

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Análisis de máximas avenidas del río Tumbes con fines de diseño de defensas ribereñas para los sectores agrícolas: Santa María - Cabeza Lagarto - Cruz Blanca – Provincia de Tumbes

TESIS

Para optar título profesional de:

Ingeniero Agrícola

Presentado por:

Bach. José Antonio Carrillo Peña

Bach. Jean Carlos Valencia Vílchez

Tumbes, 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Análisis de máximas avenidas del río Tumbes con fines de diseño de defensas ribereñas para los sectores agrícolas: Santa María - Cabeza Lagarto - Cruz Blanca – Provincia de Tumbes

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Ing. CARRILLO SARANGO JOSÉ MODESTO _____

PRESIDENTE

Dr. CAUCHA MORALES LUIS JHONY _____

SECRETARIO

Ing. ATOCHE ORTIZ DECIDERIO _____

VOCAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Análisis de máximas avenidas del río Tumbes con fines de diseño de defensas ribereñas para los sectores agrícolas: Santa María - Cabeza Lagarto - Cruz Blanca – Provincia de Tumbes

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma.

Bach. CARRILLO PEÑA JOSE ANTONIO

EJECUTOR

Bach. VALENCIA VILCHEZ JEAN CARLOS

EJECUTOR

Dr. Ing. PUÑO LECARNAQUE NAPOLEÓN

ASESOR

CERTIFICACIÓN

Dr. Ing. Napoleón Puño Lecarnaqué

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:

“Análisis de máximas avenidas del río Tumbes con fines de diseño de defensas ribereñas para los sectores agrícolas: Santa María - Cabeza Lagarto - Cruz Blanca – Provincia de Tumbes”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agrícola: Carrillo Peña José Antonio y Valencia Vílchez Jean Carlos ha sido asesorado y revisado por mi persona.

Dr. Napoleón Puño Lecarnaqué
Asesor del Proyecto de Tesis



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Tumbes, a los30.....día (s) del mes de octubre de 2019, se reunieron en el aula virtual N° 04 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del jurado designados según Resolución N° 024-2019/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D (19/03/2019) y Resolución N° 050-2019/UNTUMBES –VRACAD-FCA-D (11-06-2019), donde se aprueba el Proyecto de Tesis y se ratifica el jurado; con el objeto de evaluar la sustentación de tesis denominada: “Análisis de máximas avenidas del río Tumbes con fines de diseño de defensas ribereñas para los sectores agrícolas: Santa María - Cabeza Lagarto - Cruz Blanca - Provincia de Tumbes” para optar el Título de Ingeniero Agrícola. Cuyo Asesor de la mencionada tesis es el Dr. Napoleón Puño Lecarnaqué.

A las.....11.....horas con.....00.....minutos y, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el presidente del jurado dio por iniciado el acto.

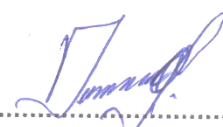
Luego de la exposición del trabajo, la formulación de preguntas y la deliberación del jurado lo declararon...aprobados...por unanimidad...con el calificativo de.....muy BUENO.....

Por lo tanto, los Bachilleres, **CARRILLO PEÑA JOSE ANTONIO** y **VALENCIA VILCHEZ JEAN CARLOS**, 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.....12 horas 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. JOSE MODESTO CARRILLO SARANGO
Presidente del Jurado


.....
Dr. LUIS JHONY CAUCHA MORALES
Secretario del Jurado


.....
Ing. DECIDERIO ATOCHE ORTIZ
Vocal del Jurado

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación lo dedicamos a cada uno de nuestros padres, por su apoyo incondicional en cada una de nuestras acciones, por su paciencia, por su atención y amor infinito que diariamente expresan. A nuestras hermanas, amigos y todas las personas que confiaron en la culminación de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Ante todo, dar gracias a Dios, por derramar salud y sabiduría sobre cada uno de nosotros, además agradecer a cada uno de nuestros padres, hermanas, amigos y personas que contribuyeron a la realización de este trabajo de investigación.

Agradecemos a nuestro asesor el **Dr. Napoleón Puño Lecarnaque** por su disposición y su asesoría técnica en la realización de la presente investigación.

A los jurados por sus intervenciones y observaciones para que el desarrollo de la tesis sea el adecuado.

Al **Dr. Luis Johnny Caucha Morales**, por su aporte y observaciones, además de su predisposición al momento de esclarecer cualquier consulta con respecto al tema de investigación.

Al **Ing. Kevin Erick Elizalde Carrillo**, por su contribución de información necesaria para la investigación, y su asesoría en la utilización del software Hec Ras, para la modelación del proyecto de investigación.

Al **técnico Martín Maceda**, por la facilitación de información de los sectores en estudio, importantes para la investigación.

Al **Ing. Darwin Jhonatan Huamán Guerrero** por su apoyo en facilitarnos información necesaria que fue clave para el tema de simulación.

A la entidad del ALA por la facilitación de información del inventario de las estructuras hidráulicas de defensas que existen en el río Tumbes.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera apoyaron esta investigación.

