finalmente, agradezco al Ing. Alvaro Fernando Salazar Perales, por el apoyo que nos dio y su colaboración brindada para poder desarrollar esta tesis.

**Br. Gomez Aponte, Edgar Joel**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme salud y por haberme permitido llegar a concluir mis metas.

Agradezco a mi mama Maria Betty Quiliche Huaccha que con su esfuerzo y paciencia logro ayudarme a culminar mi carrera, por sus buenos consejos y principio que me ha inculcado.

Agradezco a mis abuelos Olga y Alejandro que me ayudaron siempre desde pequeña, por inculcarme buenos valores y principios, sobre todo por creer siempre en mí, solo pido a Dios que les de salud para gozar de mis triunfos.

Agradezco a mis tíos Carlos, Irma, Elmer, William por brindarme siempre su apoyo moral y por ser un ejemplo a seguir.

Agradezco mis primos Katty, Diego, Jaime y Karla por darme alegría en los momentos más difíciles y por ser unos de los motivos por el cual salir adelante.

Agradezco a mi compañero de tesis Edgar Gomez por la paciencia y por confiar en mí.

Agradezco al Ing. Alvaro Fernando Salazar Perales, por su apoyo y consejos para el desarrollo de la tesis.

**Br. Pimentel Quiliche, Deyanira Alexandra**

## RESUMEN

La presente tesis fue desarrollada en el cauce del río Chicama, contemplando un tramo desde el puente Careaga hasta el desvío a Sintúco para lo cual se tuvo como objetivo identificar los puntos críticos del río que permitan su desborde inundando las zonas aledañas, posterior a ello se procedió a realizar el levantamiento topográfico de la zona de estudio donde se obtuvo una pendiente de 0.064%.

Para el estudio hidrológico se utilizó el registro de caudales proporcionados por la Junta de Usuarios del Valle Chicama que datan desde el año 1971 hasta el 2018, con dicho registro se pudo calcular los caudales de diseño ajustándose a las distribuciones Normal, Log Normal 2 Parámetros, Log Normal 3 Parámetros, Gamma 2 Parámetros, Gumbel, Log Pearson Tipo III, de los cuales se optó por la distribución Log Pearson Tipo III, obteniendo como resultados 1106.04 m<sup>3</sup>/s, 1407.27 m<sup>3</sup>/s, 1674.41 m<sup>3</sup>/s y 1761.34 m<sup>3</sup>/s como caudales de diseño, para un periodo de retorno de 30,50,100 y 170 años.

Se procedió a realizar el modelamiento hidráulico con la ayuda del programa Iber 2.4.3, con el que mediante un pre-proceso y post-proceso se originaron diferentes simulaciones para poder analizar el comportamiento del flujo de agua dentro del río Chicama, logrando determinar los puntos críticos del cauce del río en diferentes caudales y periodos de retorno.

Con los resultados obtenidos en la simulación bidimensional se logró determinar los momentos de inundación en tiempos de máximas avenidas, permitiendo diseñar un enrocado como propuesta de solución con un caudal de 1761.34 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 170 años para el río Chicama, con un ancho de corona de 4m, altura del dique de 3.50m y altura de enrocado de 3.50m.

## ABSTRACT

This thesis was developed in the channel of the Chicama river, contemplating a section from the Careaga bridge to the detour to Sintúco, for which the objective was to identify the critical points of the river that allow its overflow, flooding the surrounding areas, after which the proceeded to carry out the topographic survey of the study area where a slope of 0.064% was obtained.

For the hydrological study, the flow record provided by the Valle Chicama Users Board dating from 1971 to 2018 was used, with this record it was possible to calculate the design flows adjusting to the Normal, Log Normal 2 Parameters, Log Normal 3 Parameters, Gamma 2 Parameters, Gumbel, Log Pearson Type III, of which the Log Pearson Type III distribution was chosen, obtaining as results 1106.04 m<sup>3</sup> / s, 1407.27 m<sup>3</sup> / s, 1674.41 m<sup>3</sup> / s and 1761.34 m<sup>3</sup> / s as design flows, for a return period of 30, 50, 100 and 170 years.

Hydraulic modeling was carried out with the help of the Iber 2.4.3 program, with which, through a pre-process and post-process, different simulations were originated to be able to analyze the behavior of the water flow within the Chicama river, managing to determine the critical points of the riverbed at different flows and return periods.

With the results obtained in the two-dimensional simulation, it was possible to determine the times of flooding in times of maximum floods, allowing the design of a rocky as a solution proposal with a flow of 1761.34 m<sup>3</sup> / s for a return period of 170 years for the Chicama river. with a crown width of 4m, a height of the dam of 3.50m and a rockfall height of 3.50m.

## PRESENTACIÓN

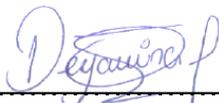
Señores miembros del jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el reglamento interno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ponemos a vuestra disposición el presente trabajo de suficiencia profesional titulado: **“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE INUNDACIONES EN EL CAUCE DEL RIO CHICAMA ENTRE EL TRAMO PUENTE CAREAGA Y DESVIO SINTUCO”**

Para obtener el título profesional de ingeniero civil, así como algunas experiencias para el desarrollo de la ingeniería.

Consideramos señores miembros del jurado que con vuestras sugerencias y recomendaciones este trabajo pueda mejorarse y contribuir a la difusión de la investigación de nuestra Universidad.

  
.....  
Br. Gomez Aponte Edgar Joel

  
.....  
Br. Pimentel Quiliche Deyanira A.

## INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de investigación.....	1
a. Descripción de la Realidad Problemática.....	1
b. Descripción del problema .....	4
1.2. Objetivos de la investigación .....	4
1.2.1. Objetivo General .....	4
1.2.2. Objetivo Específico .....	4
1.3. Justificación del Estudio .....	4
II. MARCO DE REFERENCIA .....	5
2.1. Antecedentes del estudio.....	5
2.1.1. Antecedente Internacional .....	5
2.1.2. Antecedente Nacional .....	6
2.1.3. Antecedente Local.....	6
2.2. Marco Teórico .....	7
2.2.1. Los Ríos en el Perú .....	7
2.2.2. Morfología de los Ríos .....	7
2.2.3. Clasificación de los Ríos.....	7
2.2.4. Precipitación .....	9
2.2.5. Inundación .....	10
2.2.6. Avenidas .....	12
2.2.7. Caudal Máximo .....	13
2.2.8. Modelos de distribución de probabilidades .....	14
2.2.9. Modelo.....	16
2.2.10. Modelo Hidráulico .....	17
2.2.11. Simulación .....	17
2.2.12. Coeficientes de Rugosidades de Manning .....	17
2.2.13. Diseño de defensa ribereña (enrocado).....	20
2.2.14. Modelo Digital de Elevación (DEM):.....	25
2.2.15. Modelamiento ArcGis.....	27
2.3. Marco Conceptual.....	27

2.3.1.	Avenida .....	27
2.3.2.	Aguas Arriba .....	27
2.3.3.	Aguas Abajo.....	28
2.3.4.	Cauce.....	28
2.3.5.	Cuenca Hidrográfica.....	28
2.3.6.	Hec-Ras .....	28
2.3.7.	Hidráulica .....	28
2.3.8.	Hidrología.....	28
2.3.9.	Inundación .....	28
2.3.10.	Intensidad de precipitación .....	29
2.4.	Hipótesis.....	29
2.5.	Variables .....	29
2.5.1.	Variable Independiente .....	29
2.5.2.	Variable Dependiente .....	29
2.5.3.	Operacionalización de Variables .....	29
III.	Metodología .....	30
3.1.	Población.....	30
3.2.	Muestra .....	30
3.3.	Diseño de Investigación .....	30
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	30
3.5.	Procesamiento y análisis de datos .....	31
3.5.1.	Estudio Hidrológico.....	31
3.5.2.	Modelamiento Hidráulico .....	32
3.5.3.	Diseño del Dique para el Enrocado.....	33
IV)	RESULTADOS.....	33
3.6.	Modelo Digital de Elevación (DEM).....	33
3.7.	Estudio Hidrológico .....	34
3.7.1.	Para seleccionar el Periodo de Retorno .....	35
3.7.2.	Distribución Estadística.....	36
3.8.	Estudio de Inundabilidad.....	38
3.8.1.	Sin defensa ribereña .....	38
3.8.2.	Diseño de defensa ribereña (enrocado .....	43

3.8.3. Con defensa ribereña (enrocado):.....	48
3.8.4. Secciones sin defensa ribereña (enrocado):.....	52
3.8.5. Secciones con defensa ribereña (enrocado):.....	54
CONCLUSIONES .....	56
RECOMENDACIONES .....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
ANEXOS.....	60

## INDICE DE TABLA

Tabla N°1.	Rugosidad del río en diferentes condiciones.....	18
Tabla N°2.	Coeficientes de rugosidad de Manning .....	19
Tabla N°3.	Coeficientes de material en el cauce .....	20
Tabla N°4.	Coeficientes del tipo de río.....	20
Tabla N°5.	Factor de fondo del río.....	21
Tabla N°6.	Factor de orilla del río .....	21
Tabla N°7.	Condiciones de fondo de río (K1) .....	22
Tabla N°8.	Ancho estable según caudal máximo .....	22
Tabla N°9.	Coeficientes de rugosidades para cauce natural.....	23
Tabla N°10.	Coeficiente para calcular el borde libre del muro .....	23
Tabla N°11.	Caudal de diseño en función al ancho de corona.....	24
Tabla N°12.	Factor de seguridad .....	24
Tabla N°13.	Operacionalizacion de Variable.....	29
Tabla N°14.	Registro de caudales máximos anuales .....	34
Tabla N°15.	Riesgo Admisible (%).....	35
Tabla N°16.	Periodos de Retorno (n años) .....	36
Tabla N°17.	Periodo de retorno igual a 30 años .....	36
Tabla N°18.	Periodo de retorno igual a 50 años .....	37
Tabla N°19.	Periodo de retorno igual a 100 años .....	37
Tabla N°20.	Periodo de Retorno igual a 170 años.....	37
Tabla N°21.	Resumen de caudales de diseño .....	38
Tabla N°22.	Calculo de ancho estable.....	43
Tabla N°23.	Resumen del cálculo de ancho estable .....	43
Tabla N°24.	Calculo del tirante .....	44
Tabla N°25.	Calculo de la velocidad media.....	44
Tabla N°26.	Numero de Froude.....	44
Tabla N°27.	Calculo de altura de dique .....	45
Tabla N°28.	Resumen de altura de dique.....	45
Tabla N°29.	Sección típica del dique.....	45
Tabla N°30.	Profundidad de socavación.....	46
Tabla N°31.	Tirante de Socavación para suelos granulares .....	46

<b>Tabla N°32. Resultado de la profundidad de socavación .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla N°33. Profundidad de uña.....</b>	<b>47</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Hidrograma de caudales pronosticados del Rio Chicama .....	3
Figura 2.	Área de estudio, Puente Careaga – Desvió Sintuco.....	3
Figura 3.	Geometría de los ríos en el Perú .....	9
Figura 4.	<i>Fenómeno del Niño 2017: Carretera Panamericana Norte inundada en Chiclín</i> .....	11
Figura 5.	Creación del Modelo Digital de Elevaciones (DEM) .....	33
Figura 6.	Resultados del calado TR=30 años .....	38
Figura 7.	Resultados de velocidad TR=30 años.....	39
Figura 8.	Resultados del calado TR=50 años .....	39
Figura 9.	Resultados de velocidad TR=50 años.....	40
Figura 10.	Resultados del calado TR=100 años.....	40
Figura 11.	Resultado de velocidad TR=100 años.....	41
Figura 12.	Resultado del calado TR=170 años.....	41
Figura 13.	Resultado de velocidad TR=170 años.....	42
Figura 14.	Diseño del enrocado .....	47
Figura 15.	Resultado del calado TR=30 años.....	48
Figura 16.	Resultado de Velocidad TR=30 años .....	48
Figura 17.	Resultado del calado TR=50 años.....	49
Figura 18.	Resultado de velocidad TR=50 años.....	49
Figura 19.	Resultado de calado TR=100 años.....	50
Figura 20.	Resultado de velocidad TR=100 años.....	50
Figura 21.	Resultado del calado TR=170 años.....	51
Figura 22.	Resultado de velocidad TR=170 años.....	51
Figura 23.	Secciones de la zona de estudio inundada .....	52
Figura 24.	Área inundada – sección 1 .....	52
Figura 25.	Área inundada – sección 2 .....	53
Figura 26.	Área inundada – sección 3 .....	53
Figura 27.	Secciones de la zona de estudio sin inundación .....	54
Figura 28.	Área sin inundación – sección 1 .....	54
Figura 29.	Área sin inundación – sección 2 .....	55

<b>Figura 30.</b>	<b>Área sin inundación – sección 3 .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 31.</b>	<b>Reconocimiento de la zona de estudio, Rio Chicama .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 32.</b>	<b>Estado actual del rio Chicama.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 33.</b>	<b>Acumulación de plantas en el lecho del rio Chicama.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 34.</b>	<b>Acumulación de material suelto en el lecho del rio Chicama ..</b>	<b>63</b>
<b>Figura 35.</b>	<b>Tamo de estudio dirección al desvío Sintuco con acumulación de desmonte y basura .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 36.</b>	<b>Gran cantidad de hectáreas de cultivo de caña perdidas .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 37.</b>	<b>Vía principal en el tramo de estudio destruida.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 38.</b>	<b>Tráfico vehicular en la vía principal .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 39.</b>	<b>Visita a la Junta de Usuarios del Valle Chicama para obtener el registro de caudales anual. ....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 40.</b>	<b>Levantamiento topográfico con Dron DJI Phantom de la zona de estudio .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 41.</b>	<b>Importación de la ortofoto a Civil 3D para luego crear polígonos para la identificación de rugosidades .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 42.</b>	<b>Importación del modelo en un formato DXF para Iber.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 43.</b>	<b>Colapsado del modelo para eliminar puntos innecesarios en las secciones .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 44.</b>	<b>Creación de superficies .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 45.</b>	<b>Asignación del tiempo de simulación de 7200 segundos .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 46.</b>	<b>Creamos las condiciones de contorno para determinar la entrada y salida del flujo .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 47.</b>	<b>Asignamos la condición de entrada para el flujo.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 48.</b>	<b>Asignamos la condición de salida para el flujo .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 49.</b>	<b>Asignamos las rugosidades para cada sector del tramo de estudio</b>	<b>71</b>
<b>Figura 50.</b>	<b>Asignación del tamaño de las superficies (enmallado).....</b>	<b>71</b>

## **I. INTRODUCCIÓN:**

### **1.1. Problema de investigación:**

#### **a. Descripción de la Realidad Problemática:**

En diferentes lugares del mundo se han formado grandes lazos, relacionando fuertemente a los ríos y las ciudades que se desarrollan en las orillas. Dentro de ellas se encuentra la ciudad de Londres y el Támesis, París y el Sena, Florencia y el Arno, Iquitos y el Amazonas, Lima y el Rímac, los cuales son algunos de los ríos más importantes que se podrían mencionar. Los tratamientos y cuidados que estas grandes ciudades les dan a sus ríos varían, ya sean por diferentes factores como el clima, o diferentes circunstancias; como también dependiendo de sus características, hidráulica, hidrológica y sedimentológica. (Rocha Felices, 1998)

Una inundación es producida generalmente por los ríos en distintos lugares del Perú y el mundo, dando lugar también a las acciones del mar o diversas estaciones del año donde se presentan fuertes precipitaciones que se pueden considerar riesgoso para las personas, causando significativos costos económicos. Durante la última década del siglo XX, ciertas inundaciones ocurridas en el país provocaron que fallecieran cerca de 100 000 personas y en general alrededor de todo el mundo cerca de 1.4 millones de personas. (CENEPRED, 2018)

Toda inundación genera un daño en la vida de las personas tanto sus bienes como también la infraestructura, aparte de ello generan un daño grave sobre el medio ambiente y el suelo. Unas de las causas importantes en una inundación es la erosión y sedimentación de la fuente de agua. En zonas de la selva, el agua de las lluvias desde que comienzan a precipitarse en la superficie de la tierra sufren diferentes procesos de filtraciones, acumulaciones subterráneas, drenajes, retención, evaporación y consumo. (CENEPRED, 2018)

Las inundaciones en el Perú son un problema reiterado cada año, a causa de las diversas magnitudes las fuertes lluvias en la Región Andina, las cuales tienen un periodo de sequía y un periodo de lluvioso muy diferenciado, adicionándole los años

de presencia del fenómeno del niño hacen que los caudales de los ríos que descienden de la Región Andina a la Costa incrementen varias veces su volumen, causando desbordes y ocasionando daños en ciudades de la Costa, especialmente en la Región Norte y Sur del país. (Autoridad Nacional Del Agua, 2008)

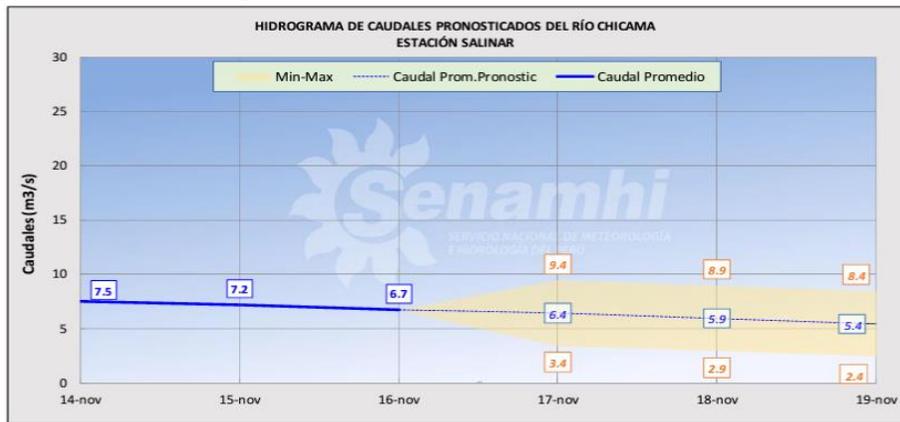
Actualmente se vienen presentando problemas de inundación en diferentes partes del Perú, a causa de sus diferentes cambios climáticos que suceden, en La Libertad el principal problema son los desbordes de los ríos, por esa misma razón la zona de investigación está ubicada en el cauce del río Chicama entre el tramo puente Careaga y desvío Sintuco, en el cual se presentan desbordes del río lo que perjudica drásticamente a los cultivos aledaños y habitantes.

