



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS

**DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO PARA DISEÑO DE
DEFENSAS RIBEREÑAS DEL SECTOR TAMARINDO – RÍO
TUMBES 2018**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

EJECUTORES

Br. GARCIA CELI ALEX DANIEL

Br. INFANTE ARCAYA FREDY

ASESOR

Dr. JOSE MODESTO CARRILLO SARANGO

TUMBES - PERÚ

2018

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los abajo firmantes declaran que los resultados reportados en esta investigación, son producto de nuestro trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a su concepción y análisis. Asimismo, declaramos que hasta donde sabemos no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En este sentido, afirmamos que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de nuestra propia autoría. Declaramos, finalmente, que la redacción de esta investigación es producto de nuestro trabajo con la dirección y apoyo de nuestro asesor y coasesor de investigación y nuestro jurado calificador, en cuanto a la concepción y al estilo de la presentación o a la expresión escrita.

Los presentes:

Br. GARCIA CELI ALEX DANIEL

.....

Br. INFANTE ARCAYA FREDY

.....

CERTIFICACIÓN

Dr. Ing. José Modesto Carrillo Sarango

Docente Principal de la Universidad Nacional de Tumbes, adscrito a la Facultad de Ciencias agrarias, Departamento Académico de Ingeniería Agrícola.

CERTIFICA:

Que la presente Tesis:

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO PARA DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS DEL SECTOR TAMARINDO – RÍO TUMBES 2018, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agrícola: García Celi Alex Daniel y Infante Arcaya Fredy ha sido asesorado y revisado por mi persona.

Tumbes, 23 de marzo del 2017.

Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Asesor del Proyecto de Tesis

CERTIFICACIÓN

Ing. Edgard Nilson Ramírez Coveñas

Profesional en Recursos Hídricos de la Administración Local del Agua Tumbes.

CERTIFICA:

Que la presente Tesis:

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO PARA DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS DEL SECTOR TAMARINDO – RÍO TUMBES 2018, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agrícola: García Celi Alex Daniel y Infante Arcaya Fredy ha sido asesorado y revisado por mi persona.

Tumbes, 23 de marzo del 2018.

Ing. Edgard Nilson Ramírez Coveñas
Coasesor del Proyecto de Tesis



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
CAMPUS UNIVERSITARIO S/N «LA CRUZ»
SECRETARIA ACADEMICA
TUMBES – PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Tumbes, a los²⁸.....días del mes de.....^{marzo}.....de 2018, se reunieron en el aula virtual N° 03 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del jurado designado según Resolución Decanal N° 022-2018/UNTUMBES-FCA (13/02/2018) y Resolución Decanal N° 028-2018/ UNTUMBES-FCA (06-03-2018), donde se aprueba el Proyecto de Tesis y se ratifica el jurado; con el objeto de evaluar la sustentación de tesis denominada: “**DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO PARA DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS DEL SECTOR TAMARINDO – RÍO TUMBES**” para obtener el Título de Ingeniero Agrícola.

A las.....^{9:00}.....horas con.....⁰⁰.....minutos y, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el presidente del jurado dio por iniciado el acto.

Luego de la exposición del trabajo, la formulación de preguntas y la deliberación del jurado lo declararon.....^{APROBADO}.....por.....^{UNANIMIDAD}.....con el calificativo de.....^{BUENO}.....

Por lo tanto, los Bachilleres, **ALEX DANIEL GARCIA CELI**, identificado con DNI N° 72043739, y **FREDY INFANTE ARCAJA**, identificado con DNI N° 47734768, quedan aptos para que el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Tumbes, les expidan el Título Profesional de Ingeniero Agrícola de conformidad con lo estipulado en el Artículo 90 del Estatuto de la Universidad Nacional de Tumbes y a lo normado en el Reglamento de Grados y Títulos.

Siendo las.....^{10:00}.....con.....⁰⁰.....minutos, el presidente del jurado dio por concluido el presente acto académico y para mayor constancia de lo actuado firman en señal de conformidad todos los integrantes de este jurado, presentes en el acto de sustentación.

Dr. NAPOLEÓN PUÑO LECARNAQUE
Presidente del Jurado

DR. EBER GINES TAFUR
Secretario del Jurado

Dr. ENRIQUE ANTONIO MACEDA NICOLINI
Vocal del Jurado

TESIS

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO PARA DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS DEL SECTOR TAMARINDO – RÍO TUMBES 2018

RESPONSABLES

Br. ALEX DANIEL GARCIA CELI

EJECUTOR

Br. FREDY INFANTE ARCA YA

EJECUTOR

Dr. Ing. JOSE MODESTO CARRILLO SARANGO

ASESOR

Ing. EDGARD NILSON RAMIREZ COVEÑAS

COASESOR

TESIS

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO PARA DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS DEL SECTOR TAMARINDO – RÍO TUMBES 2018

JURADO DICTAMINADOR

Dr. Ing. PUÑO LECARNAQUE NAPOLEON

PRESIDENTE

Dr. Ing. EBER GINES TAFUR

SECRETARIO

Dr. Ing. ENRIQUE MACEDA NICOLINI

VOCAL

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a nuestros padres, por su apoyo en cada una de nuestras decisiones, por su paciencia, y por su incondicional amor. A nuestros hermanos, primos, amigos y todas las personas que confiaron en nosotros.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios nuestro padre, por darnos sabiduría, salud y paciencia para poder cerrar satisfactoriamente este capítulo de nuestra vida.

A la Administración Local del Agua Tumbes por habernos apoyado brindándonos un espacio de oficina en el tiempo que demandó la realización de la presente investigación.

En especial a nuestro Coasesor el Ingeniero **Edgard Ramírez Coveñas**, Profesional Especialista del ALA Tumbes, por su confianza al permitirnos desarrollar nuestra investigación en la Administración Local del Agua, por su contribución con información necesaria para esta investigación y por compartir sus conocimientos en todo momento.

Por sus consejos con la tesis y para nuestra vida profesional. Al Ingeniero **Ponce García Nizama** por sus sabios consejos y su constante apoyo técnico. Al ingeniero **Julio Ubillus Mogollón**, por su apoyo en compartir información ineludible y brindarnos su apoyo tanto en la fase de gabinete como en la de campo.

A nuestro asesor **Dr. Jose Modesto Carrillo Sarango**, por su predisposición a ser parte del equipo investigador, su interés en nuestra investigación, y su apoyo técnico en todo momento.

A nuestro **jurado**, por sus injerencias y expectativas para el buen desarrollo de la tesis.

A nuestro amigo **Aarón Espinoza Álvarez**, por el apoyo con su computadora para nuestras simulaciones y por las veces que cordialmente estuvo dispuesto a ser parte del equipo de campo.

A nuestros amigos: **Alex Guevara, Iván Abarca y Mack García**, por su apoyo en los trabajos de campo.

A todas las instituciones y personas que nos apoyaron en la obtención de información.

INDICE

INDICE.....	x
I. INFORMACIÓN GENERAL	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
1. Introducción	16
2. Planteamiento del problema	17
2.1 Problema de investigación	17
2.2 Justificación	19
2.3 Objetivos	20
2.3.1 Objetivo General.....	20
2.3.2 Objetivos específicos.....	20
2.4 Hipótesis	20
3. Marco teórico	21
3.1 Antecedentes	21
3.1.1 Problemática de las inundaciones en el valle del río Tumbes	21
3.1.2 Consecuencias de las inundaciones en Tumbes	23
3.2 Definición de términos básicos	25
3.3 Bases Teóricas	29
3.3.1 Modelo de flujo.	29
3.3.2 Sistema de Información Geográfica (SIG).	29
3.3.3 Tipos de Defensas Ribereñas.....	30
3.3.4 HEC RAS.	30
3.3.5 ArcGIS.....	30
3.3.6 HEC - GeoRAS.	31
3.3.7 Simulación.....	31
3.3.8 H Canales 3.0.....	31
3.3.9 Método de Log Pearson tipo III.....	31

3.3.10	Método de Gumbel.....	32
3.3.11	Ecuación de Manning.....	32
3.3.12	Medidas estructurales.....	33
3.3.13	River.....	33
3.3.14	Diques enrocados.....	33
4.	Materiales y Métodos	34
4.1	Ubicación del Proyecto.....	34
4.1.1.	Ubicación Política:.....	34
4.1.2.	Ubicación Geodésica:.....	35
4.1.3.	Ubicación Hidrográfica:.....	35
4.2	Vías de Comunicación:.....	36
4.3	Población.....	36
4.4	El Río Tumbes.....	36
4.5	Registros Históricos de Caudales Máximos del Río Tumbes.....	37
4.6	Variación del Cauce del Río Tumbes en el Sector de Riego El Tamarindo.....	38
4.7	Área de Influencia Directa.....	39
4.8	Tipo y diseño de la investigación.....	39
4.9	Materiales.....	39
4.10	Equipos.....	40
4.11	Procesamiento y análisis de datos	41
4.11.1	Estudio Topográfico.....	41
4.11.2	Determinación del Caudal Máximo.....	41
4.11.3	Generación del Modelo Digital de Elevación (DEM).....	42
4.11.4	Generación de TINs (Triangulate Irregular Network).....	44
4.11.5	Aplicación de la herramienta HEC-GeoRAS en ArcGIS.....	45
4.11.6	Simulación Hidráulica sin defensa ribereña.....	46
4.11.7	Tipo de Suelo.....	48

4.11.8	Diseño de la Defensa Ribereña.....	49
4.11.9	Incorporación de Geo textil.	52
4.11.10	Simulación Hidráulica con Defensa Ribereña.	52
5.	Resultados.....	55
5.1	Análisis de Datos Históricos de Caudales Máximos.	55
5.2	Determinación del Caudal Máximo de Diseño.	56
	Gumbel Tipo I.	56
5.3	Diseño de la Defensa Ribereña.	58
5.4	Resultados de Simulaciones Hidráulicas.	59
5.5	Área Inundable del Sector de Riego Tamarindo.....	59
6.	Discusión.....	61
7.	Conclusiones.....	62
8.	Recomendaciones.....	62
1.	Los aliviaderos o cursos naturales del Rio Tumbes se le debe realizar un tratamiento técnico.	62
2.	Se deben realizar simulaciones en todo el cauce del Rio Tumbes específicamente en la parte baja en ambas márgenes.	62
3.	Realizar el dragado del Rio Tumbes específicamente en la parte baja con el fin de aumentar la caja hidráulica.	62
4.	Sensibilizar a la población con respecto a los riesgos y desastres naturales.	62
9.	Referencias Bibliográficas	63
10.	Anexos.....	66

I. INFORMACIÓN GENERAL

1. TÍTULO.

Determinación del Caudal Máximo Para Diseño de Defensas Ribereñas del Sector Tamarindo – Río Tumbes 2018

2. AUTOR.

- 1.1. Ejecutores : García Celi Alex Daniel.
Infante Arcaya Fredy.
- 1.2. Facultad : Ciencias Agrarias
- 1.3. Escuela : Ingeniería Agrícola
- 1.4. Nivel Académico : Bachilleres en Ingeniería

3. ASESOR Y COASESOR.

- 3.1. Asesor : Dr. Ing. Carrillo Sarango Jose Modesto

4. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

- 4.1. De acuerdo al fin que se persigue : Aplicada
- 4.2. De acuerdo al enfoque de investigación : No Experimental

5. ÁREA Y LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.

- 5.1. Área : Recursos Hídricos - Hidráulica fluvial
- 5.2. Línea : Defensa ribereñas –
Modelación Hidráulica

6. LUGAR DE EJECUCIÓN E INSTITUCIÓN.

- 6.1. Lugar : Margen Izquierda del Río Tumbes
- 6.2. Distritos : Corrales – San Jacinto
- 6.3. Provincia : Tumbes
- 6.4. Departamento : Tumbes
- 6.5. Instalaciones : Vivienda de los investigadores.

7. PERIODO DE EJECUCIÓN : 3 meses

RESUMEN

El presente estudio de investigación cuyo tema es: “Determinación Del Caudal Máximo para Diseño de Defensas Ribereñas en el sector Tamarindo – Rio Tumbes 2018”, se realizó en el distrito de san Jacinto - margen izquierda del rio tumbes con el fin de determinar el caudal máximo de creciente de la margen izquierda del rio tumbes bajo los registros anteriores brindados desde la estación el tigre.

Teniendo en cuenta que para el diseño y protección de obras hidráulicas se hace necesario conocer las condiciones de la cuenca bajo efectos de posibles crecientes es importante determinar de forma precisa el caudal máximo.

Por tal razón se calculó el caudal de diseño mediante los dos métodos probabilísticos GUMBEL Y LOG PEARSON TIPO III que determino un caudal de 3592.66 m³/s.

Fue necesario contar con la simulación y el modelamiento hidráulico para complementar los cálculos y criterios aplicados al diseño y determinación del caudal máximo. Observando de esta manera las áreas inundables con y sin defensa de nuestro sector de trabajo.

Se concluyó que la determinación del caudal máximo previa al diseño de una obra hidráulica. Mejora drásticamente la eficiencia estructural de la defensa ribereña.

De la mano de la simulación y el modelamiento hidráulico hicimos una mejora técnica con respecto al diseño basado al caudal máximo del sector de riego tamarindo.

Palabras clave: Caudal máximo. Diseño hidráulico de la defensa ribereña.

ABSTRACT

The present research study whose theme is: "Determination Of Maximum Flow for the Design of Riparian Defenses in the Tamarind sector – Rio Tumbes 2018", was carried out in the district San Jacinto-left bank of Tumbes River in order to Determine the maximum flow rate of the left bank of the Tumbes River under the previous records provided from the El Tigre station.

Bearing in mind that for the design and protection of hydraulic works it is necessary to know the conditions of the basin under the effects of possible growing it is important to determine the maximum flow accurately.

For this reason, the flow of design was calculated using the two probabilistic methods GUMBEL and LOG PEARSON type III that determined a flow of 3592.66 m³/s.

It was necessary to have the simulation and the hydraulic modeling to complement the calculations and criteria applied to the design and determination of the maximum flow. Observing in this way the flooded areas with and without defense of our sector of work.

It was concluded that the determination of the maximum flow prior to the design of a hydraulic work. Dramatically improves the structural efficiency of the riparian defense.

Of the simulation hand and the hydraulic modeling, we made a technical improvement with respect to the design based on the maximum flow of the tamarind irrigation sector.

Key words: maximum flow. Hydraulic design of the riverside defence.

1. Introducción

El presente trabajo de investigación titulado “Determinación Del Caudal Máximo Para Diseño de Defensas Ribereñas del Sector Tamarindo – Rio Tumbes 2018” se realiza por que en la temporada de lluvias y creciente del rio Tumbes causa inundaciones en ambas márgenes del rio, produciendo importantes pérdidas de producción agropecuarias, pérdidas de vidas humanas, erosión de las riberas, pérdida de terrenos agrícolas e infraestructura hidráulica.

Por lo cual es necesario realizar estudios previos de ingeniería como la topografía, estudio de suelos y la simulación hidráulica, con el fin de calcular y diseñar las defensas de prevención en las riberas ante caudales máximos, para ello fue necesario plantearnos la siguiente hipótesis: *La determinación del caudal máximo permite un eficiente diseño técnico de las defensas ribereñas en el sector de riego Tamarindo – margen izquierda del rio Tumbes.* Consecuentemente nos trazamos el siguiente objetivo: Determinar el caudal máximo para el diseño de defensas ribereñas en el sector Tamarindo de la margen izquierda del rio Tumbes.

Habiendo planteado nuestro objetivo nos trazamos una metodología de trabajo que consistió en el uso de software de diseño y calculo como son AutoCAD Civil 3D, River, ArcGIS, HEC – GeoRAS y HEC RAS, que permitieron estimar el caudal máximo de diseño de 3592.66 m³/s, mediante el software River, con este caudal máximo calculado se simulo en HEC RAS el desbordamiento, el cual ilustra un área inundable directa de 297 Has en ambas márgenes, sin embargo cuando se incorporó virtualmente la defensa para una segunda simulación, se mostró que el área inundable disminuye a 99 Has que incluye el cauce del rio.

Este trabajo nos ha permitido dilucidar la eficiencia de la defensa en dicha margen de la ribera del rio Tumbes, ya que logra reducir el área inundable a un 25%, la cual constituye un área que forma parte del cauce del rio y es aprovechada por agricultores en épocas de estiaje, y solo ocurriría en máximas avenidas con caudales de 3592.66 m³/s para un periodo de retorno de 50 años.

Como limitante fue la reducida topografía, por la cual recomendaría ampliar la topografía de todo el rio Tumbes, con ambas márgenes para realizar mayores simulaciones hidráulicas en toda la extensión de la cuenca del rio.