3.5.4	Diseño Hidráulico de la defensa Ribereña en tramo de Estudio	28
3.5.4.1	Cálculos Hidráulicos.....	28
3.5.5	Construcción del modelo Hidrodinámico Bidimensional con Hec – Ras.....	37
3.5.5.1	Metodología para la modelación Bidimensional	42
IV.	RESULTADOS.....	52
4.1	Análisis a la Información Histórica de caudales máximos	52
4.2	Cálculo del caudal máximo mediante los modelos probabilísticos	65
4.3	Propuesta de la defensa ribereña.....	66
4.3.1	Beneficio con la obra de protección	66
4.3.2	Diseño Hidráulico de la defensa Ribereña	68
4.3.3	Características del Diseño	69
4.4	Modelación Hidráulica.....	71
4.4.1	Simulación de escenario base	71
5.4.1.1.	Determinación de puntos de desborde	72
4.4.2	Ubicación de la Defensa Ribereña.....	76
4.4.3	Escenario 1. – Simulación de un evento extraordinario-sin Proyecto.....	76
4.4.4	Escenario 2. – Simulación del evento extraordinario – con Proyecto.....	78
V.	DISCUSIÓN.....	79
VI.	CONCLUSIONES.....	81
VII.	RECOMENDACIONES	82
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	83
IX.	ANEXOS	85

INDICE DE TABLAS

Tabla1. - Temperatura promedio anual, cuenca Puyango - Tumbes.....	20
Tabla2. - Valores críticos “d”.....	25
Tabla3. - Calculo del ancho estable, aplicando el método de Recomendación Práctica	28
Tabla4. -Cálculo del ancho estable, aplicando el método de Petits	29
Tabla5. - Calculo del ancho estable, aplicando el método de Blench Altunin.....	29
Tabla6. - Valores de Fb y Fs – Método de Blench Altunin.....	29
Tabla7. -Cálculo del ancho estable del cauce, aplicando el método Simons y Henderson	30
Tabla8. -Ancho estable del cauce con un caudal de 3,476.77 m ³ /s a un periodo de retorno de 50 años.....	30
Tabla9. - Valores de x y 1/x+1.....	34
Tabla10. - Determinación de la socavación total	35
Tabla11. - Coeficiente recomendado para calcular el borde libre del muro	36
Tabla12. -Data histórica de descargas máximas Instantáneas	52
Tabla13. - Caudales máximos con modelos probabilísticos.....	65
Tabla14. - Número de hectáreas de cultivo y agricultores de cada sector.....	66
Tabla15. - Valorización de la Producción del sector de Pampas de Hospital	66
Tabla16. - Valorización de la producción del sector de Santa María.....	67
Tabla17. -Valorización de la producción del sector de Cabeza de Lagarto.....	67
Tabla18. -Valorización de la producción del sector de Cruz Blanca.....	67
Tabla 19. - Características del diseño de la estructura de protección	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. - Ubicación política del área de estudio	17
Figura 2. - Imagen satelital del tramo de estudio	18
Figura 3. - Cuenca del río Puyango Tumbes.....	18
Figura 4. - Procesamiento de la Topografía en el AutoCAD Civil 3D	22
Figura 5. - Perfil del Rio en tramo de Estudio cada 500 metros	22
Figura 6. - Secciones del tramo en estudio - ubicación del dique	23
Figura 7. - Vista 3D topografía del área en estudio, modelo digital de elevación (DEM)	23
Figura 8. - Cálculo de caudal de diseño – Distribución Log Normal 2P	26
Figura 9. - Calculo de caudal de diseño – Gamma 3P.....	27
Figura 10. - Calculo del caudal de diseño – Log Normal 3P	27
Figura 11. – Calculo de caudal de diseño – Gamma 2P	27
Figura 12. - Cálculo del tirante máximo.....	33
Figura 13. - Malla computacional (fuente 2D modeling User's Manual	38
Figura 14. - Generación de malla computacional con Hec-Ras-Geometric Data	38
Figura 15. - Interfaz del Software Hec – Ras versión 5.0.3.....	43
Figura 16. - Creación de Shapefile para exportar al Hec Ras con Arcmap 10.5	44
Figura 17. - Estructuras Hidráulicas que existen en el tramo de Estudio	44
Figura 18. - Importación del MED al Ras Mapper.....	45
Figura 19. - Importación del polígono de domino del área 2D (Izquierda), Importación de polilíneas que representan, las orillas, caminos, carreteras, etc. (Derecha).	45
Figura 20. - Malla computacional de cálculo 10x10m, con datos detallados (caminos, orillas, etc)	46
Figura 21. - Condición de entrada: Puente francos (Abajo); Condición de salida: Margen derecha- Sector Cerro Blanco, Margen Izquierda – San Jacinto (Arriba).	46
Figura 22. - Importación de las estructuras al área del dominio 2D	47
Figura 23. - Edición de malla y asignación de Cotas de las estructuras	47
Figura 24. - Condición inicial empleada para inicio de la simulación en caliente, (hot Start), el cauce con un caudal base de 375 m ³ /s. (05 de marzo del 2019).	48