Problemas climatológicos tales como el Fenómeno del Niño Costero, ocasionaron diversos desbordes en los puntos críticos del río Chicama, bloqueando la carretera Panamericana Norte a la altura del Puente Careaga y afectando más de 10 mil hectáreas en el Valle Chicama, perjudicando a más de 2 mil agricultores que estuvieron a punto de perderlo todo. (La Republica, 2017)

Las grandes cantidades de lluvia hizo que el acúmulo de agua provoque el colapso de uno de los diques laterales del río Chicama logrando que se desborde justo donde se une al río Santero, interrumpiendo por aproximadamente unas siete horas el tránsito vehicular en la carretera que une las provincias de Ascope y Gran Chimú. (El Comercio, 2018)

El caudal del Río Chicama en la estación hidrológica Salinar varía entre los 2.40 a 8.42 m<sup>3</sup>/s, y se encuentra inferior de su promedio normal histórico; hasta el momento dicho comportamiento hidrológico es estable en promedio. (Senamhi, 2021).

**Figura 1.** Hidrograma de caudales pronosticados del Río Chicama



Fuente: Senamhi, 2021

En esta investigación realizaremos un estudio de inundabilidad con caudales en diferentes periodos de 30, 50, 100, 170 años considerando un área de estudio de 3 km, desde el puente Careaga hasta el desvío Sintuco.

La zona en estudio está ubicada en la provincia de Ascope distrito de Chicama, comprendido desde el puente Careaga ubicado en la Panamericana Norte 13700 con coordenadas  $7^{\circ}49'9''S$   $79^{\circ}10'25''W$  hasta el desvío a Sintuco a 3 km del puente.

**Figura 2.** Área de estudio, Puente Careaga – Desvío Sintuco



Fuente: Google Earth

## **b. Descripción del problema:**

En el tramo puente Careaga y desvío Sintúco se presenta un problema de inundación debido al desborde del Río Chicama, causado por las máximas avenidas en épocas de fuertes lluvias, interrumpiendo así, el tránsito vehicular y dañando grandes hectáreas de cultivo.

## **c. Formulación del problema:**

¿La propuesta de diseño de una defensa ribereña, logrará evitar la inundación en el cauce del río Chicama entre el tramo puente Careaga y desvío Sintuco?

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

### **1.2.1. Objetivo General:**

Proponer el diseño de una defensa ribereña para evitar inundaciones en el cauce del río Chicama entre el tramo puente Careaga y desvío Sintúco.

### **1.2.2. Objetivo Específico:**

- Realizar un diagnóstico del estado actual del cauce del Río Chicama entre el tramo puente Careaga y desvío Sintúco.
- Luego proceder con la elaboración del levantamiento topográfico en la zona de estudio.
- Recolectar datos históricos de 30, 50, 100 y 170 años en relación a los caudales del Río Chicama.
- Realizar simulaciones computarizadas del comportamiento del río Chicama en situaciones de máximas avenidas.
- Diseño del enrocado para evitar inundaciones en el tramo de estudio.

## **1.3. Justificación del Estudio:**

Esta propuesta de diseño se justifica académicamente ya que nos va a permitir aplicar el conocimiento adquirido en el transcurso de nuestra formación académica en la universidad, aplicando métodos relacionados con la hidráulica en un estudio de inundaciones.

Va orientado técnicamente porque se evaluará la geometría del río mediante la simulación hidráulica con la ayuda de la topografía, datos de precipitaciones obtenidas en el SENAMHI y los caudales máximos en un periodo de 30, 50, 100,

170 años, lo que permitirá determinar las zonas más vulnerables que permiten el desborde del río, inundando las zonas aledañas.

Su justificación socioeconómica, va orientada al uso de este proyecto como un estudio base para posteriores investigaciones que vayan referidas a tratar de solucionar problemas de inundaciones en épocas de máximas avenidas, los cuales pueden ocasionar daños a las viviendas aledañas, grandes daños a las hectáreas de cultivos generando pérdidas económicas para los agricultores, como también pérdidas humanas.

## **II. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1. Antecedentes del estudio:**

#### **2.1.1. Antecedente Internacional:**

HERRERA SÁNCHEZ, H. (2014) "MODELAMIENTO HIDRÁULICO EN EL TRAMO DEL RIO SAN JUAN" UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA JOSÉ ANTONIO ECHEVARRÍA, CUBA.

Se propuso realizar el comportamiento hidráulico en el río San Juan, Cuba, tomando de este el tramo que se encuentra aguas abajo de la presa de igual nombre, hasta su desembocadura en el mar Caribe, al sur de la región oriental del país. Para lo cual desarrolló la recopilación y proceso de toda la información, aplicando el ArcView 3.3 con su extensión Hec-GeoRAS, obteniendo el modelo digital del terreno y su exportación como un fichero para el modelo matemático HEC-RAS 3.1.3. Se realizó la modelación hidráulica un periodo de retorno de 100 años, con una probabilidad de evento máximo. La investigación llegó a los siguientes resultados: los perfiles de niveles de agua a lo largo del tramo del río seleccionado y el área de inundación del mismo tramo, las respuestas hidráulicas de la cuenca para diferentes avenidas demostrándose la factibilidad y la utilidad del software. El principal aporte al trabajo de investigación es el uso de los diferentes hidrogramas que se obtuvieron en un trabajo previo, Cadet2009, mediante la modelación hidrológica. Lo trabajaron para una probabilidad de diseño de 1%, para evento máximo de un periodo de retorno de 100 años, pero también para diferentes condiciones de terreno, variando el coeficiente de estado del suelo que varía según su humedad.

### **2.1.2. Antecedente Nacional:**

LÓPEZ CABELLO, J. (2014) “SIMULACION HIDRAULICA DE INUNDACION EN LA ZONA URBANA DE LA CUENCA BAJA DEL RIO HIGUERAS – HUÁNUCO – 2014” UNIVERSIDAD DE HUANUCO, PERÚ.

Se propuso determinar el comportamiento hidráulico de inundación en la zona urbana de la cuenca baja del río higueras, para precisar la ubicación adecuada de estructuras hidráulicas, para lo cual se desarrolló una metodología empírica e hidrológica, puesto que no se contaba con datos de aforos y niveles máximos diarios del río Higueras. La investigación llegó a los siguientes resultados; con la simulación hidráulica realizada se encontró que el río Higueras se desborda por el margen de las urbanizaciones León de Huánuco y Viña del río, con un caudal superior a 77.08 m<sup>3</sup>/seg, teniendo un tirante crítico de 2.70 m que corresponde a un periodo de retorno de 25 años, el puente León de Huánuco se encuentra vulnerado con un caudal superior a 92.17 m<sup>3</sup>/seg que corresponde a un periodo de retorno de 50 años. El principal aporte al trabajo de investigación es el Hidrograma unitario Sintetico del SCS, ya que es un método indirecto que permite la determinación de caudales máximos, y que puede ser modelado por el software Hec-Ras.

### **2.1.3. Antecedente Local:**

FRÍAS SILVA, E.; MOGOLLÓN BORRERO, A. (2017) “SIMULACIÓN HIDRÁULICA BIDIMENSIONAL DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN AGUAS ABAJO DEL SECTOR HUABALITO – CHICAMA” UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO, TRUJILLO – PERÚ.

Se propuso realizar una representación hidráulica computarizada bidimensional de las zonas más propensas a inundarse aguas abajo del Sector Huabalito-Chicama, para proyectar estructuras de defensa ribereña, para lo cual se desarrolló un pre procesamiento y post procesamiento de los datos que se obtuvieron en campo los cuales se procesaron a través de la combinación del Modelo Hidráulico Hec-Ras con el Sig-Arcview correspondientemente siendo una alternativa de confianza, técnicamente eficiente y económicamente razonable a la realidad nacional y regional.

La investigación llego a los siguientes resultados, con el estudio topográfico se determinó que la zona de trabajo presenta un pendiente de 6□/ 00 en comparación al rio que es de 8°/00, además de tener una sección bastante irregular que en promedio es 172 m, para la estimación de máximas avenidas se utilizó los métodos de log-Pearson Tipo III y Gumbel de las cuales fueron los resultados, para 10 años un caudal de 644.60 m<sup>3</sup>/s, para 25 años un caudal de 863.75 m<sup>3</sup>/s, para 50 años un caudal de 1104.33 m<sup>3</sup>/s. Adicionalmente de acuerdo a los valores obtenidos se pudo deducir que el flujo será tal que no se producirán arenamientos ya que contara con diferentes velocidades de 3 m/s a mas, las cuales llegan a ser suficientes para el transporte de materiales suspendidos en el cauce del rio. El principal aporte al trabajo de investigación es la recomendación de enrocamiento en los tramos con severos desbordamientos, así como también la simulación hidráulica bidimensional de las zonas más propensas a inundarse.

## **2.2. Marco Teórico:**

### **2.2.1. Los Ríos en el Perú:**

En el Perú existen ríos con diferentes características, los cuales se ligan a un desarrollo tanto social como económico. Estos ríos por lo general son propensos a desbordarse, provocado inundaciones, a causa de contar con descargas irregulares en diferentes periodos de tiempo (Arturo Rocha, 1998).

### **2.2.2. Morfología de los Ríos:**

La morfología en los ríos, se encarga de estudiar su forma estructural de los ríos, su conformación, su geometría tanto en su sección transversal como también en la forma de fondo. (Garcia Sanchez & Maza Alvarez, 1997)

### **2.2.3. Clasificación de los Ríos:**

Estos se clasifican en puntos de vista distintos, gracias a ello nos facilita la ubicación de diferentes cauces determinando las características principales. Para ello es preferible tener en cuenta el cambio que pueda ocasionar la

naturaleza presentándonos diferentes clasificaciones. (Garcia Sanchez & Maza Alvarez, 1997)

**A. Según su longevidad:**

**1. Joven:**

Generalmente son hallados dentro de cauces en una montaña, su configuración física cuenta con una pendiente alta y una sección transversal tipo V. Por lo general varían, y se encuentra en una fase de deterioro. (Garcia Sanchez & Maza Alvarez, 1997)

**2. Adulto:**

Es un tipo de río más estable con secciones transversales en todos sus tramos, son capaces de movilizar las cargas de sedimentos dentro de sus diferentes recorridos. (Garcia Sanchez & Maza Alvarez, 1997)

**3. Viejo:**

Son encontrados en zonas extensas y con llanuras, cuyo ancho consta de 15 a 20 veces mayor que el ancho localizado en sus curvas, cuentan también con muy pequeñas pendientes. (Garcia Sanchez & Alvarez, 1997)

**B. Por su Geometría:**

**1. Rectos:**

Por lo general ocurre en tramos pequeños que son transitorios, ya que, con cualquier alteración en la forma de su cauce o alineamiento, o con la creación de bancos, o bien algún obstáculo temporal que allí se encuentre, generan alteraciones locales que producen flujos transversales los cuales dan inicio a la formación de meandros o curvas. (Garcia Sanchez & Maza Alvarez, 1997)

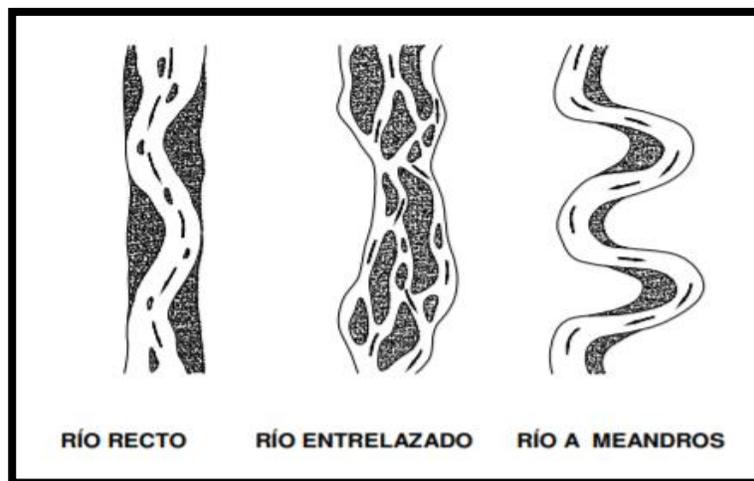
## 2. Con Meandro:

Son curvas que presenta el curso de un río por tramos cortos y rectos. Cuenta con pendientes muy escasa, estos cauces se manifiesta con la sedimentación y erosión simultáneamente, en los tramos agua abajo. (Garcia Sanchez & Maza Alvarez, 1997)

## 3. Trenzado:

Está conformado por los ríos que son divididos en diversos cauces los cuales se cruzan entre sí. Cuenta con un cauce de gran amplitud en la que su margen no se encuentra definido. (Garcia Sanchez & Maza Alvarez, 1997)

**Figura 3.** Geometría de los ríos en el Perú



**Fuente:** *Morfología Fluvial, Arturo Rocha*

### 2.2.4. Precipitación:

Las precipitaciones son todo aspecto húmedo que se origina gracias a las nubes las cuales llegan hasta la superficie terrestre, puede presentarse como estado líquido y sólido. Dentro de los puntos de vista hidrológico, estas precipitaciones es un proceso con mucha importancia dentro del ciclo del agua, y junto con su evaporación forman parte de la interacción de la atmosfera con el agua superficial. Como ya sabemos, la fuente principal de humedad para generar la precipitación, está conformada por la evaporación

producida desde la superficie de los mares y que, como consiguiente, se obtienen la formación de las nubes. (SENAMHI, 2019)

Las nubes formadas luego de este proceso, son transportadas por el viento a distintos lugares permaneciendo algunas en el océano y otras en los continentes. Mediante este recorrido las nubes van adquiriendo mayor humedad ya que se unen entre ellas logrando agrandar las gotas que la conforman. Luego de que se agrandan, adquieren más peso, por lo cual estas caen hacia la superficie terrestre en estado líquido o sólido. (SENAMHI, 2019) Existen precipitaciones que son desarrolladas a más de 0°C de temperatura, las cuales se presentan en forma de lluvia. En diferentes zonas de la Región Andina donde la temperatura es menor a 0°C las gotas de lluvia llegan a congelarse cayendo en forma de granizo o nieve. (SENAMHI, 2019)

De acuerdo a su intensidad, las precipitaciones en el Perú se clasifican en:

- a. **Débil intensidad:** Son menores a 1.5mm, en las cuales se puede desarrollar trabajos al aire libre. (SENHAMI, 2019)
- b. **Ligera intensidad:** Son de 1.6 a 3.0mm, en las cuales se puede desarrollar trabajos al aire libre, pero con cierto grado de dificultad. (SENHAMI, 2019)
- c. **Moderada intensidad:** Son de 3.1 a 9mm, en las cuales no está permitido trabajar al aire libre. (SENHAMI, 2019)
- d. **Fuerte intensidad:** Son de 9.1 a 36mm, es casi imposible desarrollar cualquier tipo de trabajo. (SENHAMI, 2019)
- e. **Intensa intensidad:** Son de 36.1 a 100mm, por lo general es peligroso realizar cualquier tipo de trabajo. (SENHAMI, 2019)

#### **2.2.5. Inundación:**

La inundación es el aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce, lo entendemos también como el aumento superficial del agua en el cauce de un río. (Salas Salinas & Jiménez Espinosa, 2007)

**Figura 4.** *Fenómeno del Niño 2017: Carretera Panamericana Norte inundada en Chiclín*



**Fuente:** RPP Noticias

**A. Tipos de inundaciones:**

**1. Inundación lenta:**

Ante la presencia de lluvia de gran intensidad, el agua precipitada es capaz de saturar el terreno, aumentando el volumen de agua encontrado en el cauce del río que proporcionalmente se comienza a desbordar a nivel de sus márgenes. (Salas Salinas & Jiménez Espinoza, 2007)

**2. Inundación Súbita:**

Este tipo de inundación se produce como consecuencia de las fuertes lluvias repentinas y de grandes intensidades generadas en un área específica. Pueden causar pequeñas corrientes que luego de pocos minutos se transforman en fuertes torrentes capaces de generar grandes daños. (Salas Salinas & Jiménez Espinosa, 2007)

**3. Inundación Pluvial:**

Es generado como resultado de precipitaciones, por lo general se presentan en terrenos saturados donde el agua de las lluvias de logra

acumular durante varios días u horas. (Salas Salinas & Jiménez Espinosa, 2007)

#### **4. Inundación Fluvial:**

Son producidas cuando las aguas de los ríos que se desbordan se quedan sobre los terrenos cercanos a ellos. (Salas Salinas & Jiménez Espinosa, 2007)

#### **5. Inundación Costera:**

Se originan cuando el nivel del mar se incrementa debido a la marea lo que como consecuencia este penetra tierra adentro, por lo general en las zonas costeras, logrando cubrir grandes extensiones de terreno urbano. (Salas Salinas & Jiménez Espinosa, 2007)

### **2.2.6. Avenidas:**

Viene a ser el aumento de los niveles en los cursos de agua que por lo general es mayor que el flujo medio que se presenta en este. Durante su crecimiento, el caudal del curso del agua va aumentando en tal proporción que los cauces de los ríos son incapaces de contenerlo. (García García, 2017)

#### **A. Tipos de Avenidas:**

##### **1. Avenida Periódica:**

Por lo general no ocasionan mucho daño, pueden ser en algunos casos beneficiosos. Estas avenidas duran prolongadamente, llegando a extenderse por semanas o meses. Se pueden predecir, lo que permite anticipar con una medida de protección evitando un daño severo. (García García, 2017)

## **2. Avenida Excepcional:**

Son generadas por precipitaciones fuertes dentro toda la cuenca o parte de esta. Resulta dificultoso predecirlas, para ello es necesario una red de monitoreo manipulada en tiempo real. (García García, 2017)

### **2.2.7. Caudal Máximo:**

Estos caudales en su mayoría se utilizan para poder predecir inundaciones como también desarrollar diseños de obras hidráulicas, que pueden ser, alcantarillas, canales, etc.