2. Planteamiento del problema

2.1 Problema de investigación

Tumbes es afectado cada año por las inundaciones producto de las lluvias que trasvasan nuestra cordillera y las que se producen en la parte alta de la cuenca del río Puyango - Tumbes, es por eso que se espera caudales mayores a $800 \text{ m}^3/\text{s}$, que debido a la insuficiente capacidad de la caja hidráulica del río, se producen desbordes, situación que se ve agravada con la actividad agrícola desordenada, el cauce colmatado, influencia de las mareas (que crean una curva de remanso desde la desembocadura hasta la estación de bombeo Puerto El Cura), y de las insuficientes obras de defensa ribereña. Lo que genera principalmente pérdidas de cultivos, pérdida de ganado, deterioro de infraestructura vial e hidráulica, entre otros daños (Oficina Regional de Defensa Civil, 2009).

Cuando se producen las crecidas en el Río Tumbes, el incremento del tirante del río desborda la capacidad de contención de sus márgenes y vence la resistencia de las mismas (Autoridad Nacional del Agua, 2013). El agua ocupa áreas de cultivo, sin embargo, estos desbordes permanecen por prolongado tiempo, debido a la poca capacidad de evacuación del sistema de drenaje superficial existente.

En los últimos años, los desbordes del río generaron pérdidas significativas en la agricultura de la región. En el año 2015 el área de cultivos afectada fue de 3152.95 hectáreas (COEN & INDECI, 2015). La Junta de Usuarios de Tumbes, estimó que las pérdidas por la inundación superarían los S/.12 millones y afectaron a 6500 productores (Sandoval, 2015). En el año 2016, a pesar de los esfuerzos de prevención, el valle nuevamente se vio afectado por las inundaciones que se produjeron en marzo; el área de cultivo afectada fue de 3177.75 ha (COEN & INDECI, 2016).

Dado que, el sector de riego El Tamarindo ubicado en la margen izquierda del río Tumbes se ve siempre afectado por el incremento del caudal en temporada de lluvias, sería útil determinar el caudal máximo que pasaría por el mencionado sector para el diseño de una defensa ribereña, así mismo realizar una simulación hidráulica con y sin defensa para lograr ver el impacto que ocasionaría la construcción de defensa frente al caudal máximo.

¿Qué efecto produciría la Construcción de una Defensa Ribereña en el sector de riego El Tamarindo en tiempos de crecida del Río Tumbes, a fin de controlar las inundaciones en la margen izquierda del río?

2.2 Justificación

Durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, comprendidos entre los meses de diciembre y abril, el caudal del río Tumbes aumenta debido a las constantes precipitaciones, causando inundaciones en ambas márgenes del río, produciendo importantes pérdidas de producción agropecuarias, pérdidas de vidas humanas, erosión de las riberas y pérdida de terrenos. Además de poner en peligro las vías de comunicación.

Los agricultores de la zona organizados a través de comités de regantes han solicitado el apoyo del ministerio de agricultura y al gobierno regional sin encontrar hasta la fecha la atención oportuna para resolver el problema que ocasiona la temporada de lluvias en este sector.

Por lo tanto, sugerimos hacer un estudio eficiente para el análisis y/o determinación del caudal máximo para un periodo de retorno de 50 años, y con este diseñar y construir un dique revestido con roca y geo membrana con el fin de minimizar drásticamente el desborde del río Tumbes en la margen izquierda ubicado en el sector de riego “Tamarindo” hacia las parcelas primarias protegiendo de esta forma a más de 120 de hectáreas de cultivos y evitando de esta manera pérdidas millonarias en la producción agropecuaria.

El Dique contara con los criterios técnicos de ingeniería y las especificaciones técnicas establecidas en los lineamientos de la Norma CE 0.20 Estabilización de Suelos y Taludes.

Además, el resultado de la investigación será útil para la gestión del riesgo de desastres y prevenciones ante el Fenómeno de El Niño, además el posible impacto ambiental en el sector de riego El Tamarindo.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General

Determinar el caudal máximo para el diseño de defensas ribereñas en el sector Tamarindo de la margen izquierda del río Tumbes.

2.3.2 Objetivos específicos

1. Analizar los datos históricos de caudales máximos.
2. Determinar el caudal máximo de diseño aplicando los métodos Gumbel Tipo I y log Pearson tipo III.
3. Diseñar la defensa ribereña
4. Realizar la simulación hidráulica con y sin la defensa ribereña
5. Calcular el área inundable del sector de riego Tamarindo

2.4 Hipótesis

La determinación del caudal máximo permite un eficiente diseño técnico de las defensas ribereñas en el sector de riego Tamarindo – margen izquierda del río Tumbes.

3. Marco teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 Problemática de las inundaciones en el valle del río Tumbes

Las inundaciones en el Perú es un problema recurrente cada año, es el evento más recurrente y de mayor impacto en el país, esto debido a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina, la cual tiene una época seca y una época de lluvia bien diferenciada, esta última de diciembre a marzo, sumado a los años de presencia del FEN hacen que los caudales de los ríos que bajan de la región andina a la costa aumenten varias veces su magnitud, desbordándose y ocasionando daños en ciudades de la costa específicamente en la región norte del país, como: Tumbes, Piura, y Lambayeque (Sato, 2012, p. 57).

Las inundaciones en el valle del río Tumbes se producen anualmente con diferente intensidad, principalmente entre los meses de noviembre y abril de cada año, que es la temporada de lluvias. Las intensas precipitaciones pluviales que se producen en la parte alta de la cuenca (en territorio ecuatoriano), descargan en el cauce principal del río desbordando fácilmente, inundando los campos agrícolas, destruyendo la infraestructura de riego, las vías de acceso y cuanta obra civil u obstáculo se interponga en su trayecto. “Entre 1925 hasta el 2010, el río Tumbes ha producido 22 períodos inundables de considerable magnitud con una frecuencia de 3,9 años, periodicidad que se acorta en los últimos años” (Maceda, 2010, p. 2). Y tal como señala Sato (2012, p. 58), “debido al arrastre de suelos, la sedimentación, colmatación de los ríos y la falta de políticas de mantenimiento de los cauces, cada año los ríos desbordan con menor caudal”.

Las descargas del río Tumbes son registradas desde 1963, en la Estación El Tigre, a cargo del Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes [PEBPT], en convenio con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], siendo el máximo valor instantáneo registrado de 3712,5 m³/s el 05 de febrero de 1983.

- Estos datos de la tabla 01 han sido incorporados en el Software River para desarrollar los métodos estadísticos de Gumbel Tipo I y Log Pearson Tipo III, con un periodo de retorno de 10, 25 y 50 años.
- Insuficiente capacidad de la caja del río para contener las avenidas; en la medida que se suceden estas avenidas, la agradación – sedimentación del cauce aumenta y reduce la capacidad de transporte del río; consecuentemente, las inundaciones se producen con caudales cada vez menores, así se reporta que en el año 1983 las inundaciones se produjeron cuando el río alcanzaba los caudales superiores a 1300 m³/s y en las condiciones actuales las inundaciones se han producido con caudales del orden de los 700 m³/s, situación que demuestra la reducción de la capacidad de la caja para el traslado de las avenidas.
- La gran cantidad de sedimentos en suspensión y/o arrastre que anualmente son transportados por el río Tumbes, los mismos que son depositados en el cauce y el delta, que impiden el normal escurrimiento de las aguas al mar.
- El poco o nulo mantenimiento de los alivijs naturales del río (drenes, cursos antiguos, brazos y esteros). Estos drenes generalmente se encuentran colmatados, cubiertos de vegetación y/o con cultivos instalados por agricultores de la zona.

3.1.1.1 *Poca capacidad de la caja hidráulica del Río Tumbes*

El Río Tumbes no tiene un cauce definido en el tramo comprendido entre el sector desde la Estación de bombeo Puerto El Cura y la desembocadura al mar; el río tiende a desplazarse lateralmente entre un ancho promedio de 500 m a 1000 m, cuando ocurren las avenidas medias causando severos daños al sector agrícola; de esta manera, adecúa su cauce hasta alcanzar el equilibrio que permita utilizar la energía dinámica total para transportar sedimentos, producir erosión tanto en el fondo como en los taludes y generar turbulencia.

El río tiende a la formación de meandros aguas arriba de la ciudad de Tumbes con desplazamientos permanentes, uno de ellos se ubica muy próximo a la Carretera Panamericana (Curva La Noria), con gran poder erosivo, el mismo que en

avenidas extraordinarias podría romper el equilibrio y cambiar su cauce trayendo consigo las consecuencias siguientes (Maceda, 2010).

3.1.2 Consecuencias de las inundaciones en Tumbes

3.1.2.1 Pérdidas económicas en el sector agrícola

Las pérdidas económicas por inundaciones en el valle del río Tumbes, se han evaluado en 1972, 1975 y 1976 por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Agricultura, en 1983 por la firma Arturo Rocha Ing. Asoc., en 1989 por el Programa Nacional de Drenaje y Recuperación de Tierras, y en los años 1992, 2008, 2010 hasta la actualidad por la Dirección Regional de Agricultura Tumbes.

En la tabla N° 01 se muestran las pérdidas estimadas en dólares (USA) para los eventos de gran consideración entre el periodo de 1972 al 2010 (Maceda, 2010).

Tabla N° 01. Valorización de las pérdidas de producción agrícola por inundaciones en el valle del Río Tumbes (USDólares) de eventos de gran consideración.

AÑO	Q MAX (m3/seg)	AREA INSTAL (ha)	AREA INUND. (ha)	AREA PERD. (ha)	PERDIDAS EN DOLARES USA (Por S/. 1,000)				TOTAL
					Por Area Destruida	Por Bajo Rendimiento	En la Inversion	En la Infraestructura	
1972 (1)	2,050	7,279	2,755	2,588	819.8	242.0	809.4	44.2	1,915.40
1975 (1)	2,770	7,061	3,552	1,457	1,305.60	846.2	1,072.40	44.2	3,268.60
1976 (1)	1,400	7,023	1,679	631	571.4	415.7	503.9	36.6	1,527.60
1983 (2)	3,712	8,800	5,868	5,868	5,000.0	3,250.00	4,480.00	7,000.0	19,730.0
1989 (3)	1,829	8,484	5,103	1,065	NE	2,071.00	1,128.00	NE	3,199.0
1992 (4)	2,490	8,500	5,500	2,100	5,000.0	4,000.0	NE	1,800.00	10,800.0
2001 (4)	2,756	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	0.0
2008 (4)	1,800	8,109	2,773	716	35,207	2,028.00	NE	NE	37,235.0
2010 (4)	1,995	8,152	3,428	652	2,568.00	4,917.00	NE	NE	7,485.0

- (1) Dirección General de Aguas, 1977
 (2) Firma Arturo Rocha Ingenieros Asociados, 1983
 (3) Programa Nacional de Drenaje y Recuperación de Tierras, 1989
 (4) Estimaciones efectuadas en base a informaciones de la Dirección Regional de Agricultura - Tumbes
 N.E No estimado

NOTA

Las áreas inundadas se refieren a la parte media y baja del valle

Siempre se ha reportado que el año más desastroso fue el de 1983, con más de 19 millones de dólares en pérdida; en los años 1975 y 1989 las pérdidas superan los 3 millones de dólares. En 1992, las pérdidas se estiman en 10,8 millones de dólares, habiéndose inundado 5 500 has con la pérdida del 40% de ellas; sin embargo, el evento del año 2008 reporta una pérdida superior a los 37,2 millones de dólares.

En el año 2010 con un caudal máximo de 1995 m³/s sucedido en un solo día (caudal instantáneo) se inundaron 3. 428 ha. Situación similar ocurrió en el año 2015, el área de cultivo afectada fue de 3 152,95 hectáreas (COEN & INDECI, 2015). En el año 2016, a pesar de los esfuerzos de prevención, el valle nuevamente se vio afectado por las inundaciones que se produjeron en marzo, siendo afectadas 3177,75 ha de cultivo (COEN & INDECI, 2016). En el presente año, 2017, en el valle del río Tumbes, el área inundada se estimó en 3 219 ha con una pérdida de 2,97 millones de soles (Agencia Agraria Corrales, 2017).

En condiciones actuales, el río Tumbes está provocando inundaciones más severas con caudales que anteriormente transportaba sin dificultad, como consecuencia de la agradación – sedimentación de su cauce, reduciendo la capacidad de su caja y sumado a ello, la falta de mantenimiento del sistema de drenes existentes en el delta del río.

Estudio de Factibilidad de Defensas Contra Inundaciones en la Costa Norte del Perú – Río Tumbes, elaborado por la Dirección General de Aguas (1997), considera la construcción de diques longitudinales en ambas márgenes del río, de 300 m a 1000 m en la margen izquierda y de 700 m en la margen derecha, los que se ubicarían de tal forma que provean al río de un cauce estable para todos los niveles por debajo del caudal de 3 000 m³/s, para un período de retorno de 50 años. En la situación actual ha perdido vigencia, por el incremento en el nivel de sedimentación de la caja del río.

Chavarri (1999), menciona que:

Después de los eventos ocurridos por el fenómeno El Niño, se creyó necesario realizar este estudio como un aporte para la planificación hidráulica del río, en la que se utiliza el software HEC-RAS que permite obtener los perfiles hidráulicos para diversos caudales de avenidas. La simulación se realizó considerando el tramo desde la Estación El Tigre hasta el Puente Tumbes, con el objeto de tener una sección de control en dicha estación, sin embargo, el tramo de interés es desde las progresivas 0+000 (900,00 metros aguas abajo del Puente Tumbes) hasta la 7+800 (Estación de bombeo Puerto el Cura). Los resultados de la simulación determinaron que:

- Para un caudal de 600 m³/s a la altura de la progresivas 4+500 aparece un desfogue por el dren El Piojo, empezando a producirse problemas de inundaciones hacia aguas debajo de tal localidad.
- Para un caudal de 805 m³/s, ya existen inundaciones a partir de la progresiva 5+000 hacia aguas abajo. Se observa que a la altura de la ciudad de Tumbes (malecón), en la margen izquierda se dan inundaciones, lo cual constituyen aliviaderos naturales inundando las áreas agrícolas, pero no afectando la ciudad.
- Para un caudal de 1 205 m³/s, se presentan inundaciones en todo el tramo, observando que los niveles de agua a la altura del malecón se encuentran aproximadamente a 0,5 m por debajo de dique.
- Para los caudales de 1 805 y 2 205 m³/s, se presentan niveles de agua superiores a los niveles de las márgenes derecha e izquierda del río y a la altura del malecón ingresaría agua a la ciudad de Tumbes.
- La construcción de diques a lo largo de las márgenes del Río Tumbes será necesario hacerlo para caudales menores a 805 m³/s. si se tratara de encauzar caudales mayores, sucederá que el río no tendrá suficiente capacidad, pudiendo ocurrir desbordamientos a la altura de la ciudad de Tumbes. Actualmente la falta de diques hace posible que la onda de crecida se atenúe con los desbordamientos hacia las áreas agrícolas.

3.2 Definición de términos básicos

- **Tirante hidráulico:**

Resultado de dividir el área hidráulica por el ancho superficial del agua, parámetro fundamental en el estudio del movimiento de un fluido en un canal abierto, y también, en un canal rectangular la distancia entre la lámina de agua y el fondo. (REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA, S.F.).

- **Río:**

Es un organismo vivo y natural, es indispensable que cualquier tipo de intervención tenga bajo impacto ambiental y se integre rápida y eficientemente, con el medio circundante. (MACCAFERRI, 2001)

- **Caudal:**

Se define como el volumen líquido que pasa por una sección normal de corriente de agua en una unidad de tiempo. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012)

- **Cauce:**

Curso de agua claramente definido por el que fluye agua de forma periódica o continua. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012)

- **Muro de protección o defensa ribereña:**

Muro construido para confinar cursos de agua a fin de prevenir inundaciones. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012)

- **Inundación:**

Se le llama inundación al fenómeno producido por un exceso de agua, que sumerge porciones de tierra que normalmente se encuentran secas. Las inundaciones pueden ocurrir por dos razones principales: el desbordamiento de grandes cuerpos de agua (ríos, lagos o presas) o la acumulación de grandes cantidades de agua de lluvia. (ENCICLOPEDIA CULTURALIA, S.F.)

- **Crecida:**

elevación, generalmente rápida, del nivel de agua de un curso, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012).

- **Socavación:**

Acción erosiva del agua en un curso de agua que da lugar a la excavación y al transporte de materiales del lecho y de las márgenes. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012).

- **Geomembrana:**

Son láminas geosintéticas que aseguran la estanquidad de una superficie. Normalmente se usan para remediar las pérdidas de agua por infiltración o para evitar la migración de los contaminantes al suelo. (WIKIPEDIA.ORG, 2017).

- **Coefficiente de rugosidad:**

Coefficiente que caracteriza la rugosidad de un cauce o tubería y que se utiliza para calcular la resistencia al flujo en el cauce o tubería. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, S.F.)