Figura 25. - Condición de entrada – Flow Hydrograph _____	49
Figura 26. - Condición de Salida – Normal Depth _____	49
Figura 27. - ventana de flujo en condición no permanente (izquierda), Área de flujo 2D Opciones de cálculo y tolerancias (derecha). _____	50
Figura 28. - Visualización de los resultados a través del Ras Mapper _____	51
Figura 29. -Hidrograma de caudales máximos Instantáneos Históricos del Río Tumbes (1965 – 2019) 53	
Figura 30. -Ajuste a una Distribución Normal – Smirnov Kolmogorov _____	57
Figura 31. - Ajuste a una Distribución LogNormal 2P– Smirnov Kolmogorov _____	58
Figura 32. - Ajuste a una Distribución LogNormal 3 Parámetros – Smirnov Kolmogorov _____	59
Figura 33. - Ajuste a una Distribución Gamma 2 P – Smirnov Kolmogorov _____	60
Figura 34. - Ajuste a una Distribución Gamma 3 P – Smirnov Kolmogorov _____	61
Figura 35. - Ajuste a una Distribución Log Pearson Tipo III – Smirnov Kolmogorov _____	62
Figura 36. - Ajuste a una Distribución Gumbel – Smirnov Kolmogorov _____	63
Figura 37. -Ajuste a una Distribución Log Gumbel – Smirnov Kolmogorov _____	64
Figura 38. - Caudales máximos con distribuciones estadísticas _____	65
Figura 39. - Colocación de Geotextil (Campaña Toro, 2004) _____	68
Figura 40. - Sección Típica a detalle del Dique _____	68
Figura 41. - Crecida del rio Tumbes 05-03-2019. - sección puente de Francos (imagen superior), inundación de áreas agrícolas aguas abajo del puente Francos (imágenes inferiores) _____	71
Figura 42. - Vista 3D de resultados de simulación de "escenario base" en el tramo de Estudio. (imagen superior). Puntos de inicio de desborde en tramo de estudio (imágenes inferiores), Instante 2:50 am 05-03-2019. _____	72
Figura 43. - Mapeo de las velocidades medias en tramo de estudio _____	73
Figura 44. - Vista 3D de resultados de simulación de "escenario base" en el tramo de Estudio.(imagen superior). Puntos de desbordes en tramo de estudio. (imágenes inferiores) Instante 6:00 am 05-03-2019 _____	74
Figura 45. - Mapeo de las velocidades medias en tramo de estudio instante 6:00 am 05-03-2019 _____	75
Figura 46. - Inundación en los sectores de Pampas de Hospital hasta Cruz Blanca. Instante 12:30 am 76	
Figura 47. - Mapeo de inundación en zona de estudio (imagen izquierda), distribución de las velocidades (imagen derecha) instante 15:00 hr. _____	77
Figura 48. - Hidrograma empleado en la simulación _____	77
Figura 49. - Mapeo de inundación en zona de estudio (imagen izquierda), distribución de las velocidades (imagen derecha) – con proyecto. _____	78
Figura 50. - Comparación de escenario 1 (situación actual) y el escenario 2(situación con proyecto), instalación de la defensa ribereña en la margen derecha, para un evento extraordinario cuyo caudal máximo es de 3,476.77 m ³ /s. se muestra el área de inundación. _____	80
Figura 51. - Áreas Agrícolas inundadas generada por la crecida del 05 de marzo del 2019, aguas abajo del puente Francos. _____	85
Figura 52. - Punto crítico donde se produce erosión en la ribera del sector de Santa María - Cabeza de lagarto _____	85
Figura 53. - Sección donde el flujo del agua llega a ingresar y producir velocidades máximas aguas abajo en la margen derecha _____	85
Figura 54. - Miembros del proyecto de investigación en entrevista realizada a un Agricultor de la zona. _____	86
Figura 55. - Punto crítico donde se produce erosión en la ribera del sector de Cruz Blanca _____	86
Figura 56. - Miembros de la investigación en la Bocatoma la Peña- aguas Abajo Puente Francos (progresiva I+200) _____	86
Figura 57. - Muro de material Propio del cauce en la margen izquierda. _____	86
Figura 58. - Áreas agrícolas de banano en el sector Cruz Blanca _____	86
Figura 59. - Áreas agrícolas de banano en el sector de Santa. María _____	86

RESUMEN

En la región Tumbes las inundaciones es un riesgo recurrente, así lo demuestra las estadísticas y el mermado desarrollo de la agricultura en esta parte del país. Esto se produce por las intensas precipitaciones en la parte alta de la cuenca del río Puyango - Tumbes, es por eso que cada año, se espera caudales mayores a 800 m³/s, que, debido a la insuficiente capacidad de la sección Hidráulica del río, se producen desbordes, situación que se ve agravada con la actividad agrícola desordenada, el cauce colmatado y de las insuficientes obras de defensa ribereña.