También está definido como el mayor volumen de agua que logra pasar por un punto de control, siendo consecuencia de enérgicas precipitaciones. (Ven Te Chow & Maidment Larry, 1994)

#### **A. Método para determinar eventos de caudales máximos:**

- **Método Empírico:** Está constituido por formulas empíricas, las que actualmente se utilizan muy poco a causa de que existen mejores procedimientos con aplicaciones informáticas. Cuando los datos son escasos, es preferible utilizar fórmulas que nos ayuden a conocer rápidamente la magnitud de los caudales máximos que pueden esperarse, pudiéndolo comparar con datos reales de cuencas similares. Generalmente son derivados del método racional, donde involucran varios errores, ya que no puede ser resumido a una fórmula de tipo directo. (Villon, 2011)
- **Método Histórico:** Está constituido por la recolección de datos de avenidas pasadas que ocurrieron en algún determinado río. Este método histórico, aunque nos permite conocer las características de grandes avenidas que ocurrieron años atrás, no nos permite predecir las proporciones de una avenida mayor a la ya conocida.
- **Método de Correlación Hidrológica:** Lo aplicamos cada vez que no contamos con datos hidrométricos y pluviométricos. (Chereque, 1989)

- **Método Hidráulico:** Al aplicarlos utilizamos formulas hidráulicas que no debemos obviar, por lo general nos permite conseguir información de mucha utilidad, principalmente para poder determinar las alturas en los niveles que alcanza el agua años anteriores y nos faculta conocer el gasto máximo instantáneo.

### 2.2.8. Modelos de distribución de probabilidades:

La capacidad que tiene un modelo probabilístico para que se ajuste a datos de precipitación dependerá de su flexibilidad y su naturaleza intrínseca para desarrollar una distribución de probabilidades (Fdp). (Rivano, 2004)

#### A. Distribución Gumbel:

Parte distribuyendo un valor externo tipo 1 de Fisher y Tippet, considerada como distrubucion Gumbel, viene a ser una distribución de asimetría constante e igual a 1.139547. (Chow, 1994)

$$F(X) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}}$$

Definiendo para:  $-\infty < x < \infty$

Donde:

$0 < \alpha < +\infty$  ; Parámetro de escala

$-\infty < \mu < +\infty$  ; Parámetro de posición

#### B. Distribución Normal:

Se considera por su distribución simétrica, está definida como:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2}$$

Donde:

X: Variable independiente

$\mu$ : Parámetro de posición

$\sigma$ : Parámetro de escala

### C. Distribución Log-Normal:

Es llamado también ley de Galton, es un modelo probabilístico que establece si los logaritmos neperianos,  $\ln x$ , de una variable aleatoria  $X$  son distribuidos normalmente, entonces la variable  $X$  es distribuida en forma de logaritmo normal, es decir la variable aleatoria:  $y = \ln X$ , se distribuye normalmente con media  $\mu_y$  y varianza  $\sigma^2$ , y su función de distribución de probabilidades es:

$$F(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_y} \int_0^x e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2}$$

Si la variable,  $y = \ln x$ , se estandariza de la siguiente forma:

$$Z = \frac{y - \mu_y}{\sigma_y} = \frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}$$

### D. Distribución Log Normal 2 Parámetros:

Su distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} e^{-(x-X)^2/2S^2}$$

Donde:

$X$  y  $S$  es el parámetro de distribución

### E. Distribución Log Normal 3 Parámetros:

Su función de distribución es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-1/2\left(\frac{\ln(x-x_0) - u_y}{S_y}\right)^2}$$

Para  $X > X_0$

Donde:

$X_0$ : parámetro de posición

$U_y$ : parámetro de escala

$S_y$ : parámetro de varianza o forma (Monsalve Sáenz, 1999)

#### F. Distribución Gamma 2 Parámetros:

Su función de distribución es:

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

Para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < Y < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Donde:

Y: parámetro de forma

B: parámetro de escala (Monsalve Sáenz, 1999)

#### G. Distribución Log Pearson Tipo III:

Una variable aleatoria X, tiene una distribución log Pearson tipo III, si su función de probabilidades es: (Villón, 2011)

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{(\ln x - x_0)^{y-1} e^{-\frac{\ln x - x_0}{\beta}}}{x \beta^y \Gamma(y)}$$

Donde:

$x_0$ : Parámetro de posición

$\beta$ : Parámetro de escala

$y$ : Parámetro de forma

$T(y)$  : Función gamma completa

#### 2.2.9. Modelo:

Por lo general los modelos relacionan algo desconocido (producto o salida) con algo conocido (entrada). En este proyecto los modelos se incluyen dentro del HEC – RAS, la entrada que conocemos es el caudal en distintos periodos de retorno y la que desconocemos vendría a ser el tirante hidráulico y el espejo de agua en las secciones analizadas. (Chow, 1994)

En un proceso de modelamiento, se debe cumplir 2 etapas previamente, el primero de los cuales se refiere a su caracterización en el sistema, su afinidad

y valoración de alternativas posibles. Es por eso que tiene 3 tipos de herramientas informáticas: base de datos, modelos de simulación y sistemas de información geográfica. (Palomino, 2004)

#### **2.2.10. Modelo Hidráulico:**

Los modelos hidráulicos son simplemente modelos matemáticos que son procesados de manera digital mediante un software que nos ayuda a procesar los resultados obtenidos mediante diferentes metodologías, dándonos como resultado una visión real del proyecto a realizar. Su gran empleo en trabajos de campo relacionados con la hidrología agrega una buena valoración gracias a su funcionamiento y resultados.

#### **2.2.11. Simulación:**

Está conformada por un método numérico que procesa los resultados en una computadora. En estos procesos está comprendido diferentes tipos de vínculos matemáticos y lógicos, en el cual resulta necesario para explicar el comportamiento y estructuras de un sistema complejo desarrollado en la vida real a través de diferentes periodos de retorno. (Chavarri, 2013)

#### **2.2.12. Coeficientes de Rugosidades de Manning:**

##### **A) Factor que afecta a los coeficientes de rugosidades de Manning**

Cowan implemento un método para poder analizar los valores de  $n$ , con la siguiente formula:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m^5$$

Donde:

- $n_0$ : rugosidad base para canales rectos, uniformes, prismáticos y con rugosidad homogénea. (Ven Te Chow, 1959)
- $n_1$ : rugosidad adicional debida a irregularidad superficial en el perímetro mojado. (Ven Te Chow, 1959)

- n2: rugosidad adicional equivalente debido a variaciones de formas y la dimensión de su sección. (Ven Te Chow, 1959)
- n3: rugosidad equivalente debido a una obstrucción existente en su cauce.
- n4: rugosidad adicional equivalente debido a encontrarse vegetación. (Ven Te Chow, 1959)
- m5: factor de corrección donde se incorpora el efecto de sinuosidad del cauce. (Ven Te Chow, 1959)

**Tabla N°1.** Rugosidad del río en diferentes condiciones

CONDICIONES DEL CANAL		VALORES	
MATERIAL INVOLUCRADO	Tierra	no	0.020
	Corte en Roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava Gruesa		0.028
GRADO DE IRREGULARIDAD	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderada		0.010
	Severo		0.020
VARIACIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente Alternante		0.005
	Frecuentemente Alternante		0.010-0.015
EFECTO RELATIVO DE LAS OBSTRUCCIONES	Insignificante	n3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
VEGETACIÓN	Baja	n4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy Alta		0.050-0.100
GRADO DE LOS EFECTIVOS POR MEANDRO	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

**Fuente:** Ven Te Chow, 1959

A) Tabla de Coeficientes de Rugosidades de Manning:

Tabla N°2. Coeficientes de rugosidad de Manning

Tipo de cauce y descripción	Valor de $n$		
	Mínimo	Normal	Máximo
<b>D. Cauces naturales menores</b> (ancho superior a nivel de crecida menor que 30 m)			
D1) Cauces en planicie			
1) Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	<b>0.030</b>	0.033
2) Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
3) Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4) Igual que arriba pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
5) Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas	0.040	0.048	0.055
6) Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
7) Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8) Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorridos de la crecida con mucha madera o arbustos bajos	0.075	0.100	0.150
D2) Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos			
1) Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2) Fondo: canto rodado y algunas rocas	0.040	0.050	0.070
<b>E) Cauces con planicie crecida</b>			
1) Pastos, sin arbustos			
· Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
· Pastos altos	0.030	0.035	0.050
2) Áreas cultivadas			
· Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
· Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
· Campo de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
3) Arbustos			
· Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
· Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
· Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
· Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
· Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
4) Árboles			
· Sauces densos, en verano, y rectos	0.110	0.150	0.200
· Tierra clara con ramas, sin brotes	0.030	0.040	0.050
· Igual que arriba pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
· Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
· Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160
<b>F) Cursos de agua importantes</b> (ancho superior a nivel de inundación mayor que 30 m). Los valores de $n$ son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que las bancas ofrecen menor resistencia efectiva.			
1) Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-	0.060
2) Sección irregular y áspera	0.035	-	0.100

Fuente: Ven Te Chow, 1959

## 2.2.13. Diseño de defensa ribereña (enrocado)

### 2.2.13.1. Determinación del Ancho Estable:

#### a) Metodo de Altunin – Manning

$$B = A * \frac{\sqrt{Q}}{S^{0.2}}$$

$$A = (nK^{\frac{5}{3}})^{\frac{3}{(3+5)}}$$

Donde:

B: ancho de superficie (m)

A: coeficiente

Q: caudal m<sup>3</sup>/s

S: pendiente

n: coef. de rugosidad

K: coef. de resistencia de orillas

m: coef. De tipo de rio

**Tabla N°3.** Coeficientes de material en el cauce

Coeficiente del material del cauce	K
Material de cauce muy resistente	3 a 4
Material facilmente erosionable	16 a 20
Material aluvial	8 a 12
En los problemas de ingeniería (valor practico)	10

**Fuente:** Rubén Terán, 1998

**Tabla N°4.** Coeficientes del tipo de rio

Coeficiente de tipo de Rios	m
Para rios con montaña	0.5
Para cauces arenosos	0.7
Para cauces aluviales	1.0

**Fuente:** Rubén Terán, 1998

**b) Método de Blench**

$$B = 1.81 * \sqrt{\frac{Q * Fb}{Fs}}$$

Donde:

Q: Caudal m<sup>3</sup>/s

Fb: factor de fondo

Fs: factor de orilla

**Tabla N°5.** Factor de fondo del río

<b>Factor de Fondo</b>	<b>Fb</b>
Para material grueso	1.2
Para material fino	0.8

**Fuente:** Rubén Terán, 1998

**Tabla N°6.** Factor de orilla del río

<b>Factor de Orilla</b>	<b>Fs</b>
Para materiales cohesivos	0.3
Para materiales ligeramente cohesivos	0.2
Para materiales sueltos	0.1

**Fuente:** Rubén Terán, 1998

**c) Método de Simmons y Henderson**

$$B = K1 * Q^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q: caudal m<sup>3</sup>/s

K1: condiciones de fondo de río

**Tabla N°7.** Condiciones de fondo de río (K1)

Condiciones de fondo de río	K1
Fondo de arena y orillas de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orillas de grava	2.9
Fondo de arena y orillas de material no cohesivo	2.8

**Fuente:** Rubén Terán, 1998

**d) Método de Pettit**

$$B = 4.44 * \sqrt{Q}$$

Donde:

B: ancho medio de la sección

Q: caudal de diseño m<sup>3</sup>/s

**Tabla N°8.** Ancho estable según caudal máximo

Caudal Maximo Q(m <sup>3</sup> /s)	Ancho estable B (m)
2400 - 3000	200
1000 - 2400	190
500 - 1000	100
≤ 500	70

**Fuente:**Rubén Terán, 1998

**2.2.13.2. Tirante para máxima avenida**

$$t = \left( \frac{Q}{Ks * B * S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}}$$

Donde:

Q: caudal de diseño m<sup>3</sup>/s

B: ancho medio de la sección m

S: pendiente del río

Ks: coeficiente de rugosidad

t: tirante máximo

**Tabla N°9.** Coeficientes de rugosidades para cauce natural

Tipo de cauce natural	Ks
Cauce con fondo solido sin irregularidades	40
Cauce de rio con acarreo irregular (33-35)	33
Cauce de rio con vegetacion (30-35)	35
Cauce natural con derrubio e irregularidades	30
Cauce narutal con derrubio e irregularidades	28
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza (25-28)	25
Torrentes con derrubio grueso y acarreo movil (19-22)	20

Fuente: Rubén Terán, 1998

### 2.2.13.3. Altura de encauzamiento (H)

$$H = t + BL$$

Donde:

H: altura de encauzamiento

t: tirante máximo

BL: borde libre

$$BL = \phi * e$$

$$e = \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

$\phi$ : coeficiente de corrección depende del caudal de diseño

g: aceleración de la gravedad

**Tabla N°10.** Coeficiente para calcular el borde libre del muro

Caudal de diseño Q(m <sup>3</sup> /s)	Coeficiente $\phi$
3000 - 4000	2
2000 - 3000	1.7
1000 - 2000	1.4
500 - 1000	1.2
100 - 500	1.1

Fuente: Rubén Terán, 1998

#### 2.2.13.4. Ancho de corona

**Tabla N°11.** Caudal de diseño en función al ancho de corona

Caudal de Diseño Q(m <sup>3</sup> /s)	Ancho de corona (m)
500 - 2000	4 a 6
Menos de 500	3 a 4

**Fuente:** Rubén Terán, 1998

#### 2.2.13.5. Profundidad de Uña

En este cálculo de profundidad de uña se utilizará la siguiente formula (Rubén Terán, 1998)

$$Puña = FS * HS$$

Dónde:

FS: factor de seguridad

HS: profundidad de socavación

**Tabla N°12.** Factor de seguridad

Condicion	Rango del Fs
Flujo uniforme, tramos rectos o medianamente curvos (radio de la curva/ancho del cauce >30). Minima influencia de impacto de sedimentos y material flotante	1.0 a 1.2
Flujo gradualmente variado, curvatura moderada (10 < radio de la curva/ancho del cauce < 30). Moderada de impacto de sedimentos y material flotante.	1.3 a 1.6
Flujo rapidamente variado, curvas cerradas (radio de la curva/ancho del cauce < 10), flujos de alta turbulenciam flujo de turbilencia mixta en estribos de puentes.	1.6 a 2.0

**Fuente:** Rubén Terán, 1998

## **2.2.14. Modelo Digital de Elevación (DEM):**

### **2.2.14.1. Herramientas:**

Existen diferentes herramientas para la elaboración de un DEM en donde entra a tallar el levantamiento topográfico como la acción principal para iniciar un modelo digital, donde se utiliza la estación total y el GPS. Actualmente, se incorporó como herramienta el trabajo de los drones, siendo aparatos capaces de realizar un levantamiento topográfico más preciso y mucho más práctico. (Chero & Castellet, 2015)

**A. Estación total:** Con esta herramienta podremos tomar puntos de estudio permitiéndonos tener un terreno georreferenciado, el cual está comprendido por mediciones múltiples con correcciones electrónicas. (Raquel Pachas, 2009)

**B. Drone:** Es un equipo capaz de navegar automáticamente con la ventaja de poder realizar trabajos de todo tipo, puede ser utilizados en exteriores o interiores de espacios pequeños, cuenta con sensores ópticos como: cámara de video, fotografías de espectros visibles. (Ferreira, n.d.)

### **2.2.14.2. Etapas:**

#### **A. Planificar:**

Al realizar cualquier levantamiento topográfico, se debe planificar, entendiéndolo como diferentes conjuntos donde se desarrollará una actividad previa para poder darle un uso óptimo y eficiente al instrumento, logrando obtener un producto de calidad y precisión cumpliendo con lo que exige el proyecto a realizar. (Swanston G., 2006)

**B. Señalizar:**

Se procede a resaltar las ubicaciones de los puntos de control, referentes al objetivo que queramos lograr permaneciendo en el sitio. Los puntos de control, son encontrados al nivel del piso los cuales es necesario que sean referenciados por algún responsable en campo, al mismo tiempo serán observados desde diferentes puntos del terreno para poder referenciarlos consecutivamente. (Pachas L. Raquel, 2009)

**C. Volar el Drone:**

Después de haber realizado el vuelo del dron y habiendo ubicado los puntos de control, procederemos a cargar las listas de waypoints en la memoria interna del autopiloto del dron para poder realizar un vuelo automático en toda el área de estudio. (Ernesto Santana, 2010)

**D. Punto de Control:**

Estos puntos son llamados también puntos de referencia que:

- Son colocados dentro del entorno de los terrenos.
- Son fotografiados desde el aire con la ayuda del dron.
- Se pueden establecer coordenadas geográficas con precisión.

La persona que opera el dron, tiene que darle una referencia visual a los puntos de control que puede ser marcas de pintura o yeso ya que deben verse desde el aire para poder localizar las fotos. (Pachas L. Raquel, 2009)

**E. Captura de Datos:**

Antes para poder realizar una captura de datos en el campo, de tenían que realizar a mano en alguna libreta de campo siendo dificultoso. (Pachas L. Raque, 2009)

Esta captura comienza con posicionar el punto de control los cuales definirán las líneas de referencia que son requeridas para poder orientar la estación total. (Pachas L. Raquel, 2009)

### **2.2.15. Modelamiento ArcGis:**

Este software nos posibilita elaborar distintos análisis de terrenos dentro del área hidrológico, ArcGis cuenta con distintas alternativas de uso, en este proyecto se utilizará para elaborar un modelo de elevación (Ortega Perez, 2016)

#### **A. Aplicación del ArcGis:**

Luego de realizar un modelo en ArcGis, se procede a cargar la información al programa IBER, en este caso ArcGis es extenso en ámbitos hidrológicos, esta información es ideal para:

- Planificar diferentes recursos hidrológicos en el área de estudio.
- Administrar diferentes recursos hídricos de manera eficiente y sostenible.
- Elaboración de estudios de inundaciones.
- Tener un control de masas de agua superficiales. (Ortega Perez, 2016)

### **2.3. Marco Conceptual:**

#### **2.3.1. Avenida:**

Es el crecimiento acelerado en los niveles de agua los cuales bajan a través de un cauce.