- **Erosión:**

Desgaste y transporte de suelos y rocas por el paso de corrientes de agua, glaciares, vientos y olas. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012).

- **Periodo de retorno:**

Frecuencia de crecidas, probabilidad de crecida, suceso con período de retorno de “n” años. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012).

- **Numero de Froude:**

Número adimensional que expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las de gravedad. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012).

- **Curva de nivel:**

Línea trazada sobre un mapa que conecta los puntos de igual valor de una propiedad. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012).

▪ **Régimen de flujo:**

Estado del flujo en corrientes aluviales que se caracteriza por el perfil de fondo. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012).

- **Flujo subcrítico:** Flujo cuyo número de Froude es menor que la unidad y en el que pequeñas perturbaciones en la superficie pueden desplazarse aguas arriba.
- **Flujo supercrítico:** Flujo cuyo número de Froude es mayor que la unidad y en el que pequeñas perturbaciones en la superficie no pueden desplazarse aguas arriba.

▪ **Calado**

Profundidad del flujo, calado o tirante es la profundidad del flujo (generalmente representada con la letra h) es la distancia vertical del punto más bajo de la sección del canal a la superficie libre del agua. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012).

▪ **Bancos**

Lados del cauce del río hasta donde el agua normalmente llega. (Elaboración propia)

▪ **Diseño de diques de talud:**

El factor de diseño básico para diques en talud es el cálculo del peso de los elementos del manto principal. Este factor condiciona en gran medida el diseño y el coste final de la obra, puesto que repercute directamente en el tamaño y espesor de todas las capas del dique (manto, filtros y núcleo), y por lo tanto en el volumen total de materiales. Como un pre-diseño es habitual utilizar la fórmula de Hudson, la cual fue popularizada por el Shore Protección Manual. (CIVILFREE, S.F.).

$$W = \frac{1}{Kd} * \frac{H^3}{\left(\frac{Wr}{Ww} - 1\right)^3} * \frac{Wr}{cota}$$

donde, W es el peso de las piezas que forman el manto principal; w_r y w_w son los pesos específicos del hormigón y del agua respectivamente; H es la altura de ola de cálculo; α es el ángulo del talud de la estructura con respecto a la horizontal; y KD es el coeficiente de estabilidad, que depende de la forma de las piezas del manto principal, de su rugosidad, la trabazón entre ellas y de la zona del dique a diseñar (tronco o morro).

- **Caudal máximo:**

Caudal máximo instantáneo de una determinada corriente de agua representado en un hidrograma de caudales para un fenómeno específico. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012).

- **Velocidad del flujo:**

Vector que indica en un punto la velocidad y dirección del movimiento de un líquido. (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2012).

- **TIN (Triangulate Irregular Network)**

Son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos). Los vértices están conectados con una serie de aristas para formar una red de triángulos. (ESRI - ArcGIS Resources, 2016)

3.3 Bases Teóricas

3.3.1 Modelo de flujo.

Herramienta matemática o numérica que describe y cuantifica los diversos componentes del flujo de agua en un sistema hídrico como, por ejemplo, un modelo de flujo subterráneo, un modelo de flujo en un río o un modelo acoplado de flujo que considera simultáneamente todos los componentes. (Organización Meteorológica Mundial, 2012)

3.3.2 Sistema de Información Geográfica (SIG).

Sistema de gestión de datos que utiliza un paquete informático que incorpora la superposición de diferentes capas de características, mediante mapas

relacionados con tablas de datos y conjuntos de modelos. (Organización Meteorológica Mundial, 2012)

3.3.3 Tipos de Defensas Ribereñas.

Las obras fluviales pueden ser diferenciadas básicamente en dos tipos: Defensas ribereñas y obras transversales. Las defensas ribereñas, a su vez, se dividen en dos sub-tipos, obras longitudinales y obras deflectoras. (MACCAFERRI, 2001)

- Las obras longitudinales son generalmente usadas:
- Para delimitar el cauce y aprovechar los terrenos en las márgenes;
- Para proteger las orillas contra erosiones o inundaciones;
- Para recuperar terrenos ribereños;
- Y en obras de toma.

3.3.4 HEC RAS.

Es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente
- Modelización de flujo en régimen no permanente
- Modelización del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

Nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables. (Cursos Gis, s.f.).

3.3.5 ArcGIS.

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier

lugar a través de navegadores Web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio. (ArcGIS Resources, s.f.)

3.3.6 HEC - GeoRAS.

Es una extensión para ArcGIS desarrollada conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center del United Army Corps of Engineering y el Environmental System Research Institute (ESRI).

Se compone de una serie de procedimientos, herramientas y utilidades diseñadas para procesar datos georreferenciados que permite realizar la preparación de los datos geométricos para importarlos en HEC-RAS.

Mediante HEC-geoRAS creamos un archivo de importación a HEC-RAS que recoge los datos de la geometría del terreno incluyendo el cauce del río, las secciones transversales, las líneas de flujo, etc. Este archivo se importa a HEC-RAS donde realizamos todo el cálculo hidráulico y obtenemos los resultados de calado y velocidades. Finalmente, estos resultados se pueden exportar a ArcGIS para procesarlos y obtener los mapas de inundación y riesgo. (Cursos Gis, s.f.)

3.3.7 Simulación.

Proceso que utiliza un programa informático para reproducir o representar fenómenos reales mediante un modelo hidrológico numérico. (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

3.3.8 H Canales 3.0.

HCANALES es un programa que nos facilita el diseño de canales y estructuras hidráulicas, ya que es fácil e intuitivo su uso. Calcular el caudal que transporta un canal construido para las secciones transversales artificiales de uso común, como son: sección triangular. (CIVILGEEK, s.f.)

3.3.9 Método de Log Pearson tipo III.

En estadística, el coeficiente de correlación de Pearson es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables.

De manera menos formal, podemos definir el coeficiente de correlación de Pearson como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas. (Wikipedia, s.f.)

3.3.10 Método de Gumbel.

En teoría de probabilidad y estadística la distribución de Gumbel (1891-1966) es utilizada para modelar la distribución del máximo (o el mínimo), por lo que se usa para calcular valores extremos. Por ejemplo, sería muy útil para representar la distribución del máximo nivel de un río a partir de los datos de niveles máximos durante 10 años. Es por esto que resulta muy útil para predecir terremotos, inundaciones o cualquier otro desastre natural que pueda ocurrir. (Wikipedia, s.f.)

La aplicabilidad potencial de la distribución de Gumbel para representar los máximos se debe a la teoría de valores extremos que indica que es probable que sea útil si la muestra de datos tiene una distribución normal o exponencial

$$X_{tr} = X_m + K S_x$$

Dónde: X_{tr} , es el valor máximo para un tiempo de retorno T , X_m ; media de la serie de valores máximos. K ; factor de frecuencia, donde $K = y_T - y_n S_n$. Siendo:

y_t : variable de gumbel para el tiempo de retorno T . se determina a partir del valor del periodo de retorno.

$$y_t = -\ln(\ln T - (t-1)).$$

y_n , S_n se obtienen a partir del número de años de la serie mediante tablas.

3.3.11 Ecuación de Manning.

Ecuación empírica para calcular la velocidad del agua para un flujo uniforme en un cauce abierto cuya expresión es $V = 1/n R^{2/3} S^{1/2}$, donde V es la velocidad media del agua (m/s), n es el coeficiente de rugosidad (adimensional), R es el radio hidráulico (m) y S es la pendiente motriz (adimensional). (Organización Meteorológica Mundial, 2012)

3.3.12 Medidas estructurales.

Para controlar las inundaciones, en riberos y mejoramiento al canal, incrementan la capacidad del río, aumentan su velocidad de flujo, o logran los dos efectos, simultáneamente. Las modificaciones al canal que se pueden realizar son: dragarlo para que sea más ancho o profundo, limpiar la vegetación u otros residuos, emparejar el lecho o las paredes, o enderezarlo; todo esto ayuda a aumentar la velocidad del agua que pasa por el sistema, e impedir las inundaciones. Al enderezar el canal, eliminando los meandros, se reduce el riesgo de que el agua rompa la orilla del río en la parte exterior de las curvas, donde la corriente es más rápida y el nivel es más alto. (Daniel Lovillo López, 2015)

3.3.13 River.

El software “RIVER” está dirigido a los profesionales e instituciones que están involucrados en obras de protección de cauces o defensas ribereñas.

El software RIVER, fue elaborado por el ingeniero Emilse Benavides C., profesional especialista de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Ministerio de Agricultura.

El manual fue elaborado por el Programa de Encauzamiento de Ríos y Protección de Estructuras de Captación - PERPEC de la Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales - ANA y debe ser tomado como una referencia para el buen diseño de estructuras laterales y espigones.

El PERPEC, cuenta con experiencia en la dirección técnica y supervisión de proyectos de defensa ribereña, motivo por el cual ha validado el programa RIVER y recomienda a los profesionales a su buen uso. (Autoridad Nacional del Agua - ANA del Ministerio de Agricultura, s.f.)

3.3.14 Diques enrocados.

Estructuras conformadas sobre la base de material de río dispuesto en forma trapezoidal y revestido con roca pesada en su cara húmeda. Pueden ser continuos o tramos priorizados donde se presenten flujos de agua que actúan con gran poder erosivo. Las canteras de roca deben ser de buena calidad, y estar ubicadas lo más posible a la zona de trabajo. (Wikipedia, s.f.)

4. Materiales y Métodos

4.1 Ubicación del Proyecto.

4.1.1. Ubicación Política:

- Región : Tumbes
- Provincia : Tumbes
- Distrito : San Jacinto
- Localidad : Sector Tamarindo



Figura N° 01: Esquema de macro localización del Proyecto



Figura N° 02: Esquema de micro localización del Proyecto

4.1.2. Ubicación Geodésica:

Según el Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84), proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 17 sur, el tramo del río Tumbes de estudio se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas:

Límites	Este (m)	Norte (m)
Límite Aguas Arriba	562 631	9 598 036
Límite Aguas Abajo	561 899	9 600 194

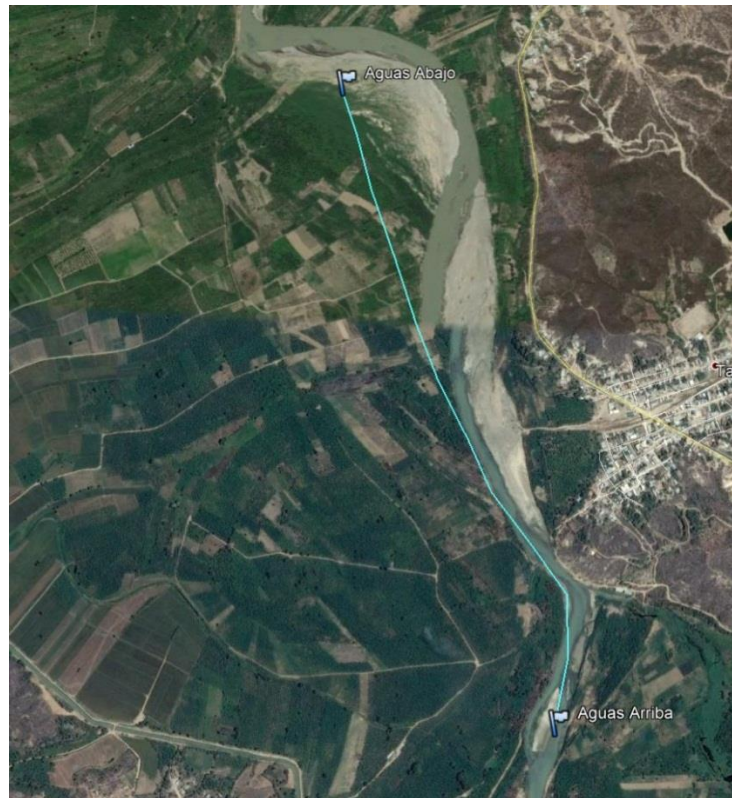


Figura N° 03: Imagen Satelital del Tramo de río en Estudio

4.1.3. Ubicación Hidrográfica:

- Vertiente : Océano Pacífico
- Cuenca : Puyango Tumbes.

4.2 Vías de Comunicación:

La principal vía de comunicación terrestre que comunica al área del proyecto es: la carretera Tumbes – Rica Playa, la cual tiene las siguientes características y longitudes:

Tabla N° 02 Vías de acceso a la zona del proyecto.

Sector	Tipo de acceso	Longitud (Km)
Tumbes - Puente Franco	Carretera asfaltada	16.10
Puente Francos - Casa Blanqueada	Carretera asfaltada	6.90
Casa Blanqueada - Zona de trabajo	Trocha rústica	2.10

Fuente: Elaboración Propia.

4.3 Población.

El Distrito de San Jacinto donde se ubica el proyecto, tiene una superficie de 598.72 Km², es el quinto de los seis distritos en población con 7,979 habitantes y representa sólo el 5.6% del total de la Provincia.

El Distrito tiene un relieve típico de la costa peruana. Se encuentra entre 19 y 14 m.s.n.m. aproximadamente, temporalmente la zona se ve afectada considerablemente por el fenómeno El Niño, a consecuencia de las fuertes lluvias que se producen, trayendo como consecuencia el incremento del caudal del río Tumbes, fenómeno que origina desbordes que afectan los terrenos dedicados a la agricultura.

4.4 El Río Tumbes.

Ubicado en la provincia de Tumbes, nace en territorio ecuatoriano con el nombre de río Puyango; y desde el límite internacional hasta la desembocadura en el océano pacífico toma el nombre de río Tumbes, teniendo una extensión en este último tramo de 80 Km.

El río Puyango-Tumbes, mide aproximadamente 230 Km de longitud, tiene un área de drenaje alrededor de 4,800 Km², hasta su desembocadura. Está formado por numerosas quebradas que discurren principalmente desde la cordillera de Chilla y Cerro Negro en el Ecuador. En su parte alta el río es llamado a menudo Río Pindo o Río Grande. Toma el

nombre de Puyango a partir de su confluencia con el Yaguachi cerca de Balsas. Siguiendo la dirección occidental por unos 100 Km, el río Puyango alcanza la quebrada Cazaderos para formar el río Tumbes. Gira entonces hacia el Norte unos 80 Km hasta llegar al Océano Pacífico cerca de la ciudad de Tumbes.

La cuenca alta del río Puyango-Tumbes, está rodeada por terrenos montañosos con altitudes de alrededor de 3,500 msnm. Cuatro tributarios principales: el río Calera, el río Amarillo, el río Luis y el río Ambocas, dan origen y forman el río Pindo. El río Pindo y sus tributarios tienen una pendiente pronunciada de cerca de 7 por mil. La mayor parte del río Puyango tiene una pendiente moderada de 3 por mil. Bajando hacia el mar forma la llanura del río Tumbes, en donde la pendiente del cauce es inferior al 2 por mil.

4.5 Registros Históricos de Caudales Máximos del Río Tumbes.

Los caudales del río Tumbes son conocidos en la parte peruana solamente en la estación hidrométrica El Tigre, ubicada en una sección natural de la parte estrecha del valle, inmediatamente aguas arriba de la llanura aluvial muy ancha, aproximadamente 15 km aguas arriba de la ciudad de Tumbes.

Tabla N° 03. Caudales máximos instantáneos anuales medidos en la Estación El Tigre

Año	Caudal	Año	Caudal	Año	Caudal
1979	689.70	1992	2489.6	2005	1012.79
1980	628.30	1993	1918.2	2006	1583.31
1981	1578.60	1994	1222.9	2007	696.61
1982	1429.00	1995	534.4	2008	1800.00
1983	3712.50	1996	690.3	2009	1957.24
1984	1627.50	1997	1583.3	2010	1995.00
1985	397.80	1998	2569.9	2011	1292.40
1986	1397.40	1999	2506.2	2012	2616.70
1987	2098.50	2000	1238.1	2013	759.90
1988	651.90	2001	2756.2	2014	989.60
1989	1828.80	2002	2646.6	2015	1887.70
1990	513.40	2003	681.4		
1991	584.50	2004	602.0		

Fuente: Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes (PEBPT).

4.6 Variación del Cauce del Río Tumbes en el Sector de Riego El Tamarindo

Después de haber analizado las imágenes satelitales históricas con el Software Google Earth de los años 2005, 2012, 2013, 2014, 2016 y 2017, permitió construir los trazos de los Cauces, como se aprecia en la figura N° 04, y posteriormente realizar las mediciones de varianza del curso del Río tanto aguas arriba y aguas abajo.

El cauce del Río Tumbes varía en cada periodo estival sobre todo en época de avenidas fluctuando cada año con una varianza de 401.35 m aguas abajo teniendo como ubicación del eje del río la coordenada UTM WGS 84 : (561732 E / 9600213 N). Y para la ubicación aguas arriba presenta una variación de 91.80 m ubicando el eje del río en la coordenada UTM WGS 84: (562604 E / 9598103 N).