Así es que la presente investigación, ubicada en los sectores agrícolas de Santa María, Cabeza de lagarto y Cruz Blanca tiene como objetivos determinar un caudal máximo para un periodo de retorno de 50 años tiempo en que puede producirse una máxima avenida y plantear el diseño hidráulico de defensas ribereñas que sean eficientes para mitigar las inundaciones y controlar la erosión que se producirían para este tipo de eventos extraordinarios, para lograr estos objetivos nos basamos en la utilización de una data histórica de caudales máximos instantáneos registrados en la estación del Tigre, distribuciones probabilísticas (Log normal 2P, Log normal 3P, Gamma 2P, Gamma 3P) y se hizo una modelación hidrodinámica con Hec – Ras generando distintas simulaciones para varios escenarios lo cual nos permitió referenciar los puntos críticos de desborde del río y con ello determinar la ubicación de la estructura propuesta.

Por lo tanto, el caudal máximo estimado para un evento extraordinario de un periodo de retorno de 50 años es 3476,77 m³/s, la infraestructura propuesta es un dique con material propio, cara húmeda de enrocado y longitud de 3983 ml. Estructura que se recomienda instalar para garantizar la protección de 337 ha agrícolas y para beneficiar a 313 agricultores.

Palabras claves: Máximas avenidas, inundaciones, defensa ribereña, simulación.

ABSTRACT

In the Tumbes region, flooding is a recurring risk, as evidenced by statistics and the depleted development of agriculture in this part of the country. This is caused by the intense rainfall in the upper part of the Puyango - Tumbes river basin, which is why every year, flows greater than $800 \text{ m}^3 / \text{s}$ are expected, which, due to insufficient capacity of the Hydraulic section of the river, overflows occur, a situation that is aggravated by the disorderly agricultural activity, the clogged riverbed and the insufficient works of riverine defense.

Thus, the present investigation, located in the agricultural sectors of Santa María, Cabeza de Lagarto and Cruz Blanca, aims to determine a maximum flow for a return period of 50 years in which a maximum avenue can occur and propose the hydraulic design of riverine defenses that are efficient to mitigate the floods and control the erosion that would occur for this type of extraordinary events, to achieve these objectives we rely on the use of a historical data of instantaneous maximum flows recorded at the Tigre station, probabilistic distributions (Normal log 2P, Normal log 3P, Gamma 2P, Gamma 3P) and hydrodynamic modeling was done with Hec - Ras generating different simulations for several scenarios which allowed us to reference the critical flood overflow points and thereby determine the location of The proposed structure.

Therefore, the maximum estimated flow for an extraordinary event of a return period of 50 years is $3476,77 \text{ m}^3 / \text{s}$, the proposed infrastructure is a dike with its own material, wet face of castling and length of 3983 ml. Structure that is recommended to be installed to guarantee the protection of 337 ha of agriculture and to benefit 313 farmers.

Keywords: Maximum avenues, floods, riverine defense, simulation.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Situación problemática

Las máximas avenidas generan el incremento del caudal de los ríos y la activación de las quebradas como consecuencia de las lluvias torrenciales, son eventos extremos que ocasionan grandes daños y pérdidas económicas ya sea en zonas rurales y urbanas, siendo la agricultura el sector más afectado.

En Haití, la FAO viene desarrollando actividades que permita mejorar la ordenación de los recursos naturales del país, una de las actividades que está realizando con bastante énfasis es la repoblación forestal de las cuencas hidrográficas siendo esta las que constituyen una fuente importante de agua para los cultivos y una zona de amortiguación contra las inundaciones (FAO, 2018).

La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), con sede en Roma, una de las conclusiones que llegó tras analizar aquel evento en dicho periodo es que 140 desastres se registraron en 67 países, y que causaron daños a al menos 250 mil personas.

América Latina y el Caribe se registra una pérdida de US\$11 mil millones en términos de producción agrícola, siendo el caso por inundaciones con un 55% y en menor magnitud por sequías y tormentas.

En el PERÚ el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) informó que a la fecha se tiene 7035 hectáreas de cultivo perdido, mientras que las áreas afectadas son 15578 has, los departamentos con mayor número de hectáreas pérdidas son Ica (2874); Apurímac (1154); Cajamarca (1061); Loreto (335); Tumbes (250); Arequipa (243), entre otros. (COEN 2017 (COEN & INDECI, 2017).

En la región TUMBES las inundaciones es un riesgo recurrente, así lo demuestra las estadísticas y el mermado desarrollo de la agricultura en esta parte del país. Esta región está ubicada al norte de la costa peruana, una zona altamente golpeada por el fenómeno climático llamado “EL NIÑO OSCILACION SUR” (ENOS).

Según (SENAMHI, 2017), menciona que el año 1982-1983, periodo en el cual se produjo el fenómeno del Niño, fue catalogado como un “niño devastador”, ya que tuvo la caracterización de presentar fuerte pluviosidad en la región Norte, y además en la región Sur, presentó una intensa sequía.

Otro de los periodos que se caracterizó por la alta pluviosidad fue el fenómeno el Niño que se produjo en el año 1997-1998, teniendo sin embargo el efecto que causó fue menor al año 1982-1983 (SENAMHI, 2017).