#### **2.3.2. Aguas Arriba:**

Es el sentido contrario a la corriente de un río, es conocida también como río arriba. (Franz Quiroz & Delgadillo Durán, 2012)

### **2.3.3. Aguas Abajo:**

Se ubica aguas abajo después de una sección considerada, esta avanza en sentido a la corriente. Es conocida como río abajo. (Franz Quiroz & Delgadillo Durán, 2012)

### **2.3.4. Cauce:**

Es donde está contenida grandes cantidades de agua en tiempos de máximas avenidas. Contempla un beneficio para dominio público hidráulico. (Autoridad Nacional de Agua, 2016)

### **2.3.5. Cuenca Hidrográfica:**

Es un lugar por donde se drena el agua producido por las lluvias de manera natural en dirección al mar o a diferentes ríos, dividida por diferentes líneas de cumbres, también llamadas líneas divisorias de agua.

### **2.3.6. Hec-Ras:**

Permite elaborar un cálculo de un perfil dimensional en espejos de agua con un flujo laminar que varían en un canal natural o construido.

### **2.3.7. Hidráulica:**

Área especializada en aplicar métodos para solucionar problemas que se encuentran relacionados con la distribución del agua.

### **2.3.8. Hidrología:**

Ciencia que se encarga de estudiar el agua de la tierra, sus diferentes circulaciones, distribuciones, propiedades físicas y químicas.

### **2.3.9. Inundación:**

Una inundación es la ocupación por parte del agua en zonas que habitualmente están libres de esta, y ocurre a causa de un desborde de río, lluvias o deshielos.

### 2.3.10. Intensidad de precipitación:

Es la cantidad de lluvia que se precipita en cierto tiempo. (Salas Salinas & Jiménez Espinoza, 2007)

### 2.4. Hipótesis:

La propuesta de diseño de una defensa ribereña evitará la inundación en el cauce del río Chicama entre el tramo puente Careaga y desvío Sintuco

### 2.5. Variables:

#### 2.5.1. Variable Independiente:

Diseño de defensa ribereña

#### 2.5.2. Variable Dependiente:

Inundaciones en el cauce del río Chicama entre el tramo puente Careaga y desvío Sintuco.

#### 2.5.3. Operacionalización de Variables:

**Tabla N°13.** Operacionalización de Variable

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSION	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES
Diseño de defensa ribereña	Una defensa ribereña es toda estructura que evita que un río se desborde e inunde las zonas aledañas a su cauce, los cuales pueden ser enrrocados, diques o espigones.	Caudal	Ayuda a prevenir inundaciones provocadas por un río en tiempo de máximas avenidas	m <sup>3</sup> /s
		Tirante		m
		Profundidad de uña		m
		Diametro de roca		m
VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSION	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES
Estudio de inundaciones	Una inundación es la ocupación por parte del agua en zonas que habitualmente	Area terrenal inundada	Este estudio se realiza para poder disminuir los riesgos tales como daños al	m <sup>2</sup>
				m

	están libres de esta, y ocurre a causa de un desborde de río, lluvias o deshielos.	Longitud de la llanura inundable	suministro de alimentación, tierras agrícolas y destrucción de viviendas	
--	--	----------------------------------	--	--

**Fuente:** Elaboración Propia

### III. Metodología:

#### 3.1. Población:

Tramo del puente Careaga y desvío Sintuco



Donde:

X: Variable independiente

Y: Variable dependiente

M: Muestra de estudio

#### 3.2. Muestra:

La muestra de estudio está conformada por el cauce del río Chicama tramo puente Careaga – desvío Sintuco.

#### 3.3. Diseño de Investigación:

De campo, ya que se recolectó los datos directamente en la zona de estudio (Río Chicama) y posteriormente poder analizar las causas de inundación con la ayuda del programa Iber.

#### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

- Realizar un reconocimiento del terreno, situándola como primera actividad antes de realizar un estudio, dado que se debe conocer la zona de estudio definiendo los puntos más vulnerables a ser inundadas.
- Proceder a realizar el levantamiento topográfico de la zona de estudio con la ayuda de los equipos de Dron DJI PHANTOM 4 PRO y GPS diferencial Topcon.

- Recolectar los datos históricos en relación a los caudales, en la junta de usuarios del Valle Chicama
- AutoCAD: lo utilizaremos para visualizar el plano topográfico, perfil longitudinal y secciones transversales.
- AutoCAD Civil 3D: se utilizará para verificar que el plano topográfico se encuentre georreferenciado

### 3.5. Procesamiento y análisis de datos:

Se realizará un cálculo para poder determinar la cantidad de agua que pueda llegar a inundar el tramo puente Careaga y desvió Sintuco, para ello utilizaremos lo siguiente:

- **Microsoft Excel 2019:** Se empleará para procesar los datos y determinar la cantidad de agua del río Chicama, acorde con su variación en el tirante.
- **AutoCAD Civil 3D 2019:** Se empleará para poder procesar los datos topográficos debidamente georreferenciados para poder plasmarlos en el modelamiento.
- **ArcGIS 10.5:** Se empleará para crear el DEM, que nos permitirá digitalizar la elevación.
- **Iber 2.4.3:** Utilizaremos este programa para poder determinar y analizar el cauce del río Chicama, donde lograremos identificar los puntos críticos que permitan la inundación.
- **Microsoft Word 2019:** Se empleó para redactar el informe final de tesis.

#### 3.5.1. Estudio Hidrológico:

- Examinamos los registros del caudal en cada año, ordenándolos de menor a mayor para poder determinar los caudales máximos.
- Después de obtener los caudales máximos, se aplica la distribución estadística que ya conocemos para los periodos de retorno con los que trabajaremos que son de 30, 50, 100, 170 años con el objetivo de hallar un caudal de diseño para una defensa ribereña.

- Aplicamos pruebas de bondad, para determinar que método nos sirve en cuanto a caudales, para lo que se eligió el método Smirnov Kolmogorov siendo ese método con el que trabaja el programa iber.

### **3.5.2. Modelamiento Hidráulico:**

#### **3.5.2.1. Pre – Proceso:**

- Con la ayuda del programa Civil 3D, exportamos la ortofoto de la zona de estudio, obtenida del levantamiento topográfico con la ayuda del dron.
- Posteriormente la dividimos por zonas para poder diferenciar las diferentes rugosidades de suelo según el método de Cowan, sectorizándolo en zonas como vegetación, estructura, y el cauce del río Chicama.
- Luego importamos como formato DXF dentro del software iber la planimetría creada en el programa Civil 3D, sectorizado y georreferenciado adecuadamente.
- Colapsamos el modelo para poder eliminar puntos que sobran dentro de los contornos creados.
- Creamos las superficies para cada sector dentro del polígono.
- Asignamos datos del problema, considerando el instante de inicio, el tiempo máximo de simulación y los intervalos de resultados.
- Asignamos condiciones de contorno, ingreso y salida del agua.
- Asignamos rugosidades para las superficies creadas dentro de la geometría.
- Generamos la malla para el modelo
- Editamos la malla que hemos creado para poder triangularla asignándole un tamaño en cada superficie.
- Luego se inicia el proceso de cálculo.

#### **3.5.2.2. Post – Proceso:**

- Modificamos los modos que nos permiten visualizar el flujo del agua.
- Seleccionamos los resultados para lograr visualizarlos.

- Observamos el resultado obtenido en cuanto a velocidades, pendientes, y calados, logrando precisar los puntos críticos que permiten la inundación en la zona de estudio.

### 3.5.3. Diseño del Dique para el Enrocado:

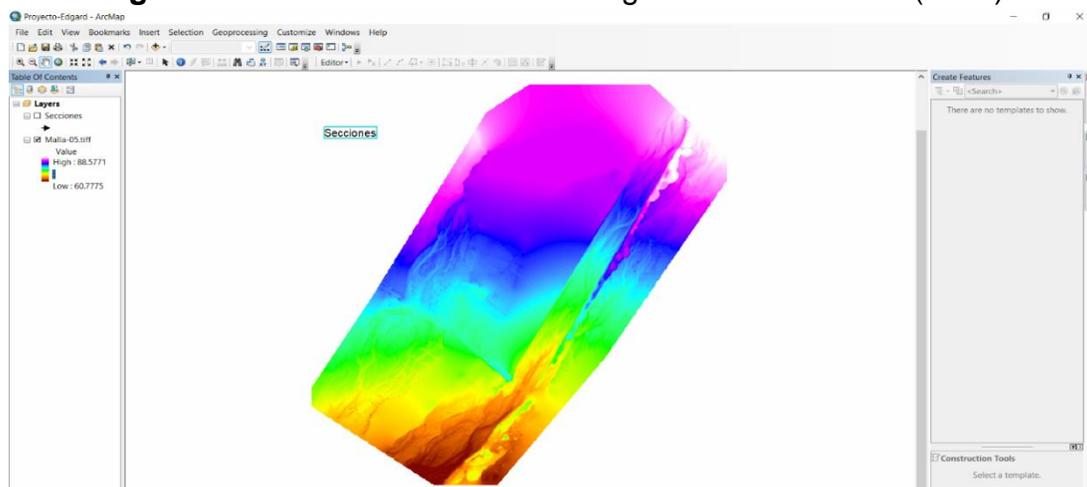
- Determinamos el ancho estable del río Chicama utilizando el método de Simons & Henderson, Blench, Altunin-Manning, Pettit, permitiéndonos elegir el que mejor se adapte a nuestra zona de estudio.
- Calculamos el tirante hidráulico del río.
- Determinamos la altura de encauzamiento y ancho de corona.
- Calculamos la profundidad de uña.
- Calculamos el diámetro de la roca.

## IV) RESULTADOS

### 3.6. Modelo Digital de Elevación (DEM)

- Con la ayuda de la topografía se determinó un total de 3.5 km de longitud del río comprendido en este, 85.43 como cota de inicio y 62.34 como cota final
- Determinamos con la ayuda del programa Arcgis un ancho del río de 217m.
- Obtuvimos una pendiente de 0.00647 para el tramo de 3.5km del río Chicama.

**Figura 5.** Creación del Modelo Digital de Elevaciones (DEM)



**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.7. Estudio Hidrológico

Con la ayuda del registro de caudales máximos del río Chicama en un plazo de 48 años, determinamos el caudal de diseño que más ajuste a nuestro estudio.

Cada valor que obtenemos del registro serán ordenados cronológicamente desde 1971 hasta el 2018.

**Tabla N°14.** Registro de caudales máximos anuales

AÑO	CAUDAL MAXIMO (m <sup>3</sup> /s)
1971	354.89
1972	359.93
1973	533.92
1974	222.83
1975	412.07
1976	256.09
1977	350.58
1978	54.03
1979	146.68
1980	37.24
1981	287.46
1982	120.19
1983	814.37
1984	491.44
1985	83.05
1986	154.85
1987	203.58
1988	143.19
1989	327.26
1990	61.84
1991	72.60
1992	96.86
1993	339.07
1994	287.31
1995	119.41
1996	258.86
1997	99.31
1998	1416.73
1999	330.76
2000	519.55
2001	419.23
2002	284.92
2003	142.69

2004	86.45
2005	123.27
2006	258.42
2007	251.68
2008	352.93
2009	379.79
2010	202.96
2011	177.56
2012	307.77
2013	257.69
2014	176.04
2015	290.09
2016	156.77
2017	715.89
2018	191.35

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.7.1. Para seleccionar el Periodo de Retorno:

Se debe tener en cuenta cuantos años durara el diseño de la defensa ribereña (vida útil) la cual por medio del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2018), la vida útil es de 40 años con un riesgo admisible de 22%.

**Tabla N°15.** Riesgo Admisible (%)

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) ( %)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

**Fuente:** Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2018)

### Vida Útil considerado (n):

Según el, Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2018):

- Puentes y Defensas ribereñas n= 40 años
- Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años
- Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años

- Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años
- Tendremos en cuenta la importancia de la vida útil de la obra a diseñarse.

**Fuente:** Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2018

**Tabla N°16.** Periodos de Retorno (n años)

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0,01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0,02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0,05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0,10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0,20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0,25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0,50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0,75	1,3	2	2,7	4,1	7,7	15	18	37	73	144

**Fuente:** Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2018)

Realizamos una interpolación para poder determinar el periodo de retorno de 170 años para el cálculo de diseño del enrocado.

### 3.7.2. Distribución Estadística:

A través de una hoja Excel se pudo determinar los caudales de diseño para cada uno de los periodos de retorno tomando un resumen de cada uno en las siguientes tablas.

**Tabla N°17.** Periodo de retorno igual a 30 años

PERIODO DE RETORNO = 30AÑOS				
Distribucion	Q DISEÑO	Delta Tabular	Delta Teorico	Diferencia
Normal	714.33	0.1963	0.208	-0.012
Log Normal 2 Parametros	843.34	0.1963	0.079	0.117
Log Normal 3 Parametros	799.12	0.1963	0.069	0.127
Gamma 2 Parametros	667.14	0.1963	0.128	0.069
Gumbel	797.19	0.1963	0.180	0.017
Log Pearson Tipo III	1106.04	0.1963	0.075	0.121

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla N°18.** Periodo de retorno igual a 50 años

PERIODO DE RETORNO = 50AÑOS				
Distribucion	Q DISEÑO	Delta Tabular	Delta Teorico	Diferencia
Normal	765.67	0.1963	0.208	-0.012
Log Normal 2 Parametros	989.54	0.1963	0.079	0.117
Log Normal 3 Parametros	927.14	0.1963	0.069	0.127
Gamma 2 Parametros	768.49	0.1963	0.128	0.069
Gumbel	891.44	0.1963	0.180	0.017
Log Pearson Tipo III	1407.27	0.1963	0.075	0.121

**Fuente:** Elaboración Propia**Tabla N°19.** Periodo de retorno igual a 100 años

PERIODO DE RETORNO = 100AÑOS				
Distribucion	Q DISEÑO	Delta Tabular	Delta Teorico	Diferencia
Normal	829.32	0.1963	0.208	-0.012
Log Normal 2 Parametros	1206.51	0.1963	0.079	0.117
Log Normal 3 Parametros	1114.23	0.1963	0.069	0.127
Gamma 2 Parametros	845.67	0.1963	0.128	0.069
Gumbel	1018.56	0.1963	0.180	0.017
Log Pearson Tipo III	1674.41	0.1963	0.075	0.121

**Fuente:** Elaboración Propia**Tabla N°20.** Periodo de Retorno igual a 170 años

PERIODO DE RETORNO = 170AÑOS				
Distribucion	Q DISEÑO	Delta Tabular	Delta Teorico	Diferencia
Normal	874.34	0.1963	0.208	-0.012
Log Normal 2 Parametros	1388.08	0.1963	0.079	0.117
Log Normal 3 Parametros	1268.57	0.1963	0.069	0.127
Gamma 2 Parametros	868.49	0.1963	0.128	0.069
Gumbel	1115.55	0.1963	0.180	0.017
Log Pearson Tipo III	1761.34	0.1963	0.075	0.121

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla N°21.** Resumen de caudales de diseño

RESUMEN DE CAUDALES DE DISEÑO						
TR	Normal	Log Normal 2 Parametros	Log Normal 3 Parametros	Gamma 2 Parametros	Gumbel	Log Pearson Tipo III
30	714.33	843.34	799.12	667.14	797.19	1106.04
50	765.67	989.54	927.14	768.49	891.44	1407.27
100	829.32	1206.51	1114.23	845.67	1018.56	1674.41
170	874.34	1388.08	1268.57	868.49	1115.55	1761.34

**Fuente:** Elaboración Propia

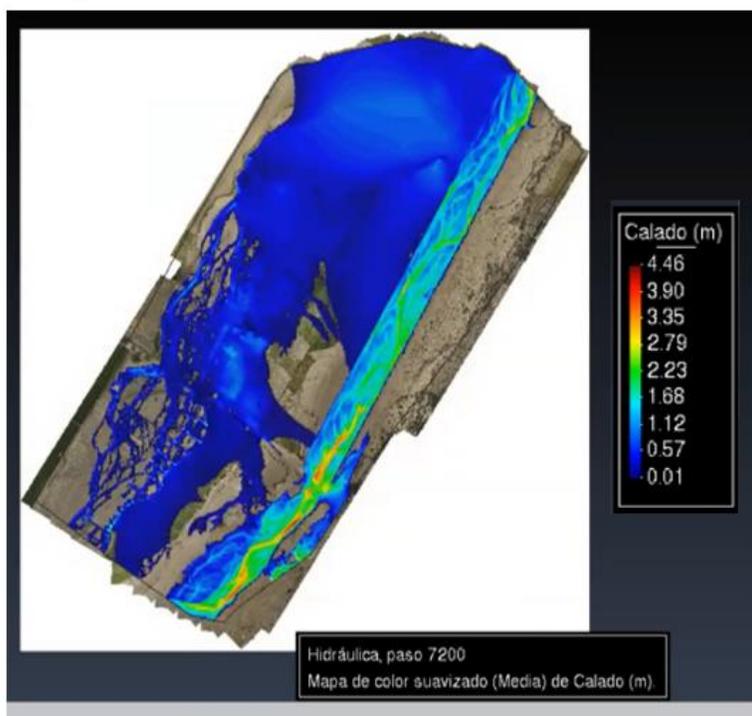
- Se realizó un análisis de los caudales para cada periodo y hemos elegido la distribución log Pearson tipo III, para un periodo de retorno de 170 años y un caudal de diseño de 1761.3 m<sup>3</sup>/s.
- La finalidad de elegir esta distribución fue para poder estimar una inundación con un caudal máximo alto para poder determinar los puntos críticos en un tiempo de máximas avenidas.
- 