Estas variaciones históricas tanto aguas arriba como aguas abajo no afectan ni alcanzan la defensa proyectada en el sector de riego El Tamarindo. Por lo que las variaciones del cauce del Río Tumbes no son incidentes en la defensa a implementar.



Figura N° 04: Variaciones Históricas del Cauce del Río Tumbes en el Sector El Tamarindo.

4.7 Área de Influencia Directa.

Se consideró como criterio un área de influencia partiendo de la simulación hidráulica de realizada con el Software HEC RAS, para esto se tomó como geo centro el eje del rio tumbes en dicho sector Tamarindo.

4.8 Tipo y diseño de la investigación

Dado el trabajo de investigación tiende a solucionar un problema practico, como es el de proteger áreas agrícolas se propuso un diseño de defensa ribereña ante un caudal máximo determinado, en el sector tamarindo en épocas de creciente del rio Tumbes, lo que caracteriza a un tipo de **investigación aplicada**.

El presente proyecto de investigación fue de tipo **no experimental**, por lo que se determinó el caudal máximo partiendo de los registros históricos mediante el uso del software River. Luego se simulo el efecto de la defensa ribereña estructural e hidráulico, haciendo uso del software HEC RAS del dique ante el máximo caudal obtenido del rio Tumbes.

Para comprobar la hipótesis fue necesario dos simulaciones hidráulicas una sin la defensa ribereña y otra con la propuesta de defensa ribereña del sector de riego El Tamarindo, la cual podrá determinar si esta última logra proteger las áreas agrícolas e infraestructura hidráulica que se propone en la presente tesis.

4.9 Materiales

Información	<ul style="list-style-type: none">▪ Caudales de máximas avenidas de la estación hidrológica El Tigre.▪ Estudio Agrologico del sector de riego El Tamarindo.
Software	<ul style="list-style-type: none">▪ RIVER Para la determinación del caudal máximo con un periodo de retorno de 50 años.▪ ArcGIS 10.2 Para la adecuación de la información topográfica, como los modelos digitales de elevaciones (DEM), entre otros.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ HEC RAS Para la simulación hidráulica. ▪ AutoCAD Civil 3D 2017 Para el trazo de la canalización, planos, etc. ▪ Microsoft Excel 2016 Se empleó para el tratamiento de datos en tablas, para la información hidrológica, o para el procesamiento de información topográfica.
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hojas A4 75g ▪ Libreta de campo ▪ Estacas, entre otros.

4.10 Equipos

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computadora Asus Core i5 ▪ Laptop HP Core i3 ▪ Calculadora Casio fx-991. ▪ Cámara fotográfica Panasonic Lumix. ▪ Navegador GPS Garmin Map 62 sc. ▪ Celular Samsung Galaxy J2 ▪ Memoria USB Kingston de 16 GB. ▪ Nivel topográfico South MC-32.
--	---

4.11 Procesamiento y análisis de datos

4.11.1 Estudio Topográfico.

El estudio fue realizado en la margen izquierda del río Tumbes en el sector de riego El Tamarindo, haciendo uso de equipos topográficos como el nivel de ingeniero y navegador GPS. El terreno en Estudio presenta una topografía poco accidentada con presencia de taludes erosionados por el río tumbes debido al cambio de curso de agua además se determinó que la pendiente del cauce actual es de 0.0014 m/m.

En esta etapa se registró las coordenadas en UTM WGS84, con sus respectivas cotas de nivel creando una data del área en estudio, el cual fue procesada posteriormente con el software vectorial (AutoCAD Civil 3D).



Figura N° 05: Estudio Topográfico en el sector de riego el tamarindo.

4.11.2 Determinación del Caudal Máximo.

En la parte de hidrología en un proyecto de protección en zonas rurales, según lo establecido en la guía metodológica del ministerio de Transportes, establece que se deben evaluar los diferentes caudales máximos para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, así como una evaluación de la probabilidad de ocurrencia, que permita establecer los daños probables, y que posteriormente con la implementación de medidas estructurales se convierten en beneficio del proyecto.

Este punto consistió en calcular el caudal máximo de diseño haciendo uso de los registros de caudales máximos instantáneos del río Tumbes medidos en la estación meteorológica El Tigre en años anteriores desde 1979 hasta 2015, aplicando los modelos estadísticos como son Gumbel y Pearson tipo III en el Software River, el cual nos arrojó los caudales máximos con periodos de retorno de 2,5,10,25,50 y 100 años. De acuerdo a la recomendación del ministerio de transportes y criterio técnico se optó por tomar el caudal máximo de diseño con periodo de retorno de 50 años el cual tiene un valor de 3592.67m³/s.

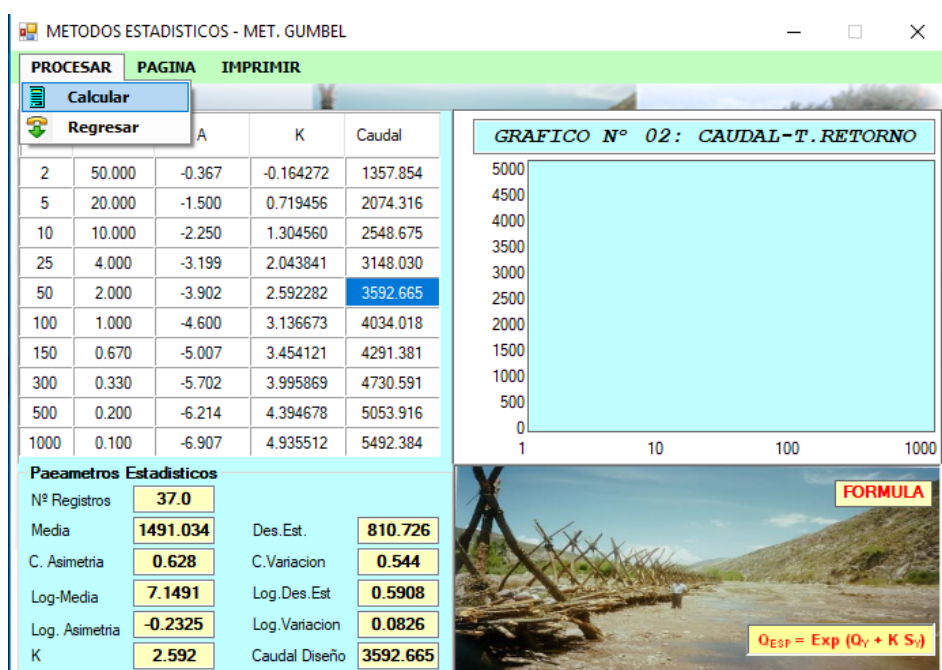


Figura N° 06: Calculo de Caudal Máximo por Método de Gumbel en River.

4.11.3 Generación del Modelo Digital de Elevación (DEM).

Con la data topográfica (curvas de nivel) en el software AutoCAD Civil 3D se procedió a generar el DEM, en la cual se tuvo en cuenta el contorno de la superficie geo referenciada en las diferentes cotas, el cual se exporto al Software ArcGis.

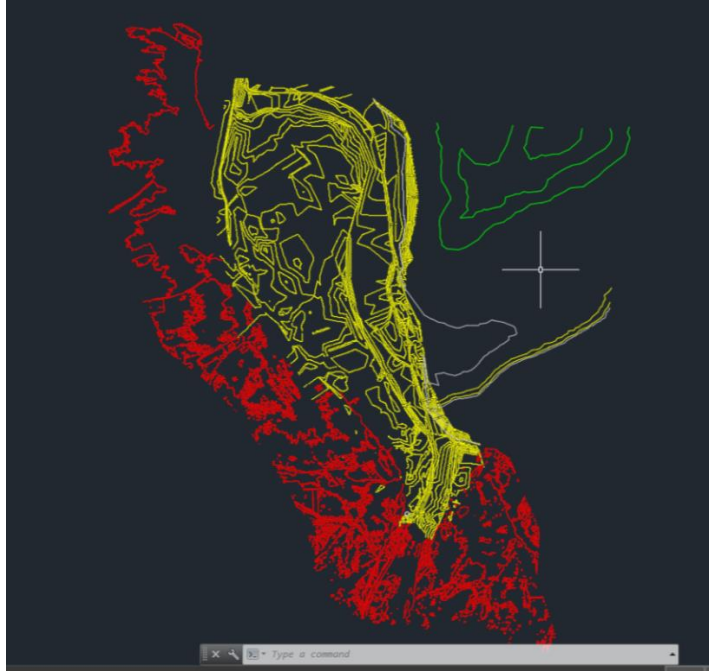


Figura N° 07: Curvas de Nivel en AutoCAD Civil 3D.

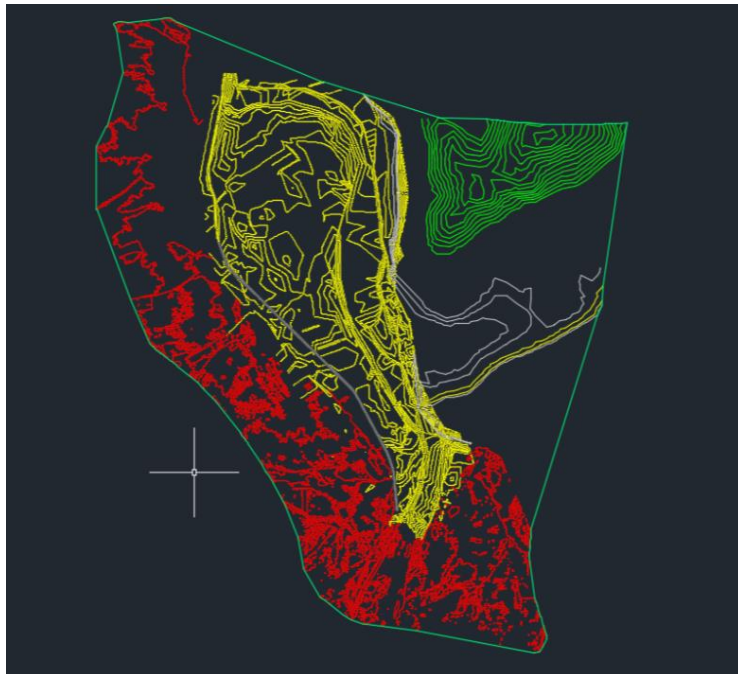


Figura N° 08: Generación de Contorno en AutoCAD Civil 3D.

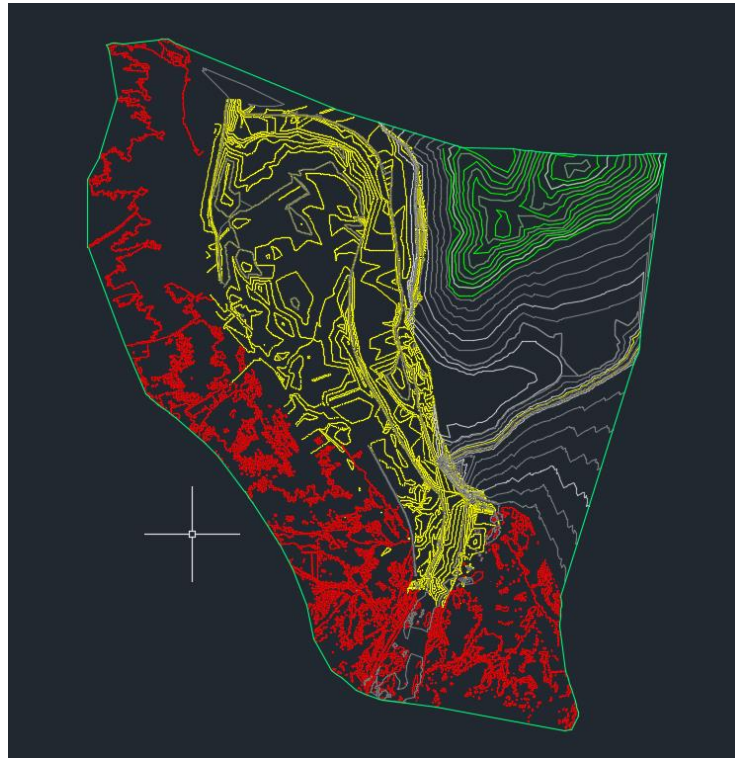


Figura N° 09: Generación del Modelo Digital de Elevación. (DEM)

4.11.4 Generación de TINs (Triangulate Irregular Network)

Con el uso del software ArcGIS nos permitió crear el modelo de elevación digital TIN a partir del DEM generado en Autocad Civil 3D. Este TIN permitió modelar las superficies heterogéneas del terreno geo referenciado de forma prácticamente idéntica a la realidad, formando isolineas con un mismo color dependiendo de la topografía del terreno.

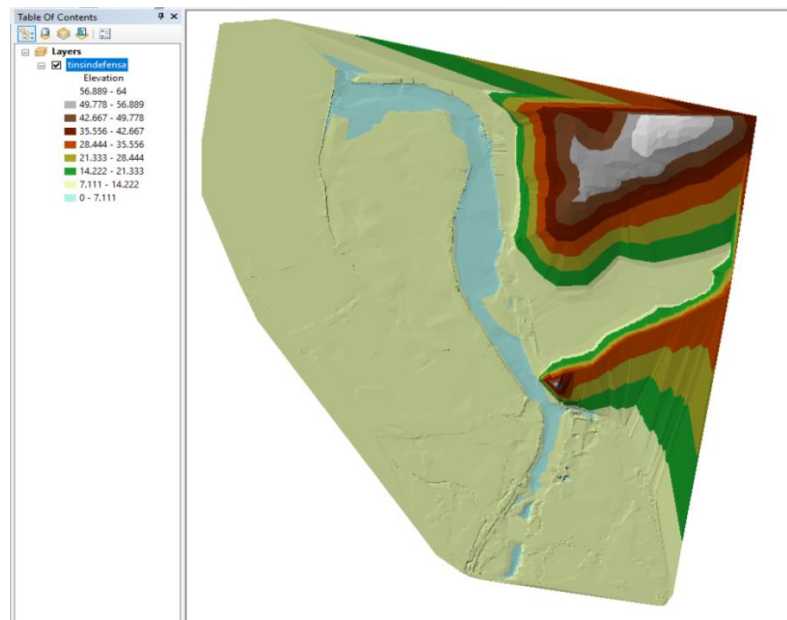


Figura N° 10: Modelo Digital de Elevación TIN en ArcGIS.

4.11.5 Aplicación de la herramienta HEC-GeoRAS en ArcGIS.

Esta Herramienta del ArcGIS nos permitió diseñar las características geométricas del cauce tales como: curso del río, bancos, límites de inundación (Flow Paths) y también trazar las secciones transversales que consideremos a criterio en el cauce, así mismo exportar la información topográfica y los datos creados anteriormente al software HEC RAS para proceder con la simulación hidráulica.

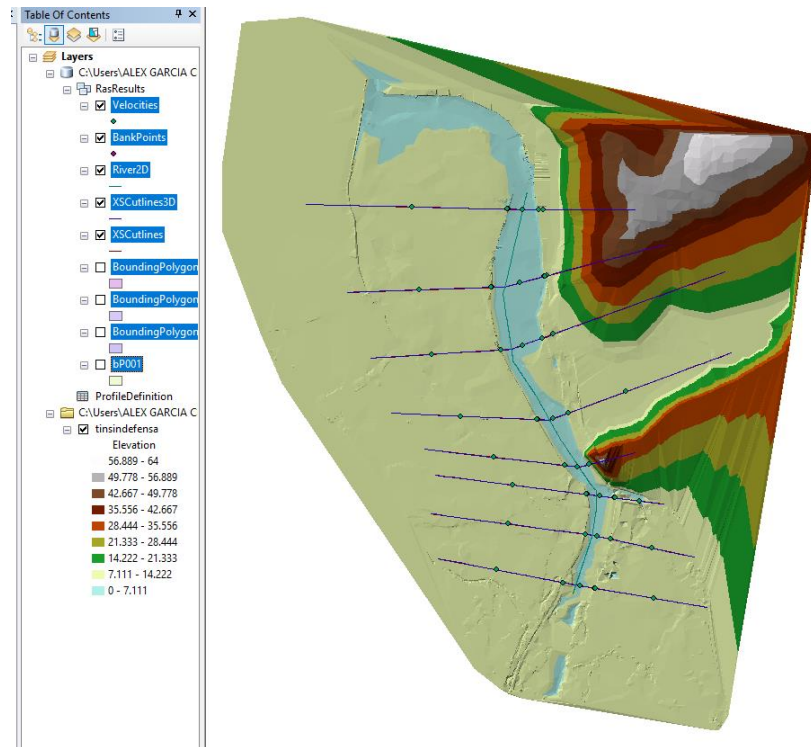


Figura N° 11: Creación de las características geométricas del río y secciones transversales en ArcGIS.