La Región de Tumbes cada año es afectado 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 m³/s, que debido a la insuficiente capacidad de la sección 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 produce el incremento del tirante del río, las aguas desbordan la capacidad de contención de las márgenes produciendo así las inundaciones. (COEN, & INDECI, 2015), hace mención que, en los últimos años, los desbordes del río generaron considerables pérdidas en la agricultura de la región. En el año 2015 el área de cultivos afectada fue de 3152,95 hectáreas. Además, la Junta de Usuarios de Tumbes, estimó que las pérdidas por la inundación superarían los S/.12 millones y afectaron a 6500 productores (Sandoval, W, 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).

La zona de estudio está ubicada entre los sectores Agrícolas Santa María, Cabeza de Lagarto y Cruz Blanca distrito de Pampas de Hospital margen derecha del Río Tumbes, es una zona de alta vulnerabilidad por efecto de las atas crecientes, causando inundaciones de los cultivos (bananos) y erosiones en la ribera con pérdidas de área agrícola, trayendo consigo grandes problemas socioeconómicos para los agricultores ubicados en esta zona vulnerable, por lo tanto la presente investigación pretende determinar con que caudal máximo se produciría pérdidas y plantear el diseño hidráulico de defensas ribereñas que sean eficientes para estos tipo de eventos.

2.2 Formulación del problema

¿De qué forma el análisis de máximas avenidas permitirá el diseño eficiente de las defensas ribereñas en los sectores agrícolas de Santa María, Cabeza de Lagarto y Cruz Blanca - margen derecha del Río Tumbes?

2.3 Justificación

La presente investigación se realizó por la creciente problemática y hechos recientes de inundaciones en todas las regiones del país, y sobre todo porque afecta a la Agricultura un sector muy importante en la economía y suministro de alimentos del Perú. En la Región Tumbes, los sectores agrícolas (Santa María, Cabeza de Lagarto y Cruz Blanca) aledaños al cauce principal del río Tumbes; años tras año son impactados negativamente ya sea inundando estas tierras o erosionándolas, perjudicando a cientos de agricultores, pues la agricultura es el único sustento que ellos y sus familias tienen.

Este proyecto de investigación se realizó también para dar a conocer la realidad que cada año aqueja el sector de agricultura en el valle del río Tumbes, puntualmente en los sectores de estudio identificando así los tramos críticos donde el río produce erosión e inundación, afectando también las áreas agrícolas, es por ello, que hacemos énfasis en la necesidad de ejecutar obras que ayuden a mitigar estos problemas que anualmente y con más frecuencia golpean a nuestra región de Tumbes. Por lo tanto, este proyecto de investigación nos permitió identificar los tramos donde existe mayor problema de erosión, para que así nuestras autoridades correspondientes tanto a nivel local, regional y nacional gestionen y ejecuten proyectos de prevención y protección, como la construcción de defensas ribereñas para el control de pérdidas de suelo por erosión y mitigar las posibles inundaciones, evitando así los gastos que producirían en las fases de reconstrucción y rehabilitación.

El presente proyecto de investigación beneficia a cientos de agricultores y sus familias, pues permite determinar los tramos o zonas críticas de desborde del río, salvaguardando los bienes de ellos mismo, ya sea infraestructura existente, como también sus áreas agrícolas, además nos permitió realizar la modelación Hidráulica del tramo en estudio siendo de gran utilidad para identificar así los puntos críticos donde posteriormente se plantea la obras de protección que consiste en un dique, para mitigar los efectos negativo de las máximas avenidas en el valle del río Tumbes.

2.4 Hipótesis general

El análisis de máximas avenidas del río Tumbes permite determinar el caudal máximo, para el diseño de defensas ribereñas entre el tramo de Sta. María- Cruz Blanca del valle del río Tumbes.

2.5 Variables

2.5.1 Variable Independiente

La avenida máxima de diseño

2.5.2 Variable dependiente

Planteamiento Hidráulico del diseño de la defensa.

2.6 Objetivos.

1.1.1 Objetivo general.

- Realizar el análisis de máximas avenidas del río Tumbes para el diseño de defensa ribereña en los sectores agrícolas en estudio.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Analizar el registro de caudales máximos instantáneos del río Tumbes de los últimos 55 años.
- Determinar la avenida máxima de diseño aplicando diferentes modelos estadísticos
- Diseñar hidráulicamente la defensa ribereña para el tramo en estudio.
- Analizar la hidrodinámica del río Tumbes en una máxima avenida con la estructura propuesta, mediante la simulación bidimensional con el software Hec - Ras

II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

2.1 Antecedentes

En 2011, según el plan de gestión de los recursos hídricos de la cuenca del río Tumbes se concluyó que las zonas más bajas de las cuencas se encuentran los riesgos más altos, se mencionan los casos por ejemplo en la desembocadura del río Tumbes y en especial tienen un alto riesgo las poblaciones ribereñas de Garbanzal, San Juan de la Virgen, Cerro Blanco, Pampas de Hospital y la propia ciudad de Tumbes.

En 2015, según el PGRHT, los principales riesgos considerados en el ámbito que tienen incidencia en la gestión son el fenómeno de El Niño y los desbordes ante venidas extraordinarias que incrementan los volúmenes de erosión, arrastre e inundaciones. La población asentada es de más de 200 mil habitantes, siendo sus principales actividades: el transporte, las comunicaciones, el comercio, el servicio, el turismo y la agricultura, (esta última siendo la más significativa desde el punto de vista de generación de empleo).