### 3.8. Estudio de Inundabilidad:

#### 3.8.1. Sin defensa ribereña

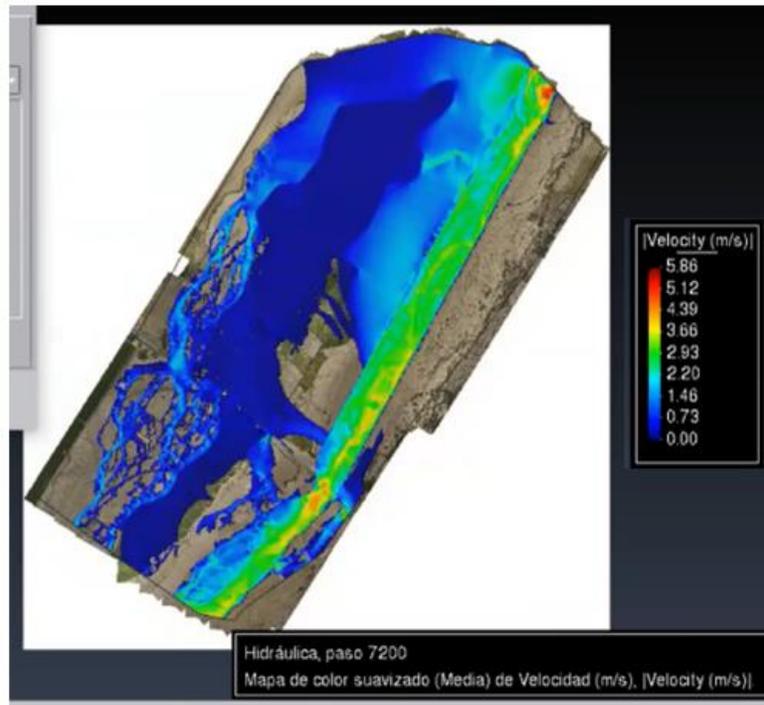
TR = 30 años – Q del rio Chicama = 1106.04 m<sup>3</sup>/s

**Figura 6.** Resultados del calado TR=30 años



**Fuente:** Elaboración Propia

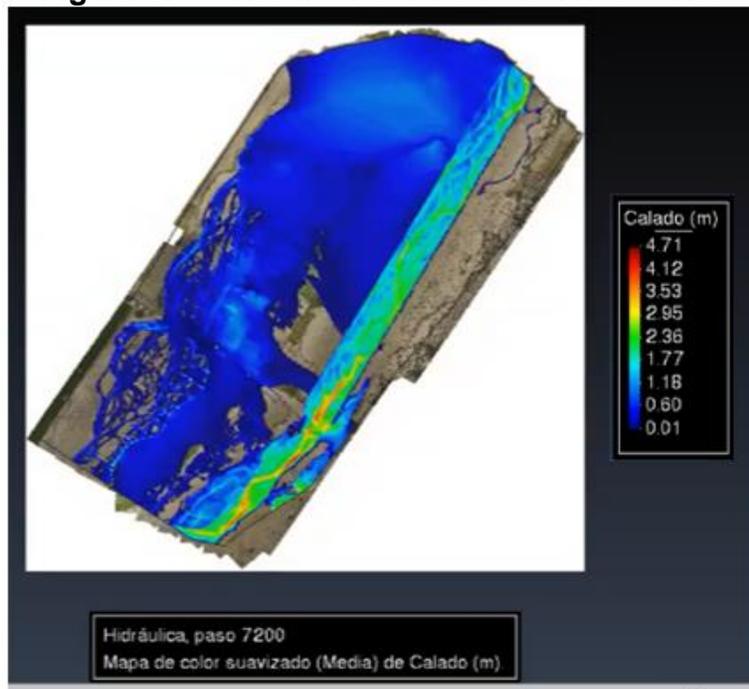
**Figura 7.** Resultados de velocidad TR=30 años



**Fuente:** Elaboración Propia

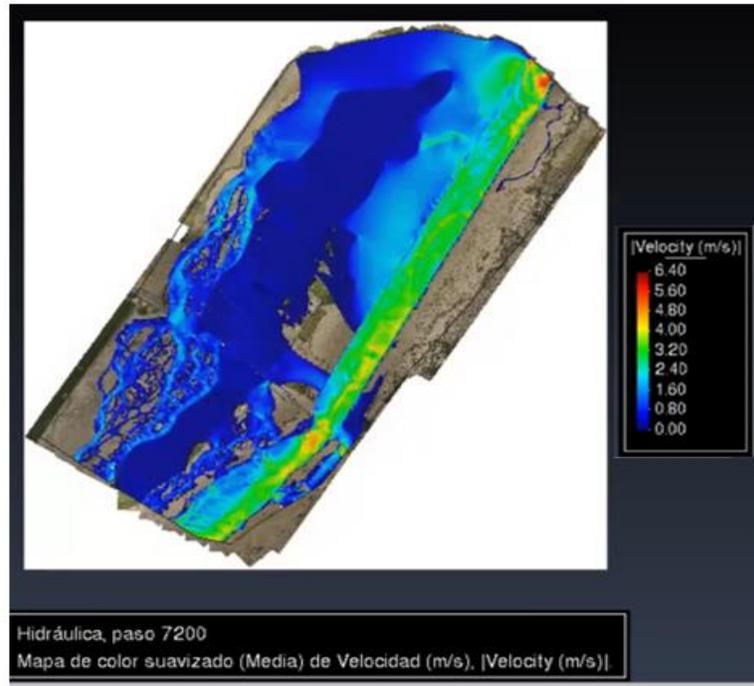
TR = 50 años – Q del río Chicama = 1407.27 m<sup>3</sup>/s

**Figura 8.** Resultados del calado TR=50 años



**Fuente:** Elaboración Propia

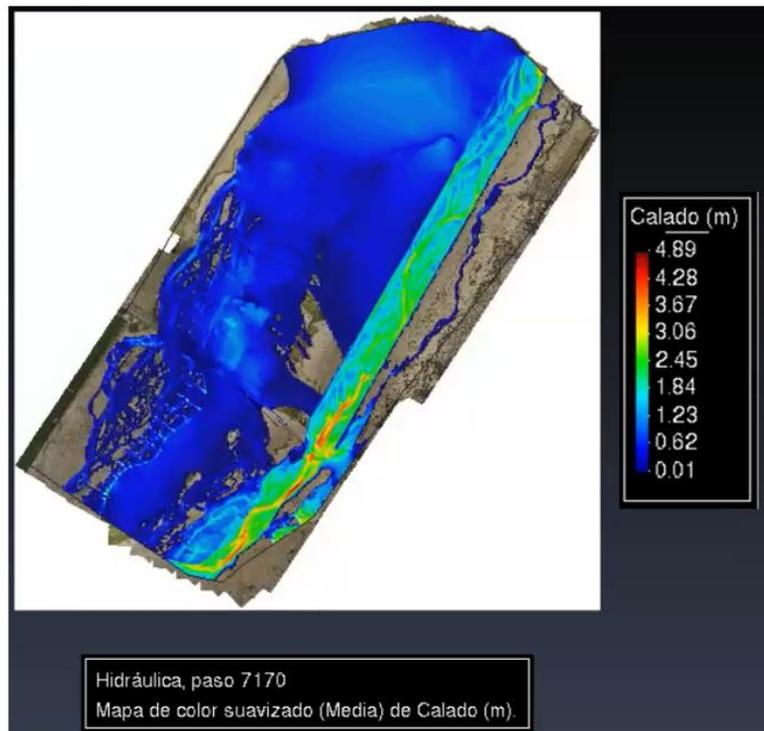
**Figura 9.** Resultados de velocidad TR=50 años



Fuente: Elaboración Propia

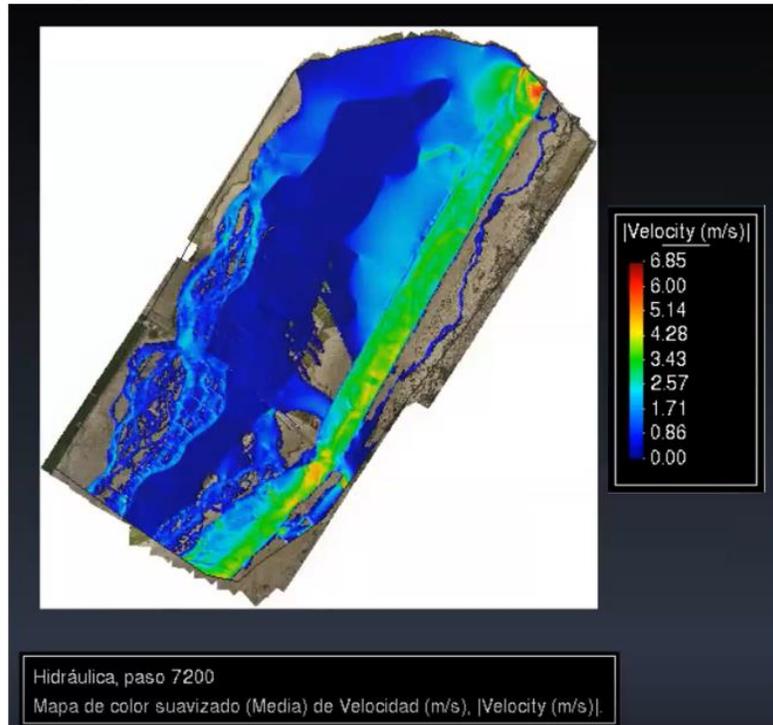
TR = 100 años – Q del río Chicama = 1674.41

**Figura 10.** Resultados del calado TR=100 años



Fuente: Elaboración Propia

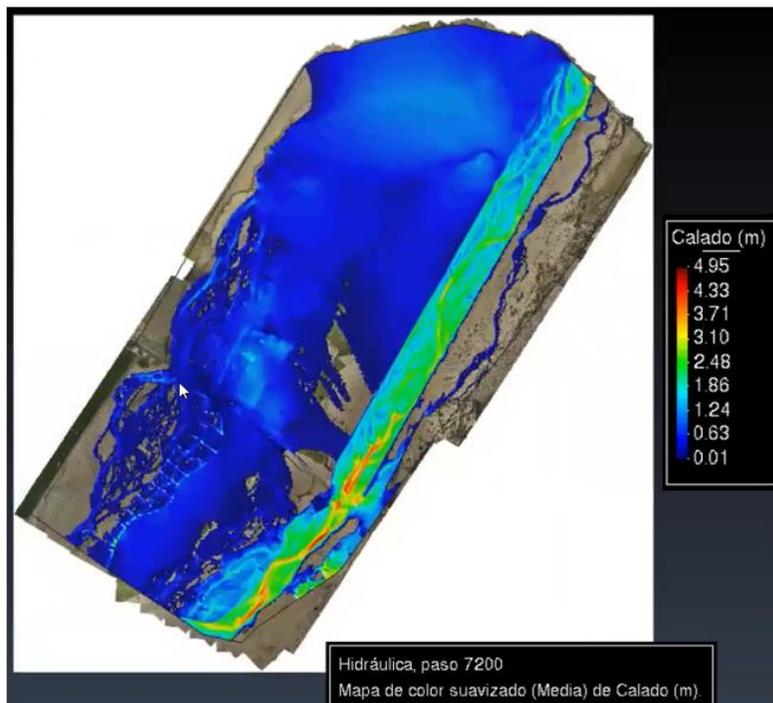
**Figura 11.** Resultado de velocidad TR=100 años



**Fuente:** Elaboración Propia

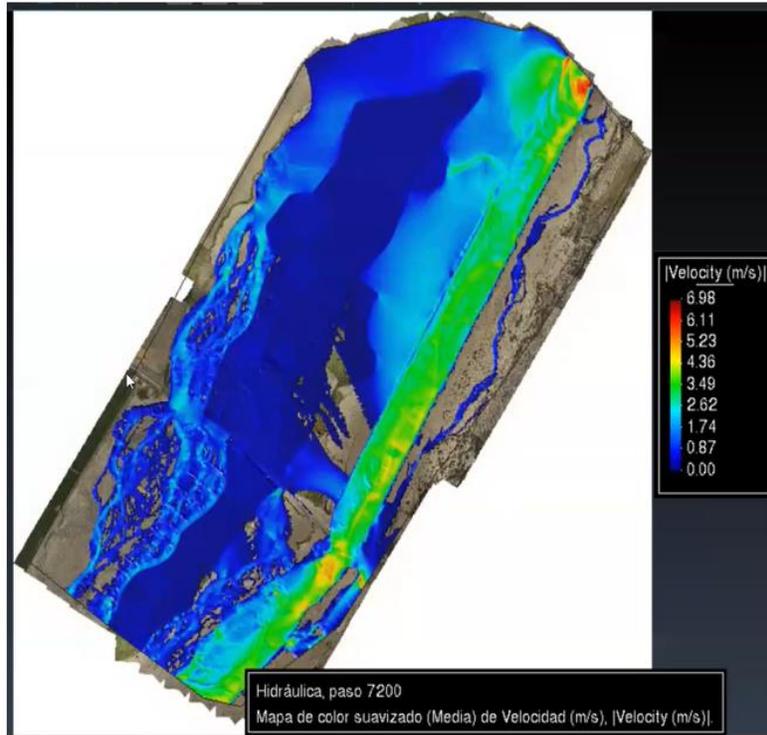
TR = 170 años – Q del rio Chicama = 1761.34

**Figura 12.** Resultado del calado TR=170 años



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 13.** Resultado de velocidad TR=170 años



**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.8.2. Diseño de defensa ribereña (enrocado):

#### A) Calculo del Ancho Estable

El diseño se determinó con el periodo de retorno elegido de 170 años y un caudal de diseño de 1761.34 m/s.

**Tabla N°22. Calculo de ancho estable**

**CALCULO HIDRÁULICO**

**SECCIÓN ESTABLE O AMPLITUD DE CAUCE ( B )**

Proyecto : "PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE INUNDACIONES EN EL CAUCE DEL RIO CHICAMA ENTRE EL TRAMO PUENTE CAREAGA Y DESVIO SINTUCO"

Q DISEÑO (m <sup>3</sup> /seg)	MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON			MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING			MÉTODO DE BLENCH		
	B = K <sub>1</sub> Q <sup>1/2</sup>			B = (Q <sup>1/2</sup> /S <sup>1/5</sup> ) (n K <sup>5/3</sup> ) <sup>3/(3+5m)</sup>			B = 1.81(Q F <sub>b</sub> /F <sub>s</sub> ) <sup>1/2</sup>		
1,761.34	Condiciones de Fondo de río	K <sub>1</sub>	B (m)	Valores rugosidad de Manning (n)		B (m)	Factores		B (m)
Pendiente Zona del Proyecto (m/m)	Fondo y orillas de grava	2.9	121.71	Descripción	n	194.58	Factor de Fondo	F <sub>b</sub>	263.14
				Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza = 0.040 - 0.036			0.04	Material Grueso	
MÉTODO DE PETTIS			Descripción	K	Factor de Orilla		F <sub>s</sub>		
0.00647	B = 4.44 Q <sup>0.5</sup>			Material fácilmente erosionable = 16 a 20				16	
	B (m)		Coeficiente de Tipo de Río						
	186.34		Descripción	m					
				Para cauces aluviales	1				

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N°23. Resumen del cálculo de ancho estable**

RESUMEN :	
MÉTODO	B (m)
MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON	121.71
MÉTODO DE PETTIS	186.34
MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING	194.58
MÉTODO DE BLENCH	263.14
RECOMENDACIÓN PRACTICA	140.33
=====> PROMEDIO B :	181.22
=====> SE ADOPTA B :	217.00

Fuente: Elaboración Propia

**B) Calculo del tirante:**

**Tabla N°24. Calculo del tirante**

CALCULO DEL TIRANTE			
MÉTODO DE MANNING - STRICKLER (B > 30 M)			
$t = ((Q / (Ks * B * S^{1/2}))^{3/5}$			t
Valores para Ks para Cauces Naturales (Inversa de n)			(m)
Descripción	Ks		2.31
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza = 25 - 28	25		
Caudal de Diseño (m <sup>3</sup> /seg)			
Q =	1,761.34		
Ancho Estable - Plantilla (m)			
B =	217.00		
Pendiente del Tramo de estudio			
S =	0.00647		

Fuente: Elaboración Propia

**C) Velocidad media:**

**Tabla N°25. Calculo de la velocidad media**

Formula de Manning : Velocidad Media (m/s) >>>>> $V = R^{2/3} * S^{1/2} / n$				
Radio Hidráulico >>> $R = A / P$ >>>>>>>		R :	Pendiente de Fondo >>> S	
Tirante medio (y )	Taluz de Borde (Z)	2.25	S = 0.00647	
y = 2.31	Z = 1.75		Coeficiente de Rugosidad de Manning	
Ancho de Equilibrio (B)			0.040 - 0.036	Descripción
B = 217.00				n
Área (m <sup>2</sup> )	Perimetro (m)			0.038
A = 491.93	P = 218.23			
>>>>>>>		V = 3.63	m/seg	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N°26. Numero de Froude**

Velocidad media de la corriente (m/s)	Aceleración de la Gravedad	Profundidad Hidráulica Media = Área Mojada / Ancho Superficial:		Froude (F)
V = 3.63	g = 9.81	y = A / B >>>	y = 2.27	0.77

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N°27.** Calculo de altura de dique

Bordo Libre (BL) = $\phi e$					ALTURA DE MURO (H <sub>D</sub> )	
Caudal máximo m <sup>3</sup> /s		$\phi$	$\phi$	$e = V^2/2g$	BL	H <sub>M</sub> = y + BL
3000.00	4000.00	2	1.4	0.67	0.94	y : Tirante de diseño (m)
2000.00	3000.00	1.7				y = 2.31
1000.00	2000.00	1.4				>>>>> H <sub>M</sub> = 3.25
500.00	1000.00	1.2				Por Procesos Constructivos
100.00	500.00	1.1				>>>>> H <sub>M</sub> = <b>3.50</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla N°28.** Resumen de altura de dique

ALTURA PROMEDIO DE DIQUE (m)	=	3.50
ALTURA PROMEDIO DE ENROCADO (m)	=	3.50
ANCHO DE CORONA (m)	=	4.00

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla N°29.** Sección típica del dique



**Fuente:** Elaboración Propia

**D) Profundidad de socavación:**

**Tabla N°30. Profundidad de socavación**

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (Hs)				
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV				
<b>Suelos Granulares - No Cohesivos</b>				
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots(1)$				
<b>Suelos Cohesivos</b>				
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.60 \gamma_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots(2)$				
Donde:				
$t_s$	= Tirante despues de producirse la socavacion (m)			
$t$	= Tirante sin socavacion (m)			
$t$	= 2.31 m			
$D_m$	= Diametro Medio de las particulas (mm)			
$D_m$	= 12 mm			
$\gamma_s$	= Peso Especifico suelo (Kg/m3)			
$\mu$	= Coeficiente de Contraccion			
$\alpha$	= Coeficiente >>>>>			
$\alpha$	= $Q / (t_m^{5/3} B \mu)$			
Tirante medio ( $t_m$ ) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion ( $\mu$ ) Tabla N° 01	Ancho Estable	$\alpha$
$t_m$ = 2.27	1,761.34	$\mu$ = 0.99	B = 217.00	2.10