4.11.6 Simulación Hidráulica sin defensa ribereña.

Habiendo determinado el caudal máximo de diseño de $3592.67 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 50 años mediante el Software River, además obteniendo los datos topográficos y generados en ArcGIS, se procedió a simular el flujo hidráulico en el tramo del río que pasa por el sector de riego El Tamarindo, para esto nos auxiliamos del software HEC-RAS incorporando finalmente datos obtenidos en la fase de campo como son los valores de coeficiente de rugosidad (Manning) según los tipos de materiales de suelo en los tramos del río tanto en el centro como en las laderas como se muestra en la figura N° 11, la pendiente de 0.0014, y el régimen del caudal del río el cual es un flujo sub crítico.

Finalizando HEC RAS mostro que el tirante hidráulico máximo con un valor de 11.49 m aguas arriba y 10.00 m aguas abajo en el tramo del río.

Edit Manning's n or k Values

River: RIO Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: TAMARINDO All Regions

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R ...

	River Station	Frctn (n/k)	n #1	n #2	n #3
1	2089.614	n	0.03	0.032	0.03
2	1830.323	n	0.03	0.032	0.03
3	1633.523	n	0.03	0.032	0.03
4	1467.002	n	0.03	0.032	0.03
5	1192.607	n	0.03	0.032	0.03
6	792.7927	n	0.03	0.032	0.03
7	479.4495	n	0.03	0.032	0.03
8	89.00043	n	0.03	0.032	0.03

Figura N° 12: Valores de rugosidad (Manning) ingresados en HEC RAS.

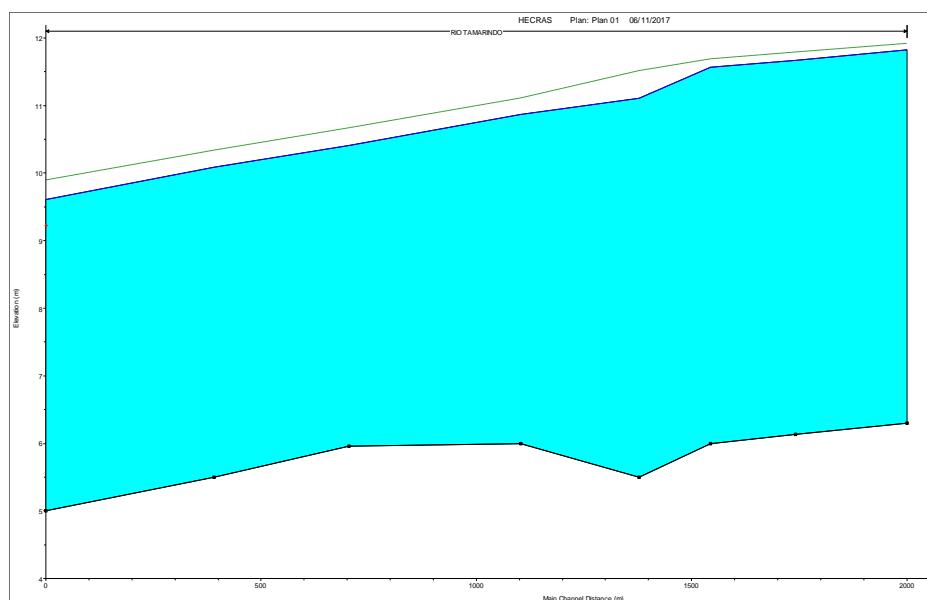


Figura N° 13: Perfil Longitudinal del tramo del rio en HEC RAS.

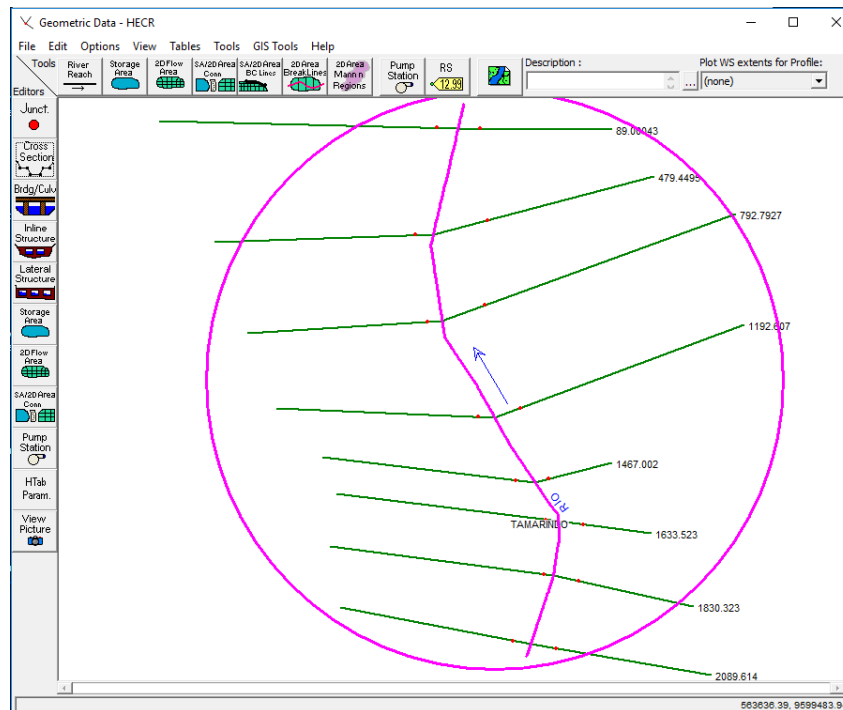


Figura N° 14: Curso del río y secciones transversales en HEC RAS.

4.11.7 Tipo de Suelo.

Se contó con la información del estudio de suelos en el sector para el diseño estructural de la defensa ribereña brindada por la municipalidad distrital de San Jacinto.

4.11.7.1 Geología del Área en Estudio.

Los elementos que conforman el cauce y margen izquierda del Río Tumbes están definidos, principalmente por Suelos finos integrados por limos y arcillas cuyo color oscila entre el marrón a beige no se observa, superficialmente elementos gruesos (Grava, arenas gruesas, etc.)

4.11.7.2 Análisis de Cimentación.

Según la información geotécnica donde se ubica el proyecto son suelos principalmente finos (Arcillas y limos) cohesivos y no cohesivos, se recomienda protección de la cimentación mediante un Dique protegido con Roca Acomodada. La roca a ser utilizada en los Diques deberá cumplir con las características geotécnicas para ese tipo de obras y es necesario mejorar el suelo de cimentación de las estructuras a colocar sobre él.

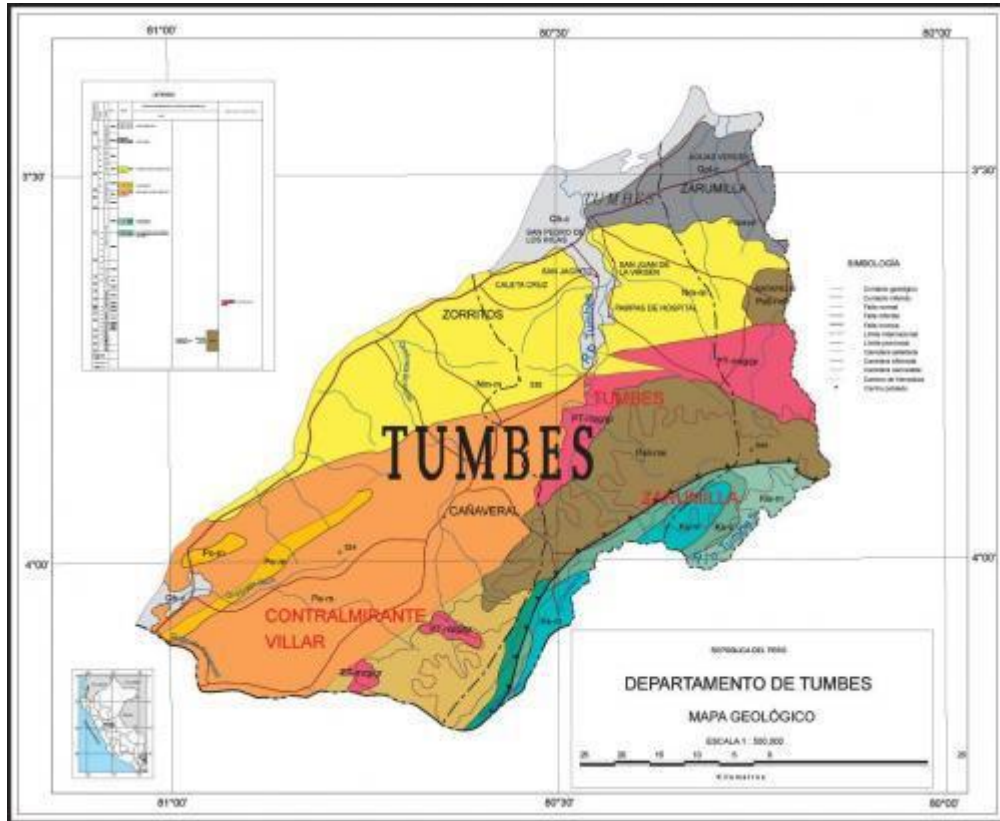


Figura N° 15: Mapa Geológico del Departamento de Tumbes.

4.11.8 Diseño de la Defensa Ribereña.

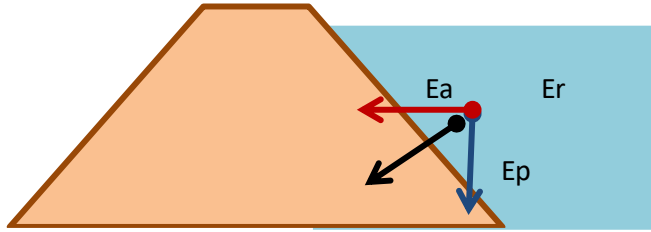
Con el tirante Hidráulico Máximo se procedió a realizar el cálculo estructural de la defensa ribereña teniendo en cuenta el tipo de suelo con su Angulo de fricción interna según la tabla siguiente:

Tabla N° 05 Ángulos de Fricción Interna según el tipo de suelo.

Clasificación	Talud			Resist. Residual		Resist. Media		Resist. Compacta	
	Talud	V	H	Ø	TgØ	Ø	TgØ	Ø	TgØ
Limo no plástico	26.0 °	1	2.00	26.0 °	0.488	28.0 °	0.532	30.0 °	0.577
	30.0 °	1	1.75	30.0 °	0.577	32.0 °	0.625	34.0 °	0.675
Arena Uniforme Fina a media	26.0 °	1	2.00	26.0 °	0.488	30.0 °	0.577	32.0 °	0.625
	30.0 °	1	1.75	30.0 °	0.577	34.0 °	0.675	36.0 °	0.727
Arena bien Graduada	30.0 °	1	1.75	30.0 °	0.577	34.0 °	0.675	38.0 °	0.781
	34.0 °	1	1.50	34.0 °	0.675	40.0 °	0.839	46.0 °	1.036
Arena y grava	32.0 °	1	1.60	32.0 °	0.625	36.0 °	0.727	40.0 °	0.839
	36.0 °	1	1.40	36.0 °	0.727	42.0 °	0.900	48.0 °	1.111

Fuente: Basic Soils Engineering – B. K. Hough

Pre dimensión y Cálculo de Defensa



Se consideró el cálculo tomando en cuenta un suelo arenoso, dado que es el más abundante en la riberas del río.

Geometría de Sección

Ancho Corona :	4.00 m
Altura (h) :	6.00 m
Ángulo Fricción :	30.0 °
Talud Izq.(x-y) :	1.732 1.00
Talud Der.(x-y) :	1.732 1.00
Ancho Base (B) :	24.78 m
Centroide : (x,y) :	12.39 m 2.28 m

Cálculo Hidrostático

Long. Mojada (L)	12.00 m
Longitud Presa (l)	1.00 m
Área Mojada (A _m = L x l)	12.00 m ²
Peso específico Agua (γ)	1.01 Tn/m ³
Presión promedio = (γ)(h/2)	3.03 Tn
Σ Fuerzas AGUA = γ (h/2) A _m =	36.35 Tn
M _{VOLC.} = Σ F (h/3) =	72.71 Tn.m
Área Sección = (A _s)	86.34 m ²
Volumen Sección = (V _s)	86.34 m ³
Peso específico Material (γ _m)	1.45 Tn/m ³
Σ Fuerzas v = γ _m . °Vs	125.19 Tn
M _R = Σ Fv*Y =	285.18 Tn.m

Excentricidad de empuje

$$e = \frac{\sum M_R - \sum M_V}{\sum F_V} = \frac{\Delta M}{\sum F_V} \quad 0.75$$

Verificación de Volcamiento

$$F_{vol} = \frac{\sum M_R}{\sum M_V} \geq 2 \quad 3.92$$

Verificación por deslizamiento

$$Fd = \frac{\mu \sum F_V}{\sum F_H} \geq 1.5 \quad 3.44$$

Cálculo Hidrodinámico

Angulo Talud (θ)=	30.0 °	
	ρ =	1.0 Tn/m ³
	V (m/s) =	2.50 m/s
Empuje pasivo		
$E_p = 0.5 \rho h^2 \cos \theta$	31.2 Tn	93.51 Tn.m
Empuje Activo		
$E_a = 0.5 \rho h^2 * V$	45.0 Tn	233.78 Tn.m
Empuje final :	54.7 Tn	327.29 Tn.m
Centroide : (x,y) :	12.39 m	2.28 m

Verificación de volcamiento

	M_R =	285.18 Tn.m
Fuerzas v = $\gamma_m \circ V$		125.19 Tn
Peso específico Roca (γ)		2.40 Tn/m ³
	e roca =	0.60 m
Fuerzas v = $\gamma_m \circ V_p$		17.28 Tn
	\sum Fuerzas v	142.47 Tn
	M_{R2} =	324.53 Tn.m

$$F_{vol} = \frac{\sum M_R}{\sum M_V} \geq 2 \quad 2.60$$

Verificación por deslizamiento

u =	0.577	Arena	Reajuste
		Sin	
		uña	82.3 Tn
		0.70	54.7 Tn 1.50 m
			324.5 Tn
Uña mínimo	0.90 m		233.8 Tn 1.39 m
Adición Uña	0.11 m		
Profundidad Uña	1.01 m		2.50 m

De acuerdo con cálculos y criterio técnico la profundidad de la uña es 2.50 m.

Cálculos de Diámetro de Roca de Revestimiento

Factor (f):	En Arena	
	Angulo	Seno
Ang. Talud (α) =	30.0 °	0.5000
Ang. Fricción (\emptyset) =	50.0 °	0.7660
factor (f) = $\{(1-\text{sen}^2 \alpha)/(\text{sen}^2 \emptyset)\}^{0.5}$		
f =	1.1305	
Densidad Relativa Δ		
:		
Densidad Roca ρ_r =	2400.00 kg/m ³	
Densidad agua ρ =	1000.00 kg/m ³	
Δ = $(\rho_r - \rho) / \rho$ =		
Δ =	1.40 kg/m ³	
Max. Velocidad Flujo		
=	3.74 m/s	
Factor Turbulencia (b)		
=	1.40	
gravedad (g) =	9.80 m/s ²	
Diámetro Roca (D) :		
$D_{\emptyset} = (b \cdot V^2) / (\Delta \cdot f^2 \cdot g)$		
D_{\emptyset} =	0.631 m	

4.11.9 Incorporación de Geo textil.

Terminado el cálculo de la defensa, se mejoró el diseño con la incorporación de un geo textil en el talud mojado y colocado bajo la roca con el fin de evitar la erosión en el talud y socavación en la uña. Este geo textil se provee de 2.0 mm de espesor con una longitud de 15.75 m. Esta geo membrana prolongara la vida útil de la defensa.

4.11.10 Simulación Hidráulica con Defensa Ribereña.

Con el diseño estructural y geometría de la defensa ribereña calculada, se procedió a incorporarla de forma digital en las curvas de nivel iniciales con el software AutoCAD Civil 3D seguido se generó un nuevo DEM, posteriormente se creó otro TIN en ArcGIS donde se utilizó la herramienta HEC – GeoRAS para las características geométricas del río y creación de las secciones transversales; y consecuentemente se realizó la segunda simulación en el software HEC RAS.

Esta simulación se realizó con un caudal máximo de diseño de 2992.67 m³/s debido a que los 3592.67 m³/s (caudal máximo determinado), 600 m³/s transitaran por el dren correntoso, el cual actúa como un aliviadero natural activándose solo cuando el tirante de agua supere los 10 metros de altura aguas arriba del tramo como se muestra en las **figuras 15 y 16**; por lo tanto, la diferencia (2992.67 m³/s) seguirá el curso del río.