La ocupación indebida de los cauces ya sea por vivienda o cultivos hace que los riesgos se vean incrementados, esto hace que los daños que ocurren sean de una y otra forma más considerable, ocasionando mayores pérdidas.

(INDECI, 2017), en su boletín estadístico virtual de la gestión recreativa, hace mención acerca de los eventos extraordinarios que se han venido presentando al largo de los años en el Perú y nos menciona que en 43 ocasiones se ha presentado el fenómeno el niño, de los cuales 7 han sido de carácter extraordinario.

Según la publicación realizada por el ingeniero Arturo Rocha Felices titulada “fenómeno El Niño en el Perú en 1578 y el pago de impuestos”, menciona que el primer mega Niño ocurrió en el año de 1578, siendo los departamentos de Lambayeque, la libertad y Piura los más afectados; así mismo existen otras investigaciones en donde se menciona la ocurrencia de 5 mega niños o niños extraordinarios que ocurrieron en el Perú, antes de los ocurridos en los años 1982-83 y 1997-98 (ROCHA FELICES).

Además, (INDECI, 2017) nos menciona, que después de 20 años de la presencia del último fenómeno el Niño de carácter extraordinario, nuevamente en el Perú se presentó el niño costero, con intensas precipitaciones que se inició en la cuarta semana

del mes de diciembre de 2016 y se prolongó hasta el 31 de mayo de 2017, ocasionando huacos, inundaciones, deslizamientos, derrumbes, afectando así a todos los sectores económicos del Perú en la región costa.

Ante éste suceso del fenómeno el niño costero, los sectores económicos más afectados fueron el sector transportes y agricultura siendo este último el más vulnerado, porque miles de agricultores perdieron sus cultivos y se vio afectado el suministro de alimentos al mercado nacional e internacional.

(Elizalde, K., & Escobar, F. , 2017) presentan su tesis “Control de las inundaciones en el valle del río Tumbes mediante la habilitación de un cauce de alivio - simulación hidráulica” donde construyen un modelo Hidrodinámico Bidimensional, en el cual emplean mallas flexibles con el Software MIKE 21 Flow Model FM, llegan a la conclusión de que el modelo construido logra identificar las zonas de desborde y las inundaciones en el valle del río Tumbes.

(NIQUEN Y NIQUEN, 2018), presenta su estudio “metodología para la estimación y mitigación de la erosión marginal de la margen izquierda y derecha del río Tumbes – aguas abajo del puente francos al sector san Jacinto” donde en uno de sus resultados menciona que en la sección 0+100 del estudio, parte un caudal de 914 m³/s, muestran velocidades de 1,83m³/s y con tirantes de 4,50 m. asimismo observa que a lo largo del cauce, las velocidades máximas tienden a concentrarse en la parte externa de la curva (margen externa), alcanzando valores hasta de 2,89 m/s, siendo un resultado justificable para el planteamiento de construcción de defensas hidráulicas como enrocados, gaviones y batería de espigones.

(HUAMAN, D, 2018) en su tesis de Hidrometría de alta precisión durante los eventos hidrológicos externos en el norte del Perú: Caso de los ríos binacionales Puyango – Tumbes y Zarumilla, en sus resultados menciona que al extrapolar las curvas de gasto del Molinete y del ADCP hasta un nivel de mira de 5,68 metros (máximo nivel de mira registrado durante el año 2017), se observa que la diferencia entre los caudales que pueden estimar las curvas de gasto es de aproximadamente 600 m³/s, lo cual representa un diferencia de caudal de 25 % entre el Molinete y el ADCP, y esta diferencia se incrementaría a medida que aumente los niveles de mira (máximas avenidas), además hace mención que para un tirante de 4,00 m en el área de la sección el tigre pasa un caudal de 939,176 m³/s con una velocidad promedio de 1,75 m/s.

2.2 Bases teóricas Científicas

Hidrología

“Es una ciencia que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación en la tierra. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares” (Ordoñez J, 2011).

Cuenca Hidrográfica

“Se define como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una línea divisoria (Divortium Aquarum), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal” (Vásquez, A., 2016).

Río

Frijlink, citado por (Rocha, A, 1998), en su libro “Introducción a la Hidráulica Fluvial”, nos define “un río como un sistema de canales naturales (cursos de agua) por medio de los cuales se descarga el agua de la cuenca”

Hidráulica Fluvial

Es parte de la ingeniería que se encarga de estudiar la dinámica fluvial, el flujo de agua de los ríos y además la acción de las fuerzas ejercidas sobre los materiales que se encuentra en el cauce del río.

Máximas Avenidas

Linsley, citado por (Mochica, E, 2014), en su tesis de “análisis de máximas avenidas con fines de diseño de defensa del río chichanaco de la ciudad de sandía” expresa que se entiende como máxima avenida a un caudal muy grande de escorrentía superficial que sobrepasa la capacidad de transporte del cauce ocasionando la inundación de tierras aledañas.