1. Perfil antes de la erosión

2. Perfil de equilibrio tras la erosión

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla N°31. Tirante de Socavación para suelos granulares**

X : Exponente que depende de : $D_m$ para suelos Granulares No Cohesivos y $\gamma_s$ para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03		Coeficiente por Tiempo de Retorno : $\beta$ (Tabla N° 04)	TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES - NO COHESIVOS
X (Tabla N° 03)	$1/x+1$		$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$
x = 0.34	0.75	$\beta = 0.97$	$t_s = 4.01$ m

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla N°32. Resultado de la profundidad de socavación**

PROFUNDIDAD DE SOCAVACION ( $H_s$ )		
$H_s$	=	$t_s - t$
$H_s$	=	<b>1.70 m</b>

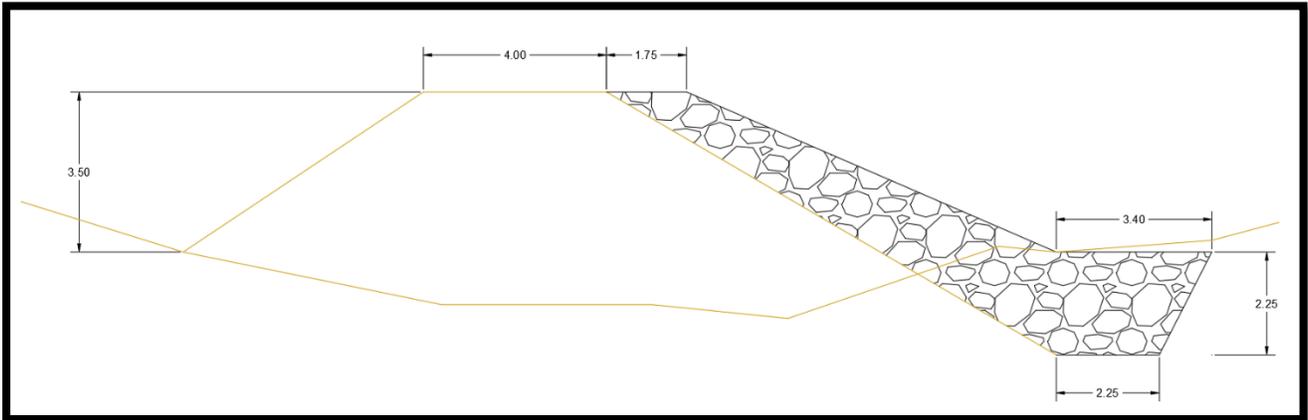
**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla N°33. Profundidad de uña**

Profundidad de Socavacion ( $H_s$ ) =	1.70	=====>	Profundidad de Uña ( $P_{UÑA}$ ) =	$FS * H_s$
			FS =	1.25
			$P_{UÑA}$ =	2.13
Por lo Tanto Seleccionamos :				
			$P_{UÑA}$ =	2.25 m

**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 14. Diseño del enrocado**



**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.8.3. Con defensa ribereña (enrocado):

TR = 30 años – Q del rio Chicama = 1106.04 m<sup>3</sup>/s

**Figura 15.** Resultado del calado TR=30 años



Fuente: Elaboración Propia

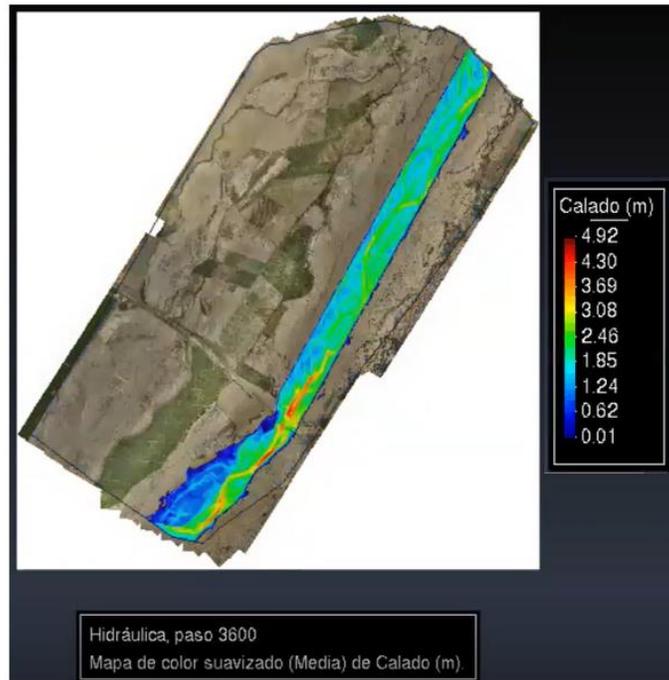
**Figura 16.** Resultado de Velocidad TR=30 años



Fuente: Elaboración Propia

TR = 50 años – Q del rio Chicama = 1407.27

**Figura 17.** Resultado del calado TR=50 años



**Fuente:** Elaboración Propia

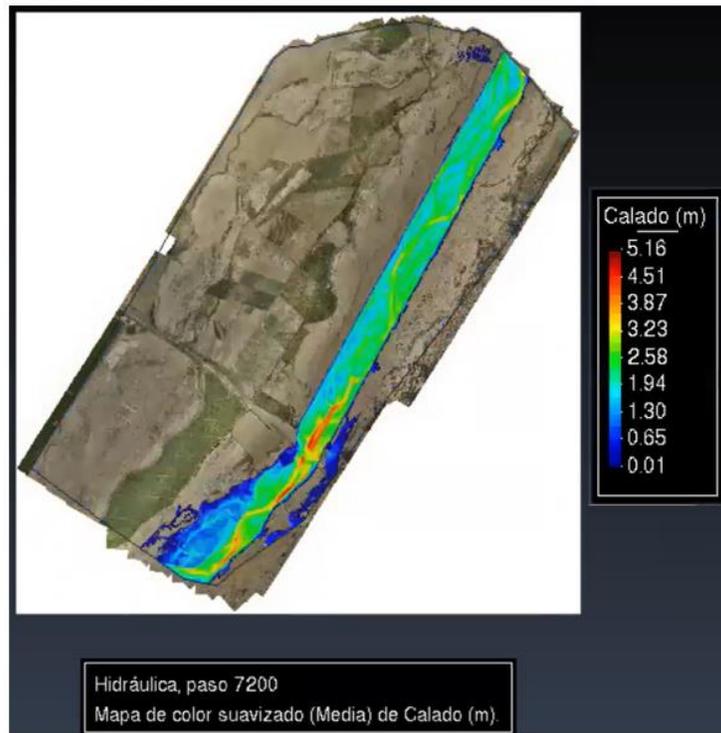
**Figura 18.** Resultado de velocidad TR=50 años



**Fuente:** Elaboración Propia

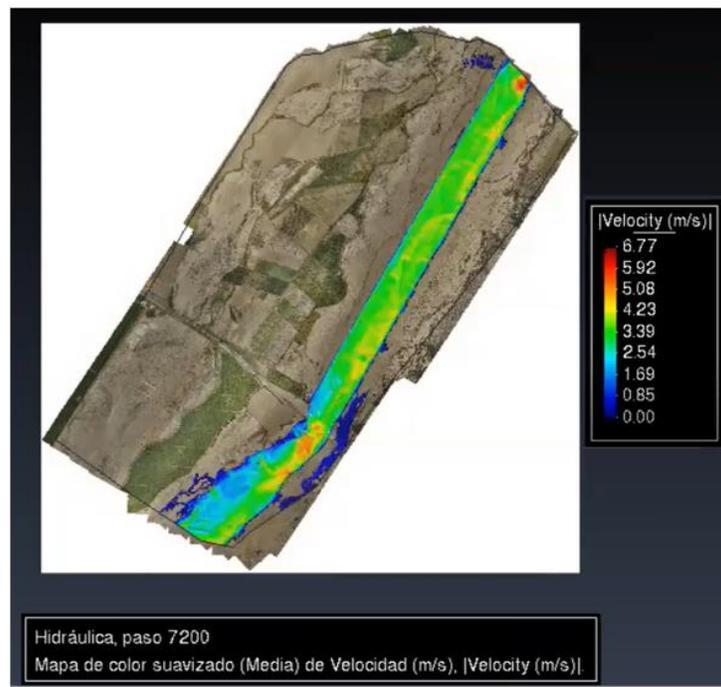
TR = 100 años – Q del río Chicama = 1674.41

**Figura 19.** Resultado de calado TR=100 años



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 20.** Resultado de velocidad TR=100 años



**Fuente:** Elaboración Propia

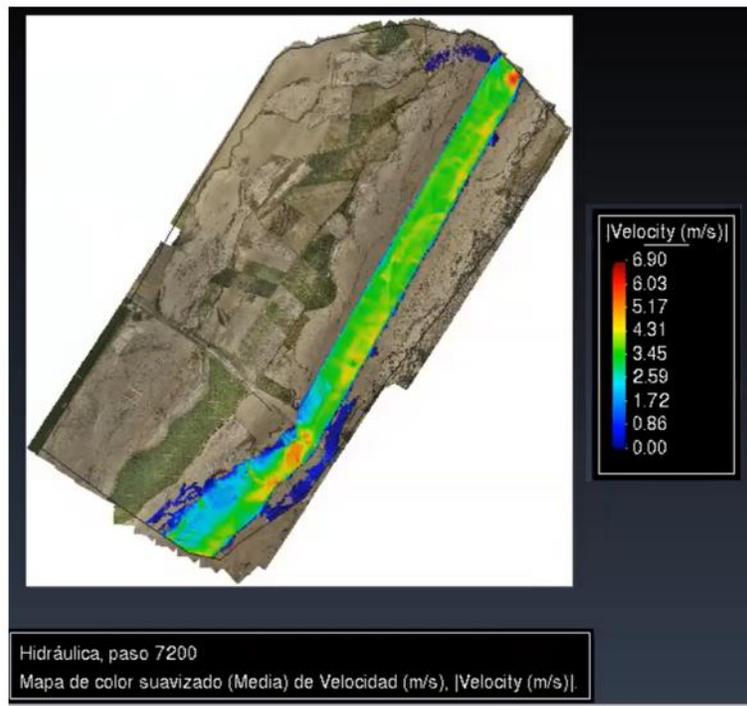
TR = 170 años – Q del río Chicama = 1761.34

**Figura 21.** Resultado del calado TR=170 años



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 22.** Resultado de velocidad TR=170 años

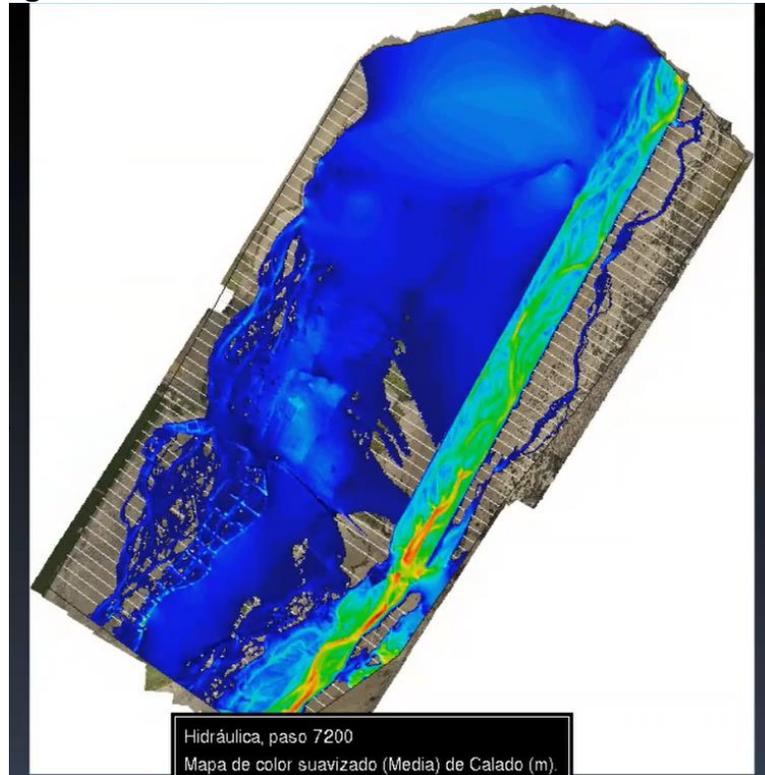


**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.8.4. Secciones sin defensa ribereña (enrocado):

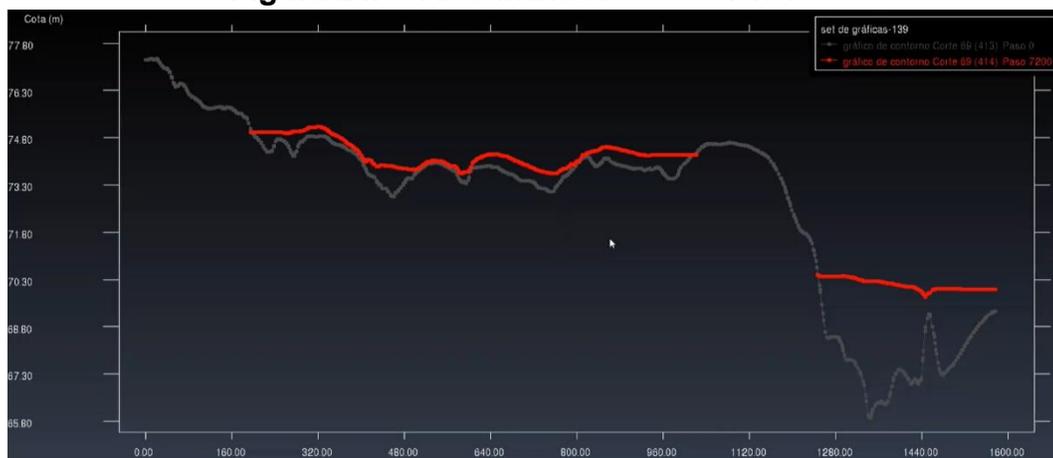
Las secciones del río se realizó cada 50 metros, para el periodo de retorno de 170 años.

**Figura 23.** Secciones de la zona de estudio inundada



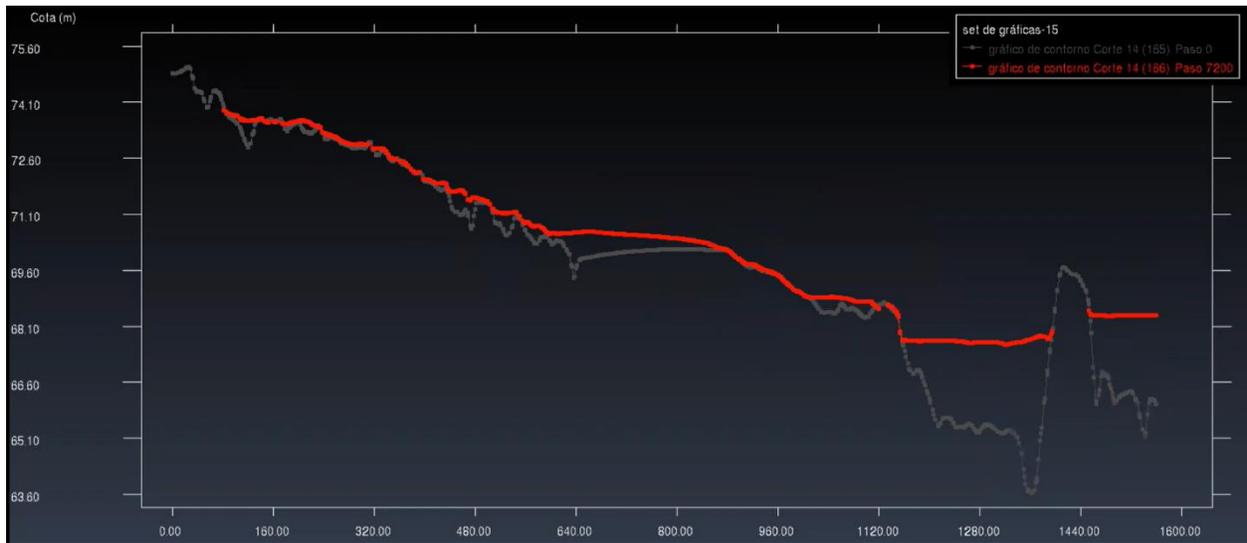
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 24.** Área inundada – sección 1



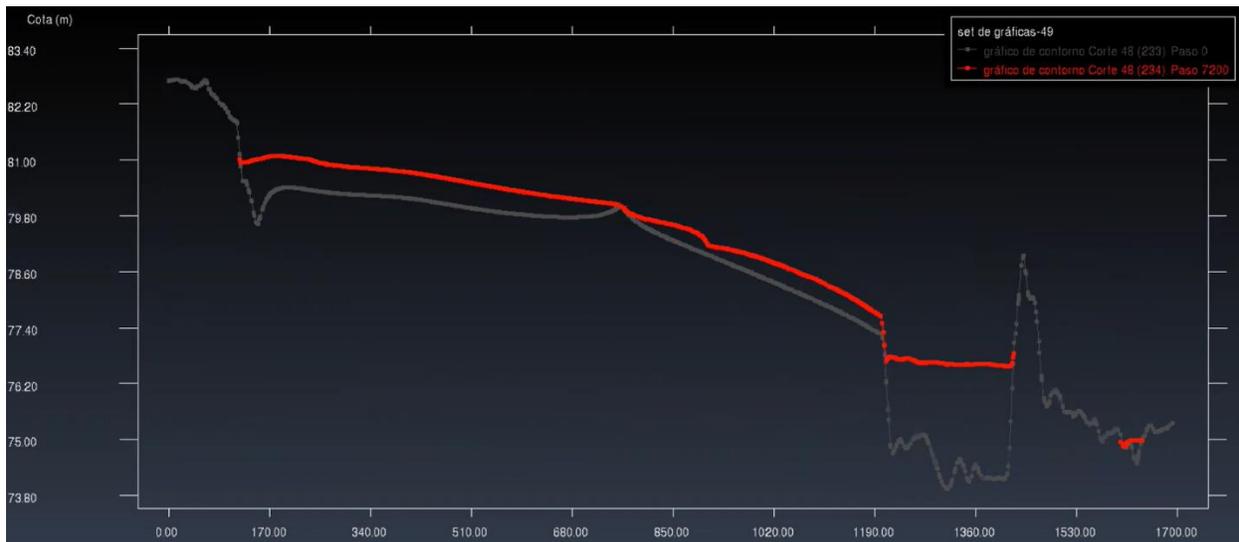
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 25.** Área inundada – sección 2