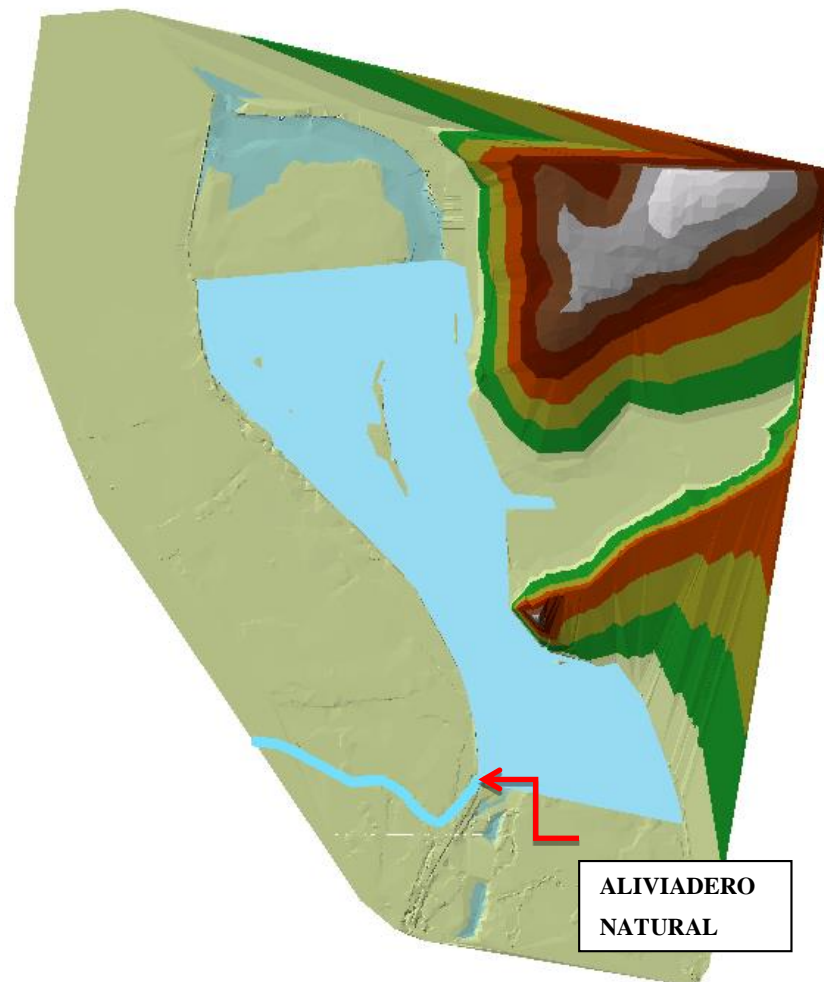


Figura N° 16: Se muestra el aliviadero aguas arriba en TIN.



Figura N° 17: Imagen Satelital de la ubicación y curso del aliviadero.

5. Resultados

5.1 Análisis de Datos Históricos de Caudales Máximos.

El análisis de los Caudales Máximos desde el año 1979 hasta 2015 (37 registros) nos permitió conocer los parámetros estadísticos como la media y desviación estándar haciendo uso del Software River.

Paeametros Estadísticos			
Nº Registros	37.0		
Media	1491.032	Des.Est.	810.726
C. Asimetria	0.628	C.Variacion	0.544
Log-Media	7.1491	Log.Des.Est	0.5908
Log. Asimetria	-0.2325	Log.Variacion	0.0826
K	2.592	Caudal Diseño	3592.663

Figura N° 18: Parámetros Estadísticos calculados a partir de los registros de caudales máximos en el software River.

Tabla N° 04. Caudales máximos instantáneos anuales medidos en la Estación El Tigre

Año	Caudal	Año	Caudal	Año	Caudal
1979	689.70	1992	2489.6	2005	1012.79
1980	628.30	1993	1918.2	2006	1583.31
1981	1578.60	1994	1222.9	2007	696.61
1982	1429.00	1995	534.4	2008	1800.00
1983	3712.50	1996	690.3	2009	1957.24
1984	1627.50	1997	1583.3	2010	1995.00
1985	397.80	1998	2569.9	2011	1292.40
1986	1397.40	1999	2506.2	2012	2616.70
1987	2098.50	2000	1238.1	2013	759.90
1988	651.90	2001	2756.2	2014	989.60
1989	1828.80	2002	2646.6	2015	1887.70
1990	513.40	2003	681.4		
1991	584.50	2004	602.0		

Fuente: Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes (PEBPT).

5.2 Determinación del Caudal Máximo de Diseño.

Haciendo uso del Software River se pudo determinar un caudal máximo de 3592.66 m³/s para un periodo de retorno de 50 años con los métodos estadísticos de Gumbel tipo I y Pearson tipo III.

Gumbel Tipo I.

$$Q = \bar{Q} + K * S_Q$$

Dónde:

- Q = caudal de diseño (m³/s)
- \bar{Q} = Caudal medio.
- K = es el factor de frecuencia, que depende de la ley de ocurrencia del evento hidrológico.
- S_Q = Desviación Estándar.

- Determinamos K:

- Este factor de frecuencia se determina mediante el periodo de retorno en este caso es de 50 años la cual indica en tablas que el **k** para un periodo de retorno de **50** años es de **3.592**. El caudal de diseño será:

$$Q = \bar{Q} + K * S_Q$$

$$Q = 1491.033784 + 2.5923 * 810.726$$

$$Q = 3592.66 \text{ m}^3/\text{s}$$

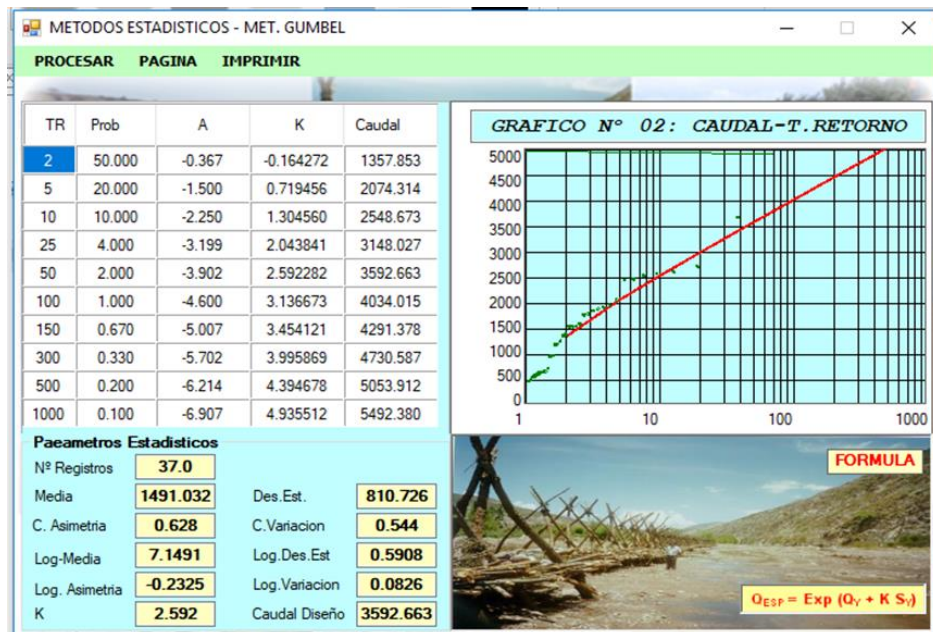


Figura N° 19: Resultado de caudales máximos por el método de Gumbel para diferentes periodos de retorno en el software River.

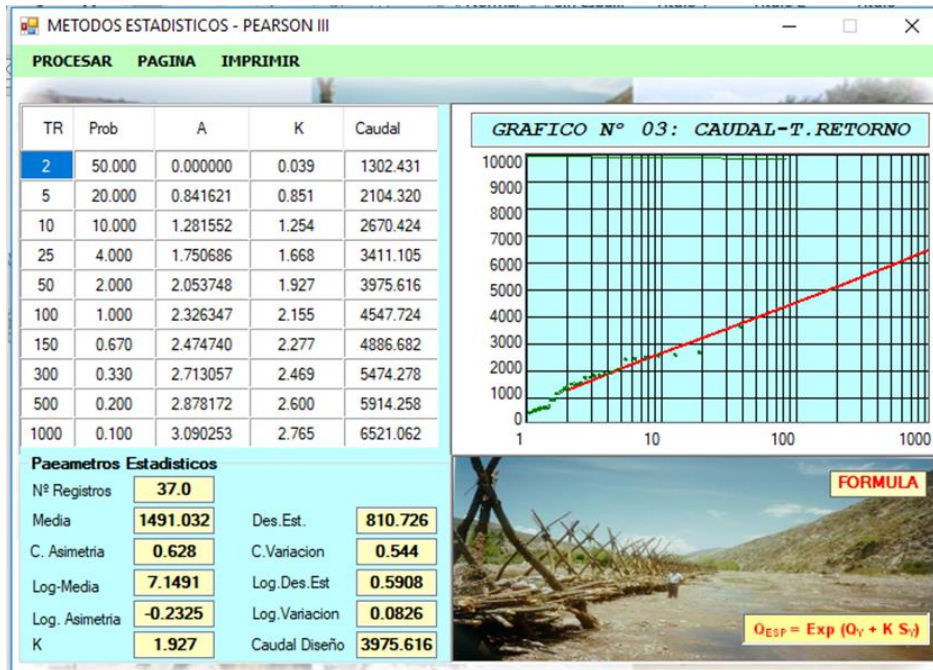


Figura N° 20: Resultado de caudales máximos por el método de Pearson tipo III para diferentes periodos de retorno en el software River.

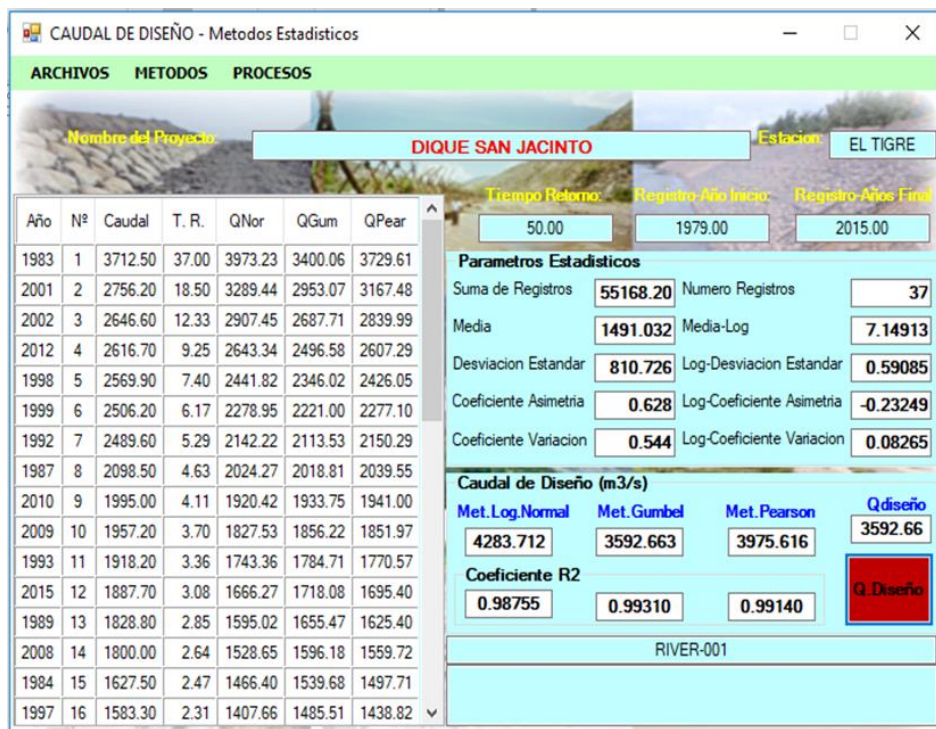


Figura N° 21: Resultado de caudal máximo de diseño para un periodo de retorno de 50 años en el software River.

- Finalmente elegimos como caudal de diseño aquel resultado que tuvo el mayor coeficiente de correlación el cual fue **Gumbel Tipo I**. En probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias, Por ejemplo, sería muy útil para representar la distribución del máximo nivel de un río a partir de los datos de niveles máximos durante 10 años. Gumbel, es utilizada para modelar la distribución del máximo (o el mínimo), por lo que se usa para calcular valores extremos.
- De igual forma el software River de los dos métodos estadísticos utilizados eligió el caudal máximo de diseño determinado por **Gumbel Tipo I** que corresponde un valor de 3592.66 m³/s.

5.3 Diseño de la Defensa Ribereña.

Con los cálculos realizados se llegó a diseñar la defensa ribereña según la figura más abajo que muestra las dimensiones geométricas del talud mojado y seco, además el revestimiento con geo textil bajo el enrocado en la cual se recomienda compactar el material de préstamo para conformar el muro de la defensa que posee un ancho en la corona de cuatro metros.

El geotextil se incorporó con el fin de prevenir la erosión en el talud mojado

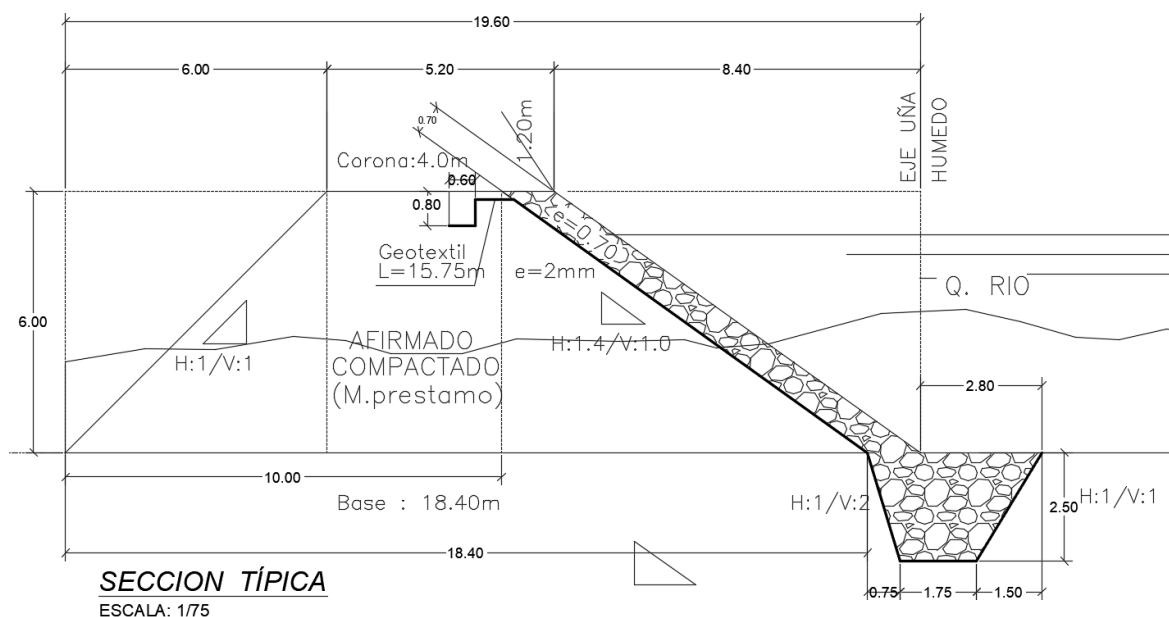


Figura N° 22: Sección Típica del Dique con enrocado

5.4 Resultados de Simulaciones Hidráulicas.

En las siguientes figuras se aprecia las dos simulaciones realizadas; la primera sin defensa ribereña y la segunda con la defensa diseñada. Denotando en la primera una mayor área inundable debido al desbordamiento del río en ambas márgenes, con un área directa de 319 Has mientras tanto en la segunda simulación se aprecia una reducción de esta área gracias a la incorporación de la defensa que delinea el cauce del río Tumbes en el sector de Riego El Tamarindo, haciendo un área menor de 131 Has con un caudal de 2992.67 m³/s, logrando proteger todo el sector agrícola en la margen izquierda con un área de 188 Has.



Figura N° 23: Imágenes de comparación de áreas del cauce del río y áreas inundadas, sin defensa (319 Has) y con la defensa ribereña incorporada (131 Has).

5.5 Área Inundable del Sector de Riego Tamarindo.

Se determinó un área de 219.11 Has que serían afectadas por una posible inundación sin el uso de la defensa ribereña. Correspondiendo 188 Has para la margen izquierda y 31.11 Has para la margen derecha. Sin embargo, con la construcción de la defensa ribereña, en la margen izquierda no habría inundación, solamente en la margen derecha se quedarían inundadas las 31.11 Has. Los agricultores tienden a cultivar en estaciones de estiaje en la margen izquierda, no siendo permitido por la Autoridad Nacional del Agua e INDECI debido a que estas parcelas se encuentran en el cauce del río.



Figura N° 24: Área Agrícola no permitida.

6. Discusión

Coincidiendo con **Flores Apaza, Orestes O.** (2016) en su investigación ... en su contenido presenta estudios básicos de ingeniería tales como: estudio topográfico, geotécnicos, hidrológicos, evaluación de impacto ambiental, así como también los diseños de enrocado; los cuales se diseñan en base a los estudios básicos de ingeniería mencionados.