Mamani y Vera citado por (Mochica, E, 2014), en su tesis de “análisis de máximas avenidas con fines de diseño de defensa del río chichanaco de la ciudad de Sandía” nos dice que, un estudio de máximas avenidas se realiza para conocer con cierto nivel de confianza, la magnitud de la descarga en un determinado punto del cauce, esta descarga servirá a los ingenieros para que puedan realizar un adecuado diseño de estructuras hidráulicas (presas, bocatomas, alcantarillas, puentes, defensas ribereñas, etc.).

Es muy importante conocer la magnitud del caudal máximo en una avenida, ya que nos permitirá tomar las acciones correspondientes para reducir los efectos que estas produzcan, siendo la construcción de defensas ribereñas una de las medidas más óptimas para controlar los efectos de erosión e inundación en áreas de cultivos, además de proteger las unidades de producción de los pobladores.

Periodo de retorno

(Villon, 2002), Mencionó: “Al periodo de retorno como el intervalo de tiempo, dentro del cual un evento de magnitud Q puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio”.

Cuadro N.º 01 Periodo de retorno de diseño recomendado para estructuras menores

Tipo de estructura	Periodo de retorno (años)
Puente sobre carretera importante	50 – 100
Puente, alcantarillas sobre carretera menos importante	25
Alcantarillas sobre camino secundario	5 – 10
Drenaje latera l de los pavimentos.	1 – 2
Drenaje urbano	2 – 10
Drenaje agrícola	5 – 10
Muros de encauzamiento	2 –50
Puente sobre carretera importante	50 – 100

Fuente: Villón Béjar Máximo: Hidrología. Instituto Hidrológico de Costa Rica, Costa Rica – 2002.

Periodo de retorno (T), se define como el tiempo promedio (en años), en que cualquier evento es igualado o superado en promedio por lo menos una vez cada “T” años, pudiendo ser en el caso de las variables como temperatura, precipitaciones, caudales, etc. Considerando que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2011).

Modelos de Distribución

“El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes periodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser continuo o discretos” (Mamani, H, 2014).

Según (Canllahui, D., 2013) en su investigación de “Análisis Comparativo de Métodos de Estimación de Avenidas de Diseño del Río Verde-Cabanilla-Puno” menciona que:

En estadística existen diversas funciones de distribución, para determinar los caudales máximos de diseño en una cuenca, de las cuales tenemos:

- Distribución Gumbel valor extremo o doble exponencial.
- Distribución Normal
- Distribución Gamma 3 parámetros
- Distribución Pearson tipo III
- Entre otras.

Modelación Hidráulica

Según (Cea et al. 2014), con la resolución por métodos numéricos de unas ecuaciones obtenidas con una serie de hipótesis, se puede modelar matemáticamente el flujo de un río y predecir los valores de las variables hidráulicas, tales como el calado, la velocidad del flujo, el caudal, et.

Hoy en día encontramos, una gran variedad de Software destinados a la simulación o modelamiento hidráulico, estos pueden ser comerciales o también se puede obtener de una forma libre tanto en 1D y 2D.

Los modelos toman, principalmente, datos geográficos que brindan la descripción física del área y datos de flujo que proporcionan información sobre descargas o caudales (Moya et all, 2016).

“La modelación hidráulica es un proceso que utiliza un programa informático para reproducir o representar fenómenos hidráulicos mediante un modelo numérico” (Elizalde, K., & Escobar, F. , 2017)

Erasmus Battikk, y Castillo (2015), citado por (Elizalde, K., & Escobar, F. , 2017), en su tesis “Control de las inundaciones en el valle del río Tumbes mediante la habilitación de un cauce de alivio – Simulación Hidráulica” describe los modelos hidráulicos en las siguientes categorías:

- **Modelo Unidimensional.**

Los modelos unidimensionales de simulación de régimen variable se basan en la resolución de las ecuaciones completas de Saint-Venant en una dimensión. Estas son ecuaciones diferenciales parciales de continuidad y movimiento, bajo ciertas condiciones de fronteras, son denominadas ecuaciones de flujo no permanente unidimensionales para canales abiertos (Yzocupe, V., 2006).

- **Modelo Bidimensional**

En 2D el río no se discretiza como una línea con una serie de secciones transversales, sino como una malla formada por una serie de celdas poligonales que representan la topografía del cauce y llanuras de inundación. Dicha malla puede ser regular o irregular, estructurada o no estructurada. La mayor flexibilidad para una buena representación de la geometría y contorno se suele conseguir con una malla irregular, dentro de los métodos utilizados para resolver ecuaciones de Saint Venant en dos dimensiones se tiene los métodos en elementos finitos y, además, se ha utilizado la técnica de discretización en volúmenes finitos (Cuervo, A., 2012).

Modelo de simulación HEC-RAS.