Fuente: Elaboración Propia

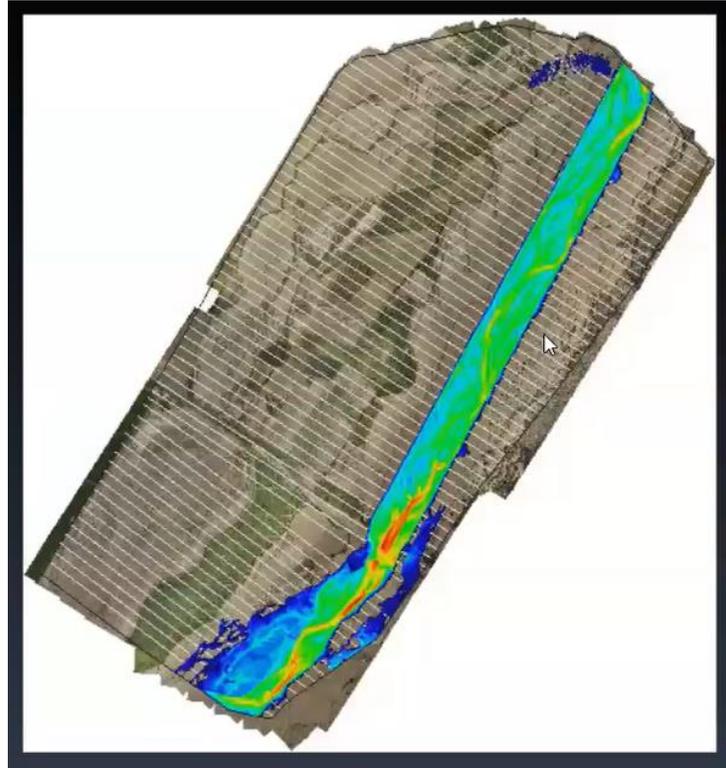
**Figura 26.** Área inundada – sección 3



Fuente: Elaboración Propia

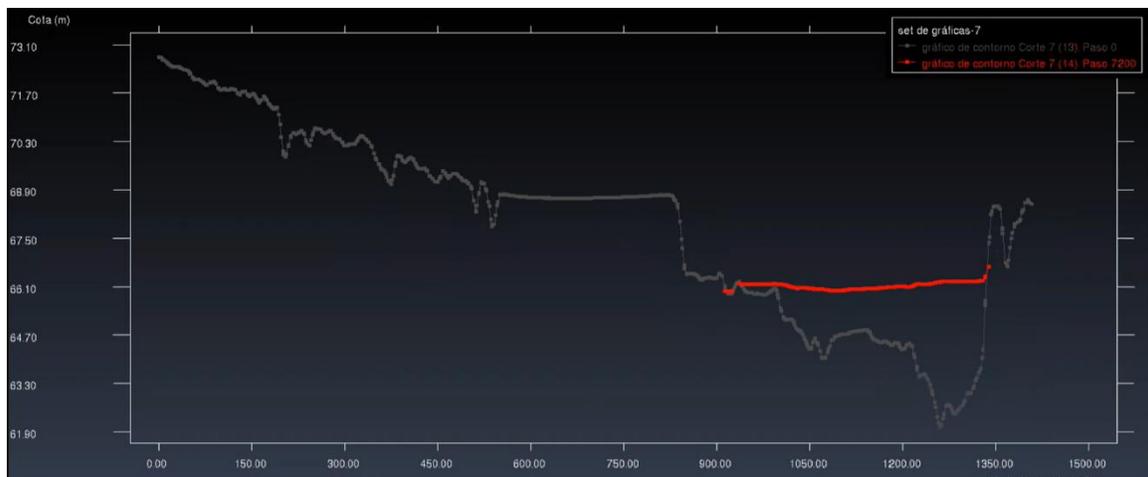
### 3.8.5. Secciones con defensa ribereña (enrocado):

Figura 27. Secciones de la zona de estudio sin inundación



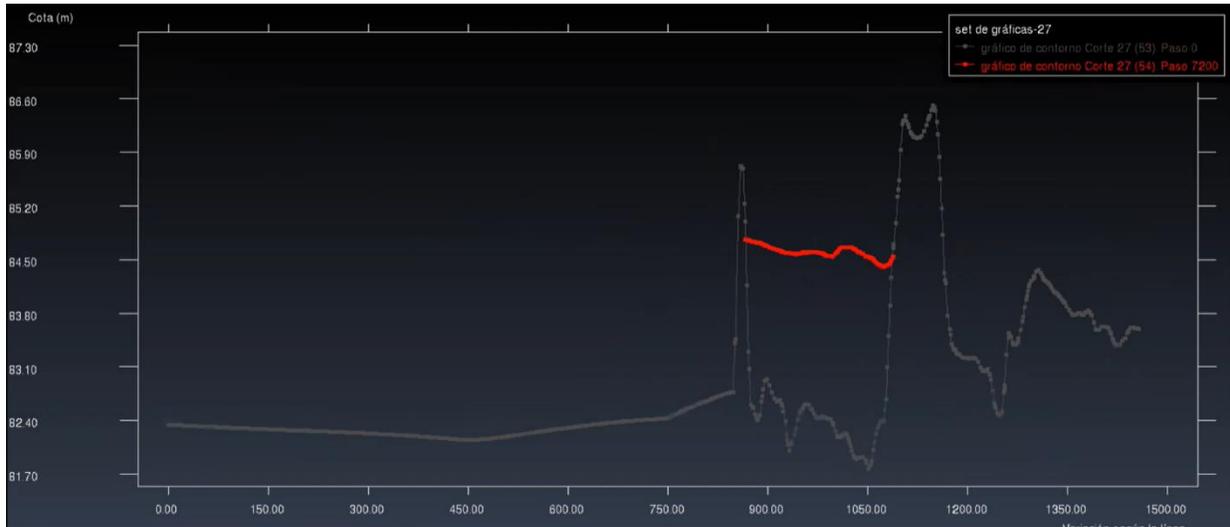
Fuente: Elaboración Propia

Figura 28. Área sin inundación – sección 1



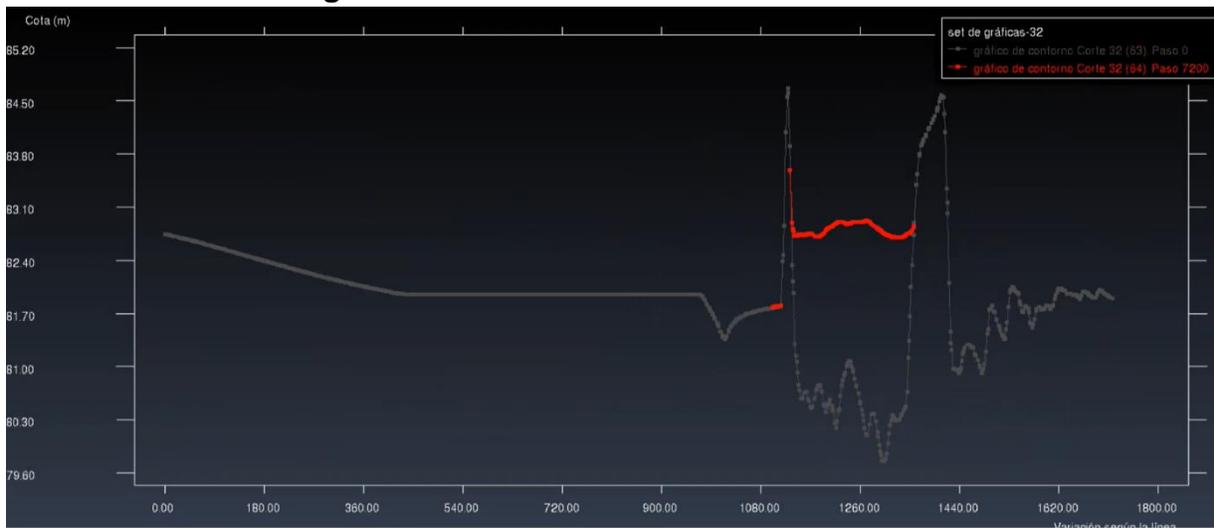
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 29.** Área sin inundación – sección 2



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 30.** Área sin inundación – sección 3



**Fuente:** Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

- Como conclusión principal se obtuvo que en la topografía del río Chicama tramo puente Careaga y desvío Sintuco su pendiente del río aguas arriba y aguas abajo es de 0.0064% (que se obtiene al promediar todo el tramo) con una longitud del río de 3.5 km.
- En el estudio hidrológico del río Chicama se obtuvo diferentes caudales de diseño para tiempos de máximas avenidas, eligiendo como distribución principal Log Pearson tipo III con un caudal máximo de diseño de 1761.34 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 170 años.
- Se generó diferentes modelos bidimensionales con la ayuda del programa Iber para analizar la inundabilidad del tramo en estudio, donde se pudo determinar el punto crítico desde donde inicia la inundación del tramo, ubicándose aguas arriba del río Chicama.
- Con los resultados obtenidos en la simulación bidimensional se logró determinar los momentos de inundación en tiempos de máximas avenidas, permitiendo diseñar un enrocado como propuesta de solución considerando un caudal de diseño máximo de 1761.34 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 170 años para el río Chicama, con un ancho de corona de 4m, altura de dique de 3.50m, altura de enrocado de 3.50m y una profundidad de uña de 2.25m como protección del enrocado.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda tomar en cuenta los resultados obtenidos en este proyecto para la construcción de defensas ribereñas futuras y poder lograr un adecuado procesamiento de datos para evitar las inundaciones en el tramo de estudio, que logran dañar grandes áreas de cultivo e infraestructura.
- Se recomienda no alterar los datos que se obtienen en campo, con la finalidad de lograr un procesamiento más exacto y cercano a la realidad.
- Se recomienda establecer un mantenimiento periódico en el cauce del río Chicama a fin de conservar sus condiciones estables logrando evitar problemas futuros de inundación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua. (2008). *Inundaciones en el Perú*.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales*.
- Chero, W. L., & Castellet, E. B. (2015). Para cálculos Bidimensionales del Flujo de Agua en Ríos. *Aplicación de la nueva herramienta HEC-RAS 5.0 Para Cálculos Bidimensionales del Flujo de Agua en Ríos*.
- Chow, V. (1994). *Hidrología aplicada*. Editorial McGraw – Hill Interamericana Engineer Center (HEC).
- CENEPRED (2018). *Informe De Evaluación Del Riesgo Por Inundación Fluvial En Ambas Márgenes Del Rio Huarmamayo Entre Las Localidades De Ninabamba Y Accobamba Del Distrito De San Miguel, Provincia La Mar – Ayacucho*
- El Comercio. (2018). *La Libertad: rio Chicama se desbordo por fuertes lluvias*.
- Ferreira, M. R. (2017). Aplicaciones Topograficas de los Drones. Obtenido de:  
[Http://www.Bibliotecacpa.org.ar/Greenstone/collect/Otragr/Index/Assoc/HA/SH0159/314a3cb](http://www.Bibliotecacpa.org.ar/Greenstone/collect/Otragr/Index/Assoc/HA/SH0159/314a3cb), 8(1), 11.
- Franz Quiroz, O. & Delgadillo Durán, A. (2012). *Aguas arriba, aguas abajo. Bolivia: Plural*.
- Garcia Sanchez, J. & Maza Alvarez, J. A. (1997). *Morfología de ríos. México: UNAM*
- La Republica. (2017). *La Libertad: Niño costero afecto 10 mil hectáreas en el valle Chicama*.
- Martin Vide, J. (2002). *Ingeniería de ríos*. Barcelona, España: Alfaomega.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.

- Ochoa Rubio, T. (2011). *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos*.
- Ortega Perez, E. (2016). *Sistema de información geográfica*. Trujillo, Perú: Estudiante.
- Palomino, G. (2004). *Zonificación de áreas inundables utilizando sistema de información geográfica, Aplicación al tramo final del rio Chillón*. Tesis UNI. Lima – Perú
- Quintero Torres, Diana. (2011). *Elementos de recuperación de ríos urbanos*. Bogotá, Colombia: Grupo de proyectos hidráulicos.
- Raquel Pachas, L. (2009). *EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO: USO DEL GPS Y ESTACION TOTAL Surveying: Use of GPS and Total Station. VIII (16), 29-45*.
- Rivano, F. (2004). *Análisis de eventos extremos de precipitación y su efecto en el diseño de drenaje superficial de tierras agrícolas del sur de Chile*. Tesis Universidad Austral de Chile. Valdivia – Chile.
- Senamhi. (2019). *Pronostico Hidrológico 2017 – 2018*.
- Villón, M. (2009). *HEC – RAS*. Edición Villon. Lima – Perú
- Villón, M. (2011). *Libro Hidrología*. Edición Villon. Lima – Perú
- Villón, M. (2011). *Libro Hidrología Estadística*. Edición Villon. Lima – Perú.
- Arturo Rocha Felices. *La Morfología Fluvial y su Incidencia en la Estabilidad de las Obras Viales*.

# **ANEXOS**

**Figura 31.** Reconocimiento de la zona de estudio, Rio Chicama



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 32.** Estado actual del rio Chicama



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 33.** Acumulación de plantas en el lecho del río Chicama



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 34.** Acumulación de material suelto en el lecho del río Chicama



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 35.** Tamo de estudio dirección al desvío Sintuco con acumulación de desmonte y basura



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 36.** Gran cantidad de hectáreas de cultivo de caña perdidas



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 37.** Vía principal en el tramo de estudio destruida



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 38.** Tráfico vehicular en la vía principal



**Fuente:** Elaboración Propia

## Modelamiento Hidráulico

**Figura 39.** Visita a la Junta de Usuarios del Valle Chicama para obtener el registro de caudales anual.



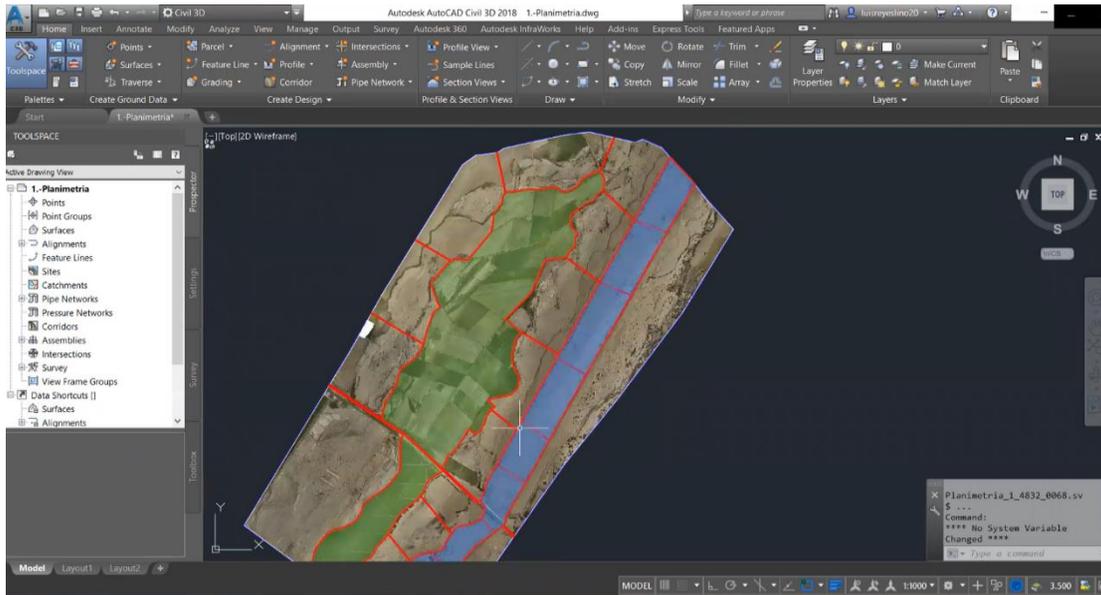
**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 40.** Levantamiento topográfico con Dron DJI Phantom de la zona de estudio



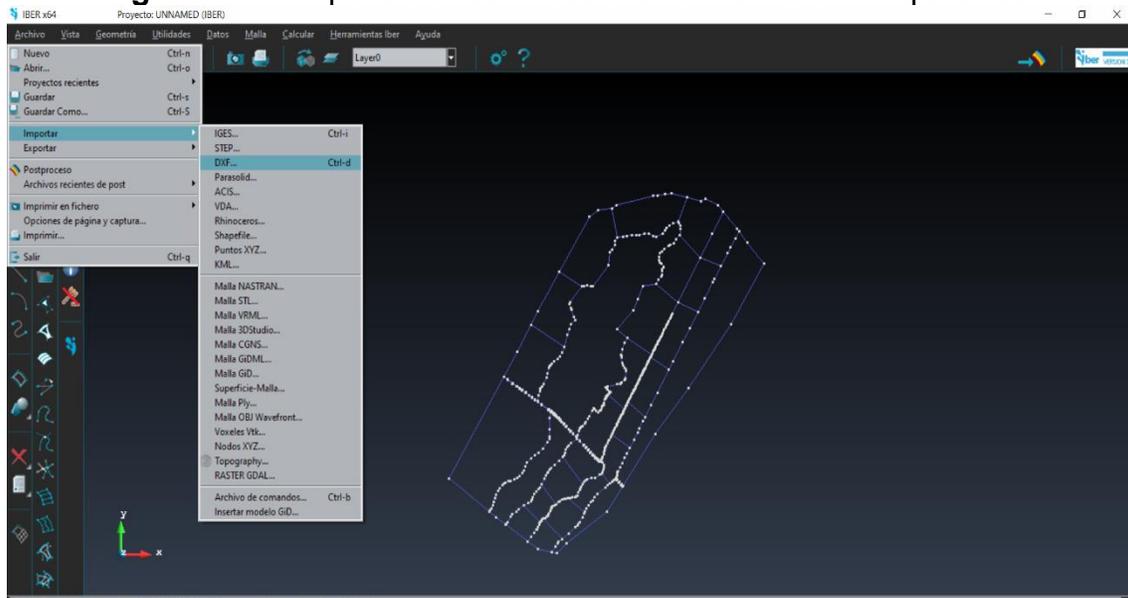
**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 41.** Importación de la ortofoto a Civil 3D para luego crear polígonos para la identificación de rugosidades