Tal como nuestros resultados de la presente investigación denotan una inundación de 297 Has sin la implementación de la defensa ribereña, concordamos con **Huarcaya Segovia, José M** (2005) en su investigación, las avenidas de agua, son sin duda una seria amenaza que periódicamente, devasta tierras de cultivos e infraestructura. Hoy en día, se sabe que el agua puede volver a subir y desbordar, produciendo consecuencias nefastas y una forma de revertir estas situaciones de riesgo es protegiendo las riberas. Coincidiendo con **Flores Apaza, Orestes O.** (2016) en su investigación.

El uso del software como HEC RAS y River fueron importantes para el modelamiento hidráulico y el diseño de la defensa (ver modelamiento en Anexo 01), lo cual nos hace coincidir con **Flores Albino, Beltrán F.** (2005) en su artículo publicado menciona que ... haciendo uso del programa de cómputo Hec - Ras y conceptos teóricos El Análisis Estadística de Caudales y el método de Lichvan Levediev para el cálculo de la Socavación General. Para esto se hizo una recopilación de la información existente de la zona de estudio y se elaboró un marco teórico en el que están basados los cálculos efectuados. Utilizando los resultados obtenidos, se realizó el diseño de la protección de los elementos estructurales.

7. Conclusiones

1. Los caudales máximos son recurrentes de acuerdo a la información hidrológica analizada.
2. La determinación del caudal máximo permite un eficiente diseño técnico de las defensas ribereñas en el sector de riego tamarindo – margen izquierda del río Tumbes. El caudal máximo determinado fue de aproximadamente de 3592.66 m³/s con un periodo de retorno de 50 años.
3. Con el tirante hidráulico calculado se diseñó la defensa ribereña con una altura de 6 m, para un caudal máximo de 3000 m³/s permitiendo proteger el sector de riego El Tamarindo de la margen izquierda del río.
4. Las simulaciones comparativas determinaron que los tirantes hidráulicos son de 12 msnm y 10 msnm aproximadamente aguas arriba y aguas abajo respectivamente en la dirección del eje del Río, además las simulaciones demuestran la eficiencia de la defensa Ribereña propuesta en la prevención y protección del área agrícola del sector de riego El Tamarindo. Evitando pérdidas socioeconómicas a la Región de Tumbes.
5. Con el diseño de la defensa ribereña el área inundable se reduce a 14.20%.

8. Recomendaciones

1. Los aliviaderos o cursos naturales del Río Tumbes se le debe realizar un tratamiento técnico.
2. Se deben realizar simulaciones en todo el cauce del Río Tumbes específicamente en la parte baja en ambas márgenes.
3. Realizar el dragado del Río Tumbes específicamente en la parte baja con el fin de aumentar la caja hidráulica.
4. Sensibilizar a la población con respecto a los riesgos y desastres naturales.

9. Referencias Bibliográficas

1. Agencia Agraria Corrales. (2017). Evaluación de áreas perdidas y/o afectadas por distrito en la provincia de Tumbes. Tumbes.
2. Autoridad Nacional del Agua. (2013). Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la cuenca Tumbes. Tumbes.
3. Bladé, E., Sánchez, M., Juny, Sánchez, H. P., Niñerola, D., & Gómez, M. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable.
4. Cayuela, M., & Martínez, J. L. (2009). Medidas Paliativas frente a los Efectos de las Inundaciones en el Tramo Medio del Río Ebro. En Jornadas de Ingeniería de Agua. Madrid. Recuperado a partir de <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2009/fs/AO10rev.pdf>
5. Chavarri, E. A. (1999). Simulación Hidráulica del Río Tumbes desde la Estación Puerto El Cura hasta 900.00 metros aguas abajo del Puente Tumbes. Lima.
6. COEN, & INDECI. (2015). Inundaciones afectn distritos de la provincia de Tumbes. Tumbes.
7. COEN, & INDECI. (2016). Inundación afecta provincias del departamento de tumbes. Tumbes.
8. Comisión de usuarios Margen Izquierda del Río Tumbes. (2015). Inventario de drenes. Corrales.
9. Consultora A. Rocha Ingenieros Asociados S.A - INADE. (1984). Enfoque Integral del Control de Avenidas del Río Tumbes. Perú.
10. Dirección General de Aguas. (1997). Estudio de Factibilidad de Defensas Contra Inundaciones en la Costa Norte del Perú – Río Tumbes.
11. ESRI - ArcGIS Resources. (2016). ¿Qué es una superficie TIN? Recuperado el 15 de julio de 2017, a partir de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>
12. Herreras, J. A., & Marín, G. (2000). El tratamiento de los cauces. Protección y defensa de avenidas. Zonas de riesgo. Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2. Recuperado a partir de http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/op/51/op51_5.htm#encauzamientos
13. Maceda, E. A. (2010). Habilitación de aliviaderos naturales del río Tumbes. Tumbes.
14. Martín Vide, J. P. (2003). Ingeniería de Rios.
15. Oficina Regional de Defensa Civil. (2009). Sustento técnico para declaratoria en situación de emergencia Tumbes por peligro inminente ante las lluvias 2008-2009. Tumbes.
16. Reyes, J. (2003). Inundaciones y Drenaje Urbano - Perú. En O. Campos, C. André, W. Ferreira, & M. Fernanda (Eds.), Inundações urbanas na América do Sul (Primera, pp. 379–428). Porto Alegre. Recuperado a partir de http://www.agua.org.py/images/stories/biblioteca/humedales/jorge-reyes_peru.pdf
17. Sandoval, W. (2015, marzo 29). Desborde del río Tumbes inunda más de 7.500 hectáreas. El Comercio. Recuperado a partir de <http://elcomercio.pe/peru/tumbes/desborde-rio-tumbes-inunda-7-500-hectareas-347248>
18. Sato, J. M. (2012). La Gestión Del Riesgo De Desastres En El Peru Documento Pais Perú 2012. Indeci, 1(Los desastres naturales), 146. Recuperado a partir de <http://dipecholac.net/docs/files/197-peru-la-gestion-del-riesgo-de-desastres-en-el-peru-documento-pais-2012.pdf>
19. Soluciones Prácticas. (2015). Gestión de inundaciones en Perú. Recuperado a partir de www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/839%0A062/2534088
20. Valdez, O. C. (2015). Modelación y análisis bidimensional del cauce de alivio los Zapotes Don Julián bajo diferentes escenarios de vegetación. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado a partir de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/9333/Tesis.pdf>

21. Vasquez, J. A. (1999). Estudio integral de las defensas ribereñas del río Tumbes. Piura.
22. WMO, W. M. O., & UNESCO, U. N. E. and S. O. (2012). International Glossary of Hydrology. IHP/OHP-Berichte (Tercera). Recuperado a partir de http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf
23. JASEN, P., VAN BENDEGON, L., VAN DEN BERG, J., DE VRIES, M., & ZANEN, A. (1979). Flood control and drainage of the flood plain. Principles of river engineering: The non-tidal alluvial river, 394-413
24. PILARCZYK, K. W. (2004). Design of revetments. Dutch Public Works Department: Hydraulics engineering division.
25. OTINIANO, J., GRIMALDO, E., Y CARDOZO, J. (2012). GeoWeb en Defensas Ribereñas Río Zarumilla-Tumbes. Second Pan American Geosynthetic Conference & Exhibition GeoAmericas 2012.
26. ARIAS, E. (1999). Mitos y errores en la elaboración de tesis y proyectos de investigación. Caracas, VENEZUELA: Episteme.
27. AZEVEDO NETTO, J. M. (1998). Manual de Hidráulica. Sao Paulo, Brasil: Edgard blucher.
28. (ENCICLOPEDIA CULTURALIA. (S.F.). Inundación. Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, de <https://edukavital.blogspot.pe/2013/10/definicion-de-inundacion.html>.
29. (CURSOS GIS. (S.F.). Hec-Ras. Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, de <http://www.cursosgis.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/>.
30. (ARCGIS RESOURCES. (S.F.). ArcGIS. Recuperado el 16 de Diciembre 2017, http://resources.arcgis.com/es/help/getting_started/articles/026n00000014000000.htm.
31. ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) (2012) Glosario Hidrológico Internacional. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
32. TECSUG VIRTUAL CEPIS (17 DE MARZO DE 2013). Fundamentos en el Tratamiento del Agua Potable. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan3/041225/041225-04.pdf>.
33. WIKIPEDIA. (S.F.). Geomembrana. Recuperado el 17 de Diciembre de 2017, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Geomembrana>.
34. REAL ACADEMIA DE INGENIERIA. (S.F.). Tirante Hidráulico. Recuperado el 17 de Diciembre de 2017, de <http://diccionario.raing.es/es/lema/tirante-hidr%C3%A1ulico>.
35. OLLERO OJEDA, A. (1996): El curso medio del Ebro: geomorfología fluvial, eco geografía y riesgos.
36. GARZÓN HEYDT, G. (1985): Las avenidas como fenómeno geológico. Geología y prevención de daños por inundaciones. IGME, 5-54.
37. OLCINA CANTOS, J. (1994): Riesgos climáticos en la Península Ibérica, Madrid, España. Libros Penthalon.
38. CIVILGEEKS. (S.F.). Hcanales. Recuperado el 18 de Diciembre del 2017, de civilgeeks.com/2009. Descargar-hcanales/.
39. ANA AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. (S.F.). River. Recuperado el 19 de Diciembre del 2017, de <http://www.irhperu.com/programas/river-diseo-de-defensas-ribereas-ana>.
40. ALLEN BATEMAN (2007) “hidrología básica y aplicada.”
41. TORRES FERNÁNDEZ, JESÚS LUIS (2012) “USO DE LOS GEO SINTÉTICOS EN DEFENSAS RIBEREÑAS DE RÍOS DE SELVA BAJA”.
42. LEÓN CHINCHAY, E. (1994). “DEFENSA RIBEREÑAS DEL RÍO RÍMAC: SECTOR PUENTE RICARDO PALMA, CHOSICA Y PUENTE LOS ÁNGELES, CHACLACAYO”.
43. CAMPAÑA TORO, R. (2002) artículo; introducción defensa ribereña.
44. FLORES ALBINO, BELTRÁN F. (2005) artículo publicado: “DISEÑO DE DEFENSA RIBEREÑA PARA EL PUENTE HUAMANI EN EL RIO ICA”.
45. ACHIC CHATA, JHONNY C. (2004). “DISEÑO DE DEFENSA RIBEREÑA PARA LA URBANIZACIÓN SOL DE HUAMPANÍ - MARGÉN DERECHA DEL RÍO RIMAC”.
46. FLORES APAZA, ORESTES O. (2016) “PROPUESTA Y ANÁLISIS DE DISEÑO DE

DEFENSAS RIBEREÑAS EN EL RIO LLAVE ZONA RURAL C.P SANTA ROSA DE HUALLATALLAVE”.

47. HUARCAYA SEGOVIA, JOSÉ M (2005). artículo: “DISEÑO DE DEFENSA RIBEREÑA DE LAS MÁRGENES DEL RÍO PATIVILCA A LA ALTURA DEL PUENTE SIMÓN BOLIVAR EN LA PANAMERICANA NORTE”.
48. PAULET RODRIGUEZ, DANIEL J. (2001) artículo publicado (CONSTRUCCIONES HIDRAULICAS; DEFENSAS RIBEREÑAS; ESTRUCTURAS HIDRAULICAS; FENOMENO DEL NIÑO).
49. MARINA ISABEL, OLIVOS R. (2002) “ESTUDIO DE DEFENSAS RIBEREÑAS DEL TRAMO URBANO DEL RÍO TUMBES

10. Anexos

Anexo N° 01: MODELAMIENTO HIDRAULICO CON HEC RAS

CALCULO HIDRAULICO DEL PROYECTO

CALCULO DE CAUDAL MAXIMO DE DISEÑO

I. CALCULO HIDRAULICO

Después de haber obtenido los resultados de caudales máximos con el **SOFTWARE RIVER** se ha determinado un caudal de 3592.66 m³/s con el cual se trabajará el caudal de diseño para el proyecto sin defensa.

INFORMACION BASICA		
Q (m ³ /s)=	3592.66	caudal de diseño
Q (m ³ /s)=	3592.66	
S=	0.0014	Pendiente de cauce m/m

INGRESAR CAUDAL Y PENDIENTE		
Q (m ³ /s)=	3592.66	Caudal
S=	0.0014	Pendiente de cauce m/m

CAUDAL INSTANTANEO-Metodo de Fuller		
USAR SOLO CON CAUDALES MAXIMOS DE CADA AÑO		
Q _{INST} =	Q _{MAX} (1+2.66/A ^{0.3})	
Q _{INST} =	Q _{MAX} (1+0.8 Lg T)	
SELECCIÓN DE FORMULA (1) O (2)		
Q (m ³ /s)=	3592.66	Caudal
Q _{INST} =	3592.66	Caudal Instantáneo
Q (m ³ /s)=	3592.66	Caudal de Diseño

Sección Estable o Amplitud de cauce (B) - Sector El Peligro-San Jacinto

RECOMENDACIÓN PRACTICA		
Q (M3/S)	ANCHO ESTABLE (B2)	223.51
3000	200	
2400	190	
1500	120	
1000	100	
500	70	
3592.66	B2	

METODO DE PETITS		
$B = 4.44 Q^{0.5}$		
Q (M3/S) =	3592.66	Caudal de Diseño (m3/s)
$B =$ Ancho Estable del Cauce (m)		
B=	266.13	

METODO DE SIMONS Y HENDERSON		
$B = K1 Q^{1/2}$		
CONDICIONES DE FONDO DE RIO		k1
Fondo y orillas de arena		5.7
Fondo arena y orillas de material cohesivo		4.2
Fondo y orillas de material cohesivo		3.6
Fondo y orillas de grava		2.9
Fondo arena y orillas material no cohesivo		2.8
SELECCIONAR	K1	2.8
Q (M3/S) =	3592.66	Caudal de Diseño (m3/s)
$B =$ Ancho Estable del Cauce (m)		
B=	167.83	

METODO DE BLENCH - ALTUNIN		
Fb= Fbo (1+0.12C)		
Fbo = D50 ^{1/3}		
$B = 1.81 (Q Fb/Fs)^{1/2}$		
Q M3/S =	3592.66	Caudal de Diseño (m3/s)
Fb = Factor de fondo de cauce del Rio (Tabla)		
Fs= Factor de Orilla de cauce de Rio (Tabla)		
Factor de Fondo		Fb
Material Fino		0.8
Material Grueso		1.2
SELECCIONAR	Fb =	0.8
Factor de Orilla		Fs
Materiales sueltos (Barro y arena)		0.1
Materiales ligeramente cohesivos (barro arc. Fang)		0.2
Materiales cohesivos		0.3
SELECCIONAR	Fs =	0.1
B =	375.82	

METODO DE MANNING		
$B = (Q^{1/2} * S^{1/5} / (n * K^{1/5} * m^{1/3}))^{3/5}$		
Q =	3592.66	Caudal de Diseño
S =	0.0014	Pendiente Tramo
n = Coeficiente de rugosidad		
K = Coeficiente Material del Cauce (Tabla)		
m = Coeficiente de Tipo de Rio (Tabla)		
Valores rugosidad de Manning (n)		n
Cauce con fondo solido sin irregularidades		0.025
Cauces de rio con acarreo irregular		0.030 - 0.029
Cauces de Rios con Vegetacion		0.033 - 0.029
Cauces naturales con derrubio e irregularidades		0.033
Cauces de Rio con fuerte transporte de acarreo		0.035
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza		0.040 - 0.036
Torrentes con derrubio grueso y acarreo movil		0.045 - 0.050
SELECCIONAR		n 0.03
Descripcion		K
Material de cauce muy resistente		3 a 4
Material facilmente erosionable		16 a 20
Material aluvial		8 a 12
Valor practico		10
SELECCIONAR		10
Descripcion		m
Para rios de montaña		1
Para cauces arenosos		0.7
Para cauces aluviales		0.5
SELECCIONAR		0.5
B =	267.25	

SELECCIÓN DEL ANCHO ESTABLE		B
Recomendación Practica		223.51
Metodo de Petits		266.13
Metodo de Simons y Henderson		167.83
Metodo de Blench		375.82
Metodo de Manning		267.25
PROMEDIO REDONDEADO		260.11
SELECCIONAR	B =	260

TIRANTE DE DISEÑO(t)		
METODO DE MANNING- STRICKLER (B > 30 M)		
$t = (Q / (K_s * b * S^{0.5}))^{3/5}$		
Q =	3592.66 m3/seg	Caudal de diseño
Ks = Coeficiente de Rugosidad (Tabla)		
Valores de Ks para Cauces Naturales		Ks
Cauce con fondo sólido s/n irregularidades		40
Cauces de Río con acarreo irregular		33-35
Cauces de Río con Vegetación		30-35
Cauces naturales con derrubio e irregularidades		30
Cauces de Río con fuerte transporte de acarreo		28
Torrentes con piedra de tamaño de una cabeza		25-28
Torrentes con derrubio grueso y acarreo movil		19-22
SELECCIONAR		33.33
B =	260 m (Ancho estable)	
S =	0.0014 Pendiente Promedio (m/m)	
t =	4.23 m	