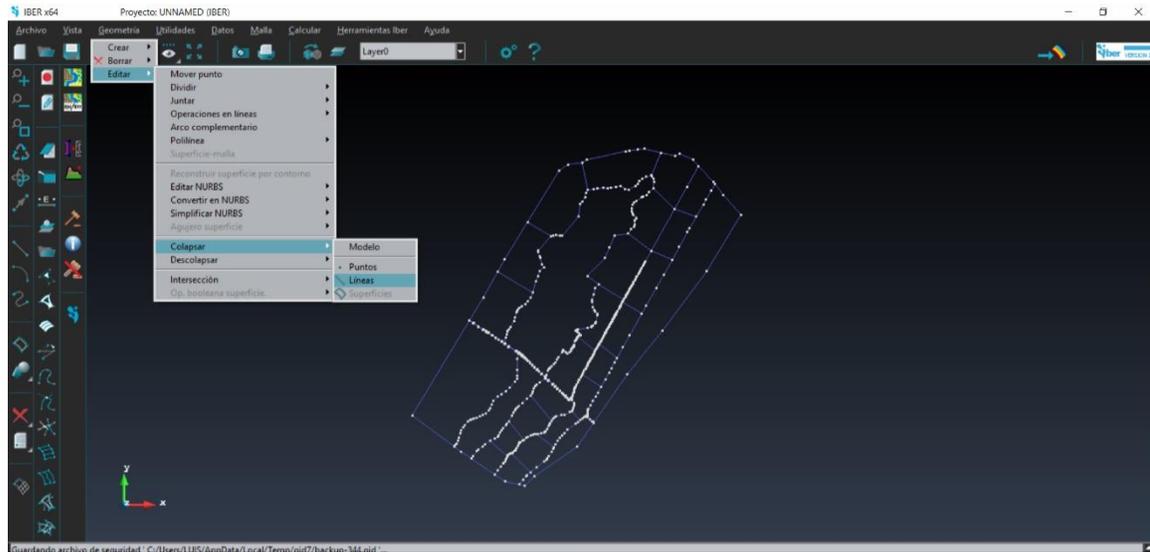
**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 42.** Importación del modelo en un formato DXF para Iber



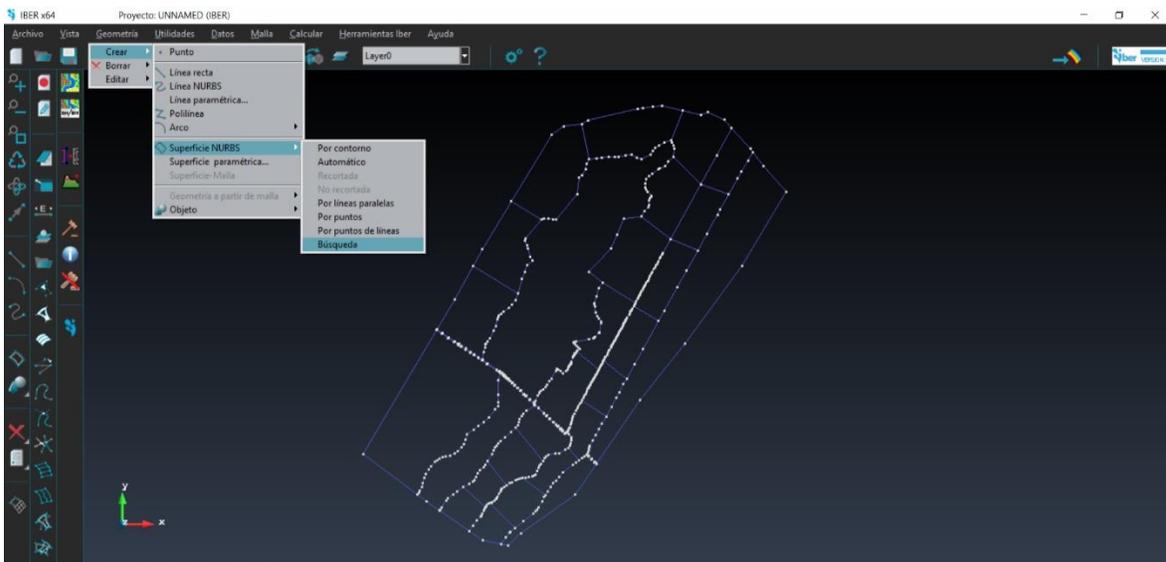
**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 43.** Colapsado del modelo para eliminar puntos innecesarios en las secciones



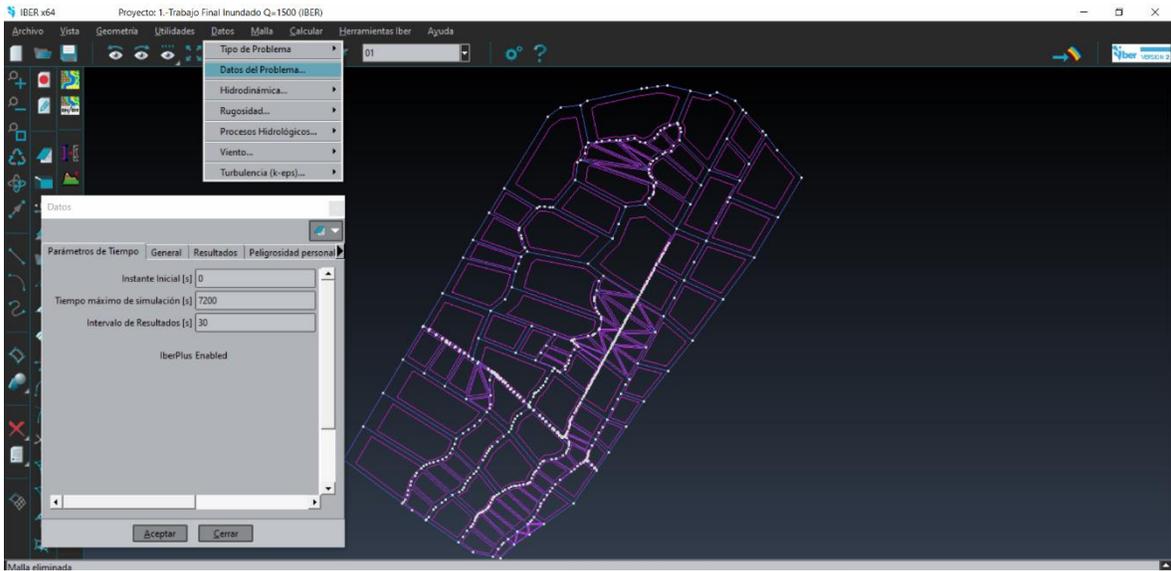
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 44.** Creación de superficies



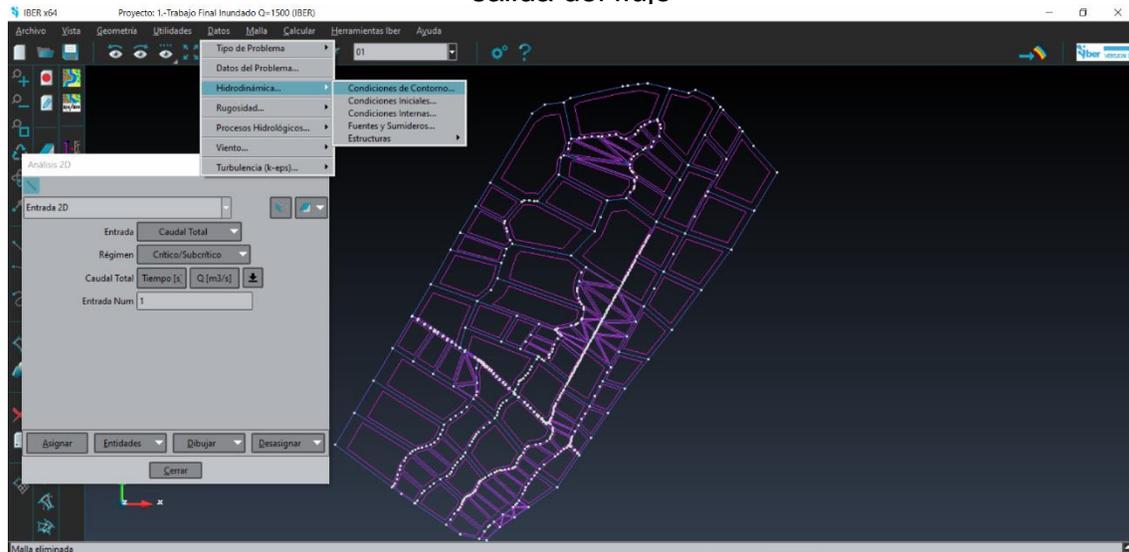
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 45.** Asignación del tiempo de simulación de 7200 segundos



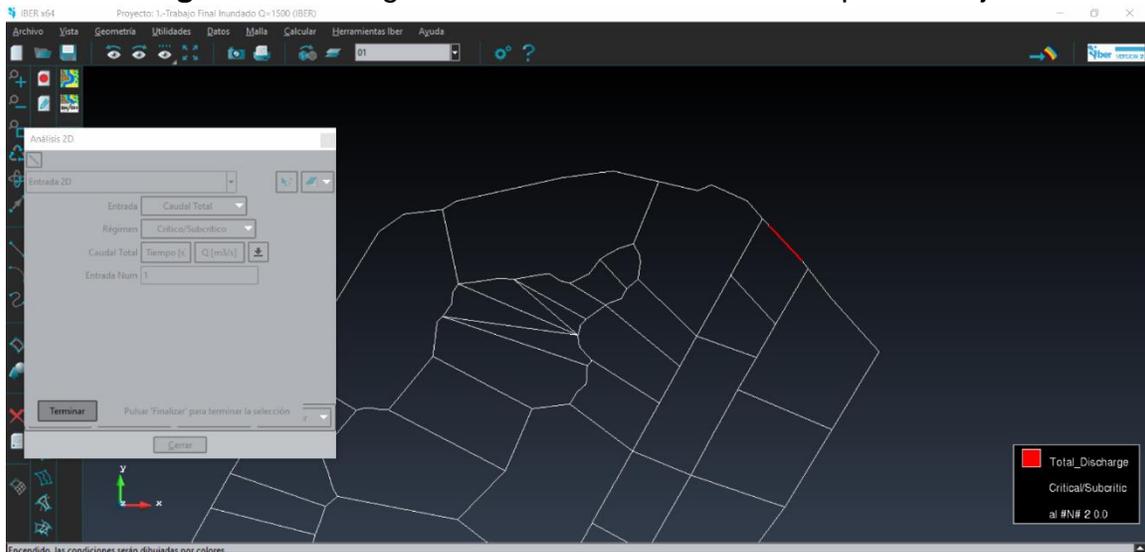
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 46.** Creamos las condiciones de contorno para determinar la entrada y salida del flujo



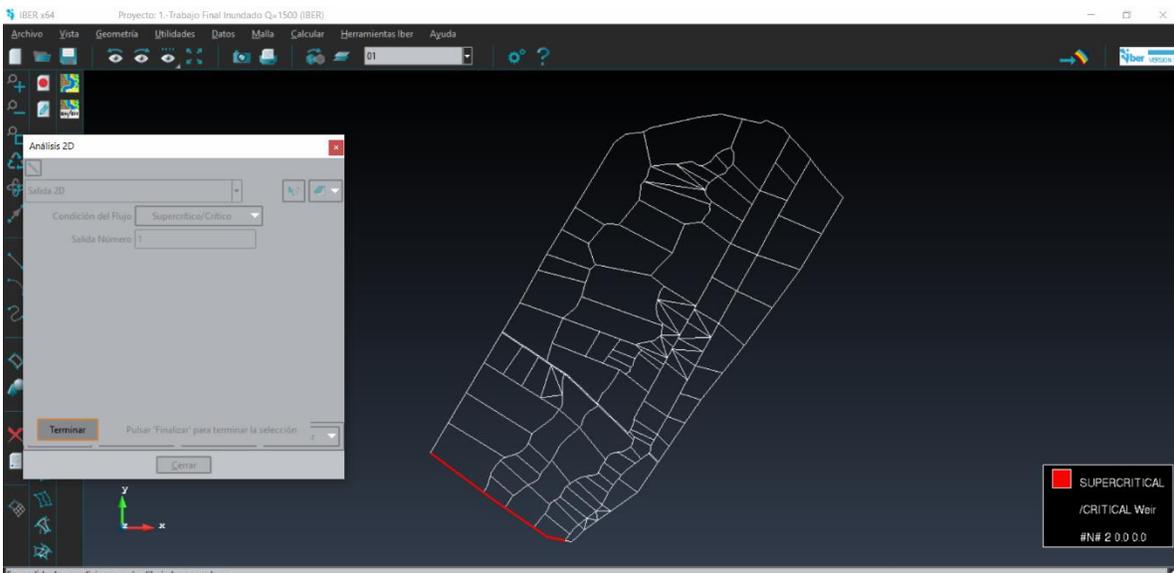
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 47.** Asignamos la condición de entrada para el flujo



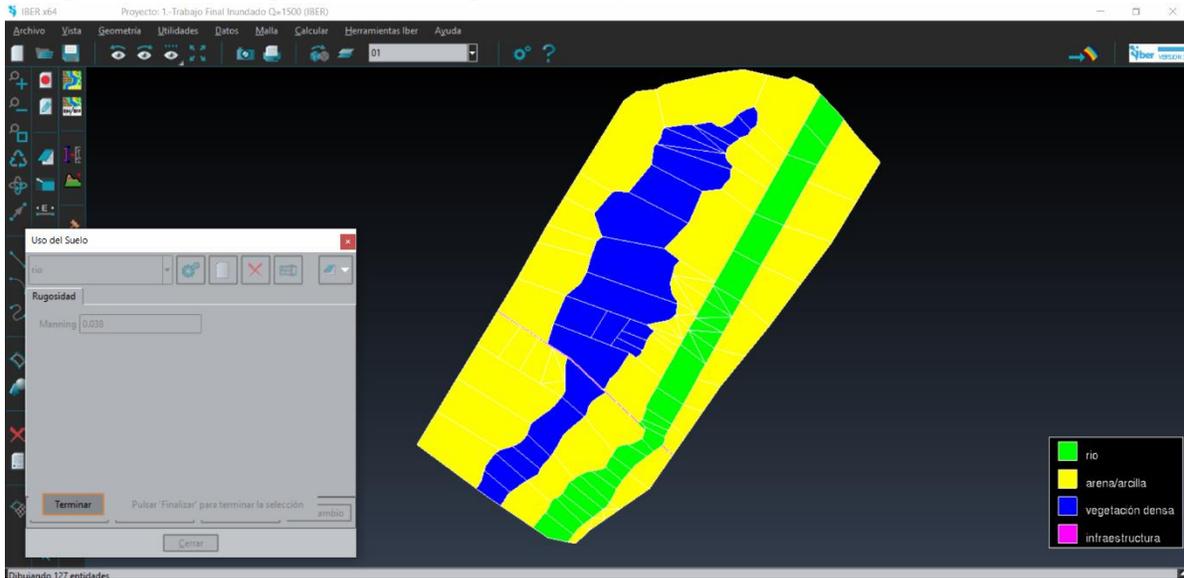
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 48.** Asignamos la condición de salida para el flujo



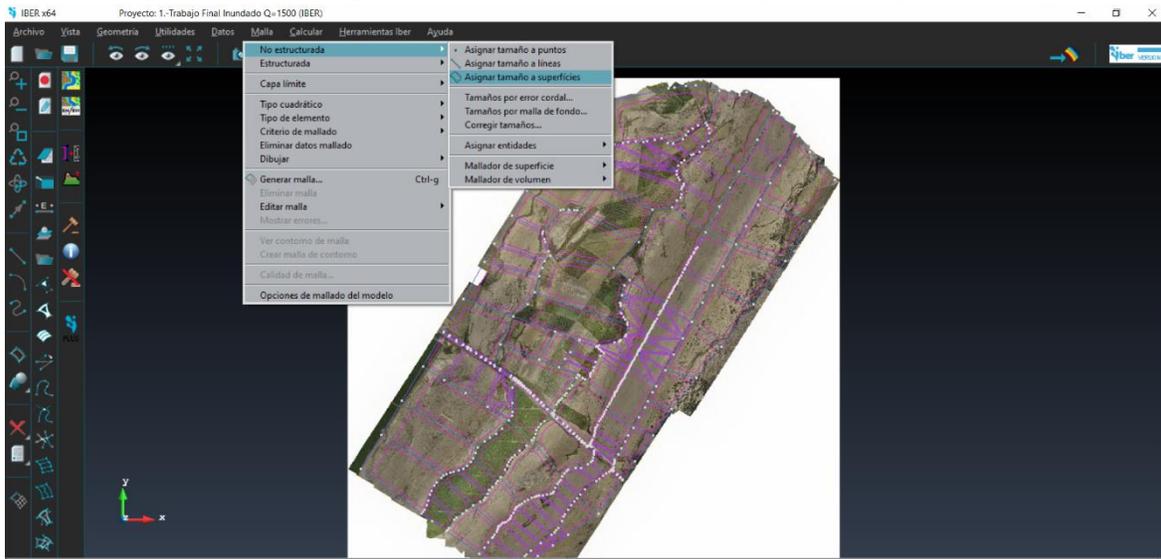
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 49.** Asignamos las rugosidades para cada sector del tramo de estudio



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 50.** Asignación del tamaño de las superficies (enmallado)



Fuente: Elaboración Propia