CALCULO DE LA VELOCIDAD Y AJUSTES		
$V_m = K_s R^{(2/3)} S^{(1/2)}$		
Z=	1.5	Talud
K _s =	33.33	Coficiente de Rugosidad
t=	4.23 m	Tirante Hidráulico Máximo
b=	260 m	Plantilla(m)
P=	272.35 m	Perímetro Mojado(m)
A=	1121.5 m ²	Área(m ²)
R=	4.12 m	Radio Hidráulico
S=	0.0014	Pendiente(m/m)
V _m =	3.20 m/s	Velocidad Media

REGIMEN DEL CAUDAL DEL RIO	
Número de Froude	
$F = V / (g * A / T)^{(1/4)}$	
V= m/seg	3.20 Velocidad
g = m/seg ²	9.81 Aceleración de la Gravedad
A= m ²	1121.5 Área
T = m	4.23 Tirante
F=	0.45 FLUJO SUBCRITICO

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION(Hs)							
TABLA N° 05							
Coficiente de Contracción, μ							
Velocidad (m/s)	Longitud libre entre los estribos						
	10 m	13 m	16 m	18 m	21 m	25 m	30 m
<1.00	1	1	1	1	1	1	1
1.5	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98
2.5	0.9	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96
3.5	0.87	0.9	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
>4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95

Velocidad (m/s)	Longitud libre entre los estribos					
	42 m	52 m	63 m	106 m	124 m	200 m
<1.00	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1.5	0.99	0.99	0.99	1	1	0
2	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1
2.5	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1
3	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
>4.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Seleccionado	V _m =m/s	3.20	B= m	260	$\mu =$	0.99

METODO DE LL. LISTSCHTVAN LEVEDIEV	
$a = Q / (t^{5/3} * B * \mu)$	
SUELOS GRANULARES NO COHESIVOS	
$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.68 D 0.28 B))^{1/(x+1)}$	
SUELOS COHESIVOS	
$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.60 W 1.18 B))^{1/(x+1)}$	
Q = m ³ /seg	3592.66 Caudal de Diseño
t = m	4.23 Tirante Hidráulico
B = m	260 Ancho Estable de Cauce
μ =	0.99 Coeficiente de Contracción(Tabla)
a =	1.26
D = Diámetro Medio de las Partículas	
W = Peso específico del suelo(tn/m ³)	
X = Valor obtenido de la tabla	
1/(x+1) = Valor obtenido de la tabla	
B = Coeficiente por Tiempo de Retorno	

SELECCIÓN DE x EN SUELOS COHESIVOS(Tn/m ³) o SUELOS NO COHESIVOS(mm)					
SUELOS COHESIVOS(1)			SUELOS NO COHESIVOS(2)		
Peso específico Tn/m ³)	x	1/(x+1)	D(mm)	x	1/(x+1)
0.8	0.52	0.66	0.05	0.43	0.7
0.83	0.51	0.66	0.15	0.42	0.7
0.86	0.5	0.67	0.5	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1	0.4	0.71
0.9	0.48	0.68	1.5	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.5	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74
1	0.44	0.69	8	0.35	0.74
1.04	0.43	0.7	10	0.34	0.75
1.08	0.42	0.7	15	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76
1.16	0.4	0.71	25	0.31	0.76
1.2	0.39	0.72	40	0.3	0.77
1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79
1.4	0.35	0.74	190	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.8
1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81
1.64	0.31	0.77	450	0.22	0.82
1.71	0.3	0.77	570	0.21	0.83
1.8	0.29	0.78	750	0.2	0.83
1.89	0.28	0.78	1,000.00	0.19	0.84
2	0.27	0.79			
SELECCIONE			15	0.33	0.75

VALORES DEL COEFICIENTE B		
Periodo de Retorno/Años)	Probabilidad de Retorno(%)	Coefficiente B
	0	0.77
2	50	0.82
5	20	0.86
10	10	0.9
20	5	0.94
50	2	0.97
100	1	1
300	0.33	1.03
500	0.2	1.05
1,000.00	0.1	1.07
SELECCIONAR	B=	0.97

PROFUNDIDAD DE SOCAVACION	
Hs = ts - t	
ts =	5.61 Tirante de Socavación(m)
t =	4.23 Tirante (m)
Hs =	1.38 Profundidad de Socavación(m)
SELECCIONE:	H uña (m)= 2.5

CALCULO DE LA ALTURA DEL DIQUE	
CALCULO DEL BORDE LIBRE DE LA DEFENSA(BL1)	
$He = ((V^2)/2g)$ Vm = Velocidad del Caudal de Diseño(m/s) g = aceleración de la Gravedad(m/s ²)	
He = m	0.52 Energía Cinética(m)
BL = ϕ He	

Caudal Máximo m ³ /s	ϕ
3,000.00 - 4,000.00	2
2,000.00 - 3,000.00	1.7
1,000.00 - 2,000.00	1.4
500.00 - 1,000.00	1.2
100.00 - 500.00	1.1
SELECCIONE	2
BL1 = m	1.05

RECOMENDACIÓN PRACTICA	
Q (m³/s)	BL
> 200	0.6
200 a 500	0.8 - 1.00
500 a 2000	1.00- 0.96

Borde Libre Menor	Bl = 0.96 m
Borde Libre Mayor	BL = 1.00 m
Seleccione	BL = 1.00 m

CALCULO DE LA ALTURA DEL DIQUE		
HD = t + BL		
t =	4.23	Tirante de diseño(m)
BL =	1.50	Bordo Libre(m)
Hd =	5.73	Altura del Dique(m)
HD =	6	Altura de Dique Asumido por proceso constructivo(m)

CALCULO HIDRAULICO CON DEFENSA

Después de haber obtenido los resultados de caudales máximos con el **SOFTWARE RIVER** se ha determinado un caudal de **2992.66 m³/s** con el cual se trabajará el caudal de diseño para el proyecto con defensa.

INFORMACION BASICA		
Q (m³/s)=	2992.66	caudal de diseño
Q (m³/s)=	2992.66	
S=	0.0014	Pendiente de cauce m/m

INGRESAR CAUDAL Y PENDIENTE		
Q (m³/s)=	2992.66	caudal
S=	0.0014	Pendiente de cauce

CAUDAL INSTANTANEO-Metodo de Fuller		
USAR SOLO CON CAUDALES MAXIMOS DE CADA AÑO		
Q_{INST}=	Q_{MAX} (1+2.66/A0.3)	1
Q_{INST}=	Q_{MAX} (1+0.8 Lg T)	2
SELECCIÓN DE FORMULA		(1) O (2)
Q (m³/s)=	2992.66 Caudal	
Q_{INST}=	2992.66	Caudal Instantaneo
Q (m³/s)=	2992.66	Caudal de Diseño

Sección Estable o Amplitud de cauce (B) - Sector El Peligro-San Jacinto

RECOMENDACIÓN PRACTICA	
Q (M3/S)	ANCHO ESTABLE (B2)
3000	200
2400	190
1500	120
1000	100
500	70
2992.66	199.89

METODO DE PETITS		
B= 4.44 Q 0.5		
Q (M3/S) =	2992.66	Caudal de Diseño (m3/s)
B= Ancho Estable del Cauce (m)		
B=	242.89	

METODO DE SIMONS Y HENDERSON		
B = K1 Q 1/2		
CONDICIONES DE FONDO DE RIO		k1
Fondo y orillas de arena		5.7
Fondo arena y orillas de material cohesivo		4.2
Fondo y orillas de material cohesivo		3.6
Fondo y orillas de grava		2.9
Fondo arena y orillas material no cohesivo		2.8
SELECCIONAR	K1	2.8
Q (M3/S) =	2992.66	Caudal de Diseño (m3/s)
B = Ancho Estable del Cauce (m)		
B=	153.17	

METODO DE BLENCH - ALTUNIN		
Fb= Fbo (1+0.12C)		
Fbo = D50 1/3		
B= 1.81 (Q Fb/Fs)1/2		
Q M3/S =	2992.66	Caudal de Diseño (m3/s)
Fb = Factor de fondo de cauce del Rio (Tabla)		
Fs= Factor de Orilla de cauce de Rio (Tabla)		
Factor de Fondo		Fb
Material Fino		0.8
Material Grueso		1.2
SELECCIONAR	Fb =	0.8
Factor de Orilla		Fs
Materiales sueltos (Barro y arena)		0.1
Materiales ligeramente cohesivos (barro arc. Fang)		0.2
Materiales cohesivos		0.3
SELECCIONAR	Fs =	0.1
B =		343

METODO DE MANNING		
$B = (Q^{1/2} * S^{1/5} * ((n K^{5/3})^{3/(3+5m)}))$		
Q =	2992.66	Caudal de Diseño
S =	0.0014	Pendiente Tramo
n = Coeficiente de rugosidad		
K = Coeficiente Material del Cauce (Tabla)		
m = Coeficiente de Tipo de Rio (Tabla)		
Valores rugosidad de Manning (n)		n
Cauce con fondo solido sin irregularidades		0.025
Cauces de rio con acarreo irregular		0.030 - 0.029
Cauces de Rios con Vegetacion		0.033 - 0.029
Cauces naturales con derrubio e irregularidades		0.033
Cauces de Rio con fuerte transporte de acarreo		0.035
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza		0.040 - 0.036
Torrentes con derrubio grueso y acarreo movil		0.045 - 0.050
SELECCIONAR	n	0.03
Descripcion		K
Material de cauce muy resistente		3 a 4
Material facilmente erosionable		16 a 20
Material aluvial		8 a 12
Valor practico		10
SELECCIONAR		10
Descripcion		m
Para rios de montaña		1
Para cauces arenosos		0.7
Para cauces aluviales		0.5
SELECCIONAR		0.5
B=		243.91

SELECCIÓN DEL ANCHO ESTABLE		B
Recomendación Practica		199.89
Metodo de Petits		242.89
Metodo de Simons y Henderson		153.17
Metodo de Blench-Altunin		343.00
Metodo de Manning		243.91
PROMEDIO REDONDEADO		236.57
SELECCIONAR	B =	237

TIRANTE DE DISEÑO(t)	
METODO DE MANNING- STRICKLER(B> 30 M)	
$t = (Q/(Ks*b*S^{0.5}))^{3/5}$	
Q=	2992.66 m3/seg Caudal de diseño
Ks=	Coficiente de Rugosidad(Tabla)
Valores de Ks para Cauces Naturales	Ks
Cauce con fondo sólido s/n irregularidades	40
Cauces de Río con acarreo irregular	33-35
Cauces de Río con Vegetación	30-35
Cauces naturales con derrubio e irregularidades	30
Cauces de Río con fuerte transporte de acarreo	28
Torrentes con piedra de tamaño de una cabeza	25-28
Torrentes con derrubio grueso y acarreo movil	19-22
SELECCIONAR	33.33
B =	237 m (Ancho estable)
S =	0.0014 Pendiente Promedio (m/m)
t=	4.02 m

CALCULO DE LA VELOCIDAD Y AJUSTES		
$Vm = KsR^{2/3} * S^{1/2}$		
Z =	1.5 Talud	
Ks =	33.33	Coficiente de Rugosidad
t=	4.02 m	Tirante Hidráulico Máximo
b=	237 m	Plantilla(m)
P=	251.44 m	Perímetro Mojado(m)
A=	973.49 m2	Área(m2)
R=	3.87 m	Radio Hidráulico
S=	0.0014	Pendiente(m/m)
Vm=	3.075 m/s	Velocidad Media

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION(Hs)							
TABLA N° 05							
Coeficiente de Contracción, μ							
Velocidad (m/s)	Longitud libre entre los estribos						
	10 m	13 m	16 m	18 m	21 m	25 m	30 m
<1.00	1	1	1	1	1	1	1
1.5	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98
2.5	0.9	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96
3.5	0.87	0.9	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
>4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95

Velocidad (m/s)	Longitud libre entre los estribos					
	42 m	52 m	63 m	106 m	124 m	200 m
<1.00	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1.5	0.99	0.99	0.99	1	1	0
2	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1
2.5	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1
3	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
>4.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Seleccionado	Vm=m/s	3.07	B= m	237	$\mu =$	0.99

METODO DE LL. LISTSCHTVAN LEVEDIEV	
$a = Q / (t^{5/3} * B * \mu)$	
SUELOS GRANULARES NO COHESIVOS	
$ts = ((a t^{5/3}) / (0.68 D^{0.28} B))^{1/(x+1)}$	
SUELOS COHESIVOS	
$ts = ((a t^{5/3}) / (0.60 W^{1.18} B))^{1/(x+1)}$	
Q = m ³ /seg	2992.66 Caudal de Diseño
t = m	4.02 Tirante Hidráulico
B = m	237 Ancho Estable de Cauce
$\mu =$	0.99 Coeficiente de Contracción(Tabla)
a =	1.26
D = Diámetro Medio de las Partículas	
W = Peso específico del suelo(tn/m ³)	
X = Valor obtenido de la tabla	
$1/(x+1)$ = Valor obtenido de la tabla	
B = Coeficiente por Tiempo de Retorno	

SELECCIÓN DE x EN SUELOS COHESIVOS(T_n/m^3) o SUELOS NO COHESIVOS(mm)					
SUELOS COHESIVOS(1)			SUELOS NO COHESIVOS(2)		
Peso específico T_n/m^3	x	$1/(x+1)$	D(mm)	x	$1/(x+1)$
0.8	0.52	0.66	0.05	0.43	0.7
0.83	0.51	0.66	0.15	0.42	0.7
0.86	0.5	0.67	0.5	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1	0.4	0.71
0.9	0.48	0.68	1.5	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.5	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74
1	0.44	0.69	8	0.35	0.74
1.04	0.43	0.7	10	0.34	0.75
1.08	0.42	0.7	15	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76
1.16	0.4	0.71	25	0.31	0.76
1.2	0.39	0.72	40	0.3	0.77
1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79
1.4	0.35	0.74	190	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.8
1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81
1.64	0.31	0.77	450	0.22	0.82
1.71	0.3	0.77	570	0.21	0.83
1.8	0.29	0.78	750	0.2	0.83
1.89	0.28	0.78	1,000.00	0.19	0.84
2	0.27	0.79			
SELECCIONE			15	0.33	0.75

VALORES DEL COEFICIENTE B		
Periodo de Retorno/Años)	Probabilidad de Retorno(%)	Coficiente B
	0	0.77
2	50	0.82
5	20	0.86
10	10	0.9
20	5	0.94
50	2	0.97
100	1	1
300	0.33	1.03
500	0.2	1.05
1,000.00	0.1	1.07
SELECCIONAR	B=	0.97

PROFUNDIDAD DE SOCAVACION	
$H_s = t_s - t$	
$t_s =$	5.25 Tirante de Socavación(m)
$t =$	4.02 Tirante (m)
$H_s =$	1.24 Profundidad de Socavación(m)
SELECCIONE:	H uña = 2.50 m

CALCULO DE LA ALTURA DEL DIQUE	
CALCULO DEL BORDE LIBRE DE LA DEFENSA(BL1)	
$H_e = ((V^2)/2g)$	
$V_m =$ Velocidad del Caudal de Diseño(m/s)	
$g =$ aceleración de la Gravedad(m/s ²)	
$H_e =$ m	0.48 Energía Cinética(m)
$BL = \phi H_e$	

Caudal Máximo m ³ /s	ϕ
3,000.00 - 4,000.00	2
2,000.00 - 3,000.00	1.7
1,000.00 - 2,000.00	1.4
500.00 - 1,000.00	1.2
100.00 - 500.00	1.1
SELECCIONE	2
BL1 = m	0.96

RECOMENDACIÓN PRACTICA	
Q (m ³ /S)	BL
> 200	0.6
200 a 500	0.8 - 1.00
500 a 2000	1.00- 0.96

Borde Libre Menor	Bl = 0.96 m
Borde Libre Mayor	Bl = 1.00 m

CALCULO DE LA ALTURA DEL DIQUE		
HD = t + BL		
t =	4.02	Tirante de diseño(m)
BL =	1.50	Bordo Libre(m)
Hd =	5.52	Altura del Dique(m)
HD =	6	Altura de Dique Asumido por Proceso Constructivo(m)

Anexo N° 02: IMÁGENES



Figura N° 25: Trabajando con la topografía en ArcGIS. (Fase Gabinete)



Figura N° 26: Trabajando con la topografía en AutoCAD Civil 3D.



Figura N° 27: Camioneta Utilizada para la Fase de Campo.



Figura N° 28: Estudio Topográfico en el Sector El Tamarindo.