(Villon, M, 2016) en su libro de ejemplo Hec-Ras segunda edición menciona que el Hec -Ras, “es una aplicación que permite la modelación Hidráulica en régimen permanente y no permanente, transporte de sedimentos y análisis de calidad de agua en cauces abiertos, ríos y canales artificiales”. Por otro lado, con HEC-RAS se facilita el cálculo de los perfiles del agua y de los parámetros Hidráulicos del cauce. El programa además permite desarrollar el cálculo, de los niveles de la superficie del agua de un flujo gradualmente variado. El sistema que se modela puede ser un solo río o una red de ríos. el componente del estudio del flujo, puede hacer el estudio de régimen subcrítico, supercrítico o la mezcla de los dos.

Importancia

(Villon, M, 2016) además, en el mismo libro nos menciona La importancia del HEC-RAS en la modelación Hidráulica, y nos dice lo siguiente:

- Predicción de áreas de inundación y mitigación del mismo en un río o sistema de ríos para diferentes periodos de retorno.
- Determinación de las variables hidráulicas para el diseño de estructuras hidráulicas en los ríos como, puentes, alcantarillas, cunetas, defensas ribereñas, etc.
- Delimitación de fajas marginales de los ríos.
- Determinación de la altura óptima en el diseño de una carretera, que puede ser afectada por el caudal del río.

(Villon, M, 2016) también nos menciona algunas aplicaciones útiles y complementarias al programa y nos dice:

Para trabajar con Hec-Ras existe la aplicación Hec-GeoRas, que trabaja en entorno GIS (ArcInfo, ArcView o ArcGIS). A partir de un modelo digital del terreno puede crearse un archivo para exportar a Hec-Ras, la información geométrica necesaria para llevar a cabo una simulación (cauce, secciones, etc.). de la misma forma, después de haber realizado una simulación con Hec-Ras.

HEC-RAS VERSIÓN 5.0.3

Mayta, C., & Mamani, E., (2018), en su tesis “Modelación Hidráulica de la defensa de calana con el fin de determinar la vulnerabilidad ante máximas avenidas” menciona algunas capacidades que tiene la última versión de Hec-Ras 5.0.3, las cuales son:

- Modelamiento de flujo inestable en 1D y 2D.
- Empleo de Ecuaciones de Saint-Venant y Onda Difusa en 2D.
- Esquema Numérico empleado: Volumen finitos implícitos
- Algoritmo de solución para el acoplamiento de modelos 1D y 2D
- Mallas computacionales estructuradas y no estructuradas.
- Tabla detallada de propiedades Hidráulicas para celdas y contornos de celdas 2D.

“La simulación numérica Bidimensional (2D) es una importante herramienta para simular y analizar inundaciones. El modelo HEC-RAS, es uno de los más populares modelos Hidráulicos” (Moya, 2016).

Datos básicos requeridos en HEC-RAS

(Mamani, H, 2014), en su tesis “Modelamiento de máximas avenidas que generan riesgo de inundación en la ciudad de Ayaviri - puno” hace mención algunos datos importantes y básicos que requiere el programa y estos son los siguientes: el tipo de régimen de flujo, la elevación inicial, caudal, los coeficientes de pérdida, las características geométricas de la sección transversal y la longitud del trecho. Adicionalmente, el Hec-Ras tiene capacidades para determinar áreas de inundación y aliviaderos de crecidas, determina pérdidas de energía, pérdidas por fricción, cálculo de tirante crítico, solución directa del coeficiente de Manning, insertar automáticamente secciones transversales generadas por el programa especificar áreas de flujo no efectivas, y opciones de flujo efectivo que pueden simular el depósito de sedimentos, ubicar terraplenes y plataformas de puentes.

Inundaciones

Según (Leopold, Luna, B., Wolman, M., & Miller, J. P., 2012) “las inundaciones son un evento natural y recurrente para un río. Estadísticamente, los ríos igualarán o excederán la crecida media anual, cada 2,33 años”.

Actividades y medidas de Mitigación

Es muy importante ejecutar ciertas actividades que permitan la reducción de los daños que producen las máximas avenidas, por ello se deben ejecutar obras de protección permanente contra los efectos de un desastre natural, una de las medidas estructurales que se puede emplear son las defensas ribereñas en las riberas de los ríos. También existe medidas no estructurales, como lo es un buen ordenamiento territorial, concientizar a la población para un uso adecuado de tierras, entre otras, una de las principales actividades y medidas que se puede mencionar, son las siguientes:

Medidas estructurales

“Son aquellas medidas que controlan la erosión producto de la escorrentía superficial, también consisten en estructuras diseñadas sobre la base de los principios de la ingeniería. En el aspecto de diseño se toma en cuenta la hidrología e hidráulica fluvial”,(Vásquez, A., 2016).

Según (Vásquez, A., 2016), en su libro de “Manejo y Gestión de Cuencas” describe las estructuras más utilizadas para la prevención y control de la pérdida de suelos por efecto de la erosión hídrica en las riberas de los ríos, y no dice que son las siguientes:

a. 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 presentan flujos de agua que actúan con gran poder erosivo.

Estas estructuras pueden ser construidas en forma de enrocado con roca al volteo y enrocado, con roca colocada.

Además, estas estructuras disminuyen y contienen la energía hidráulica del río, garantizando la contención del agua evitando así desbordes del río que puedan afectar cultivos agrícolas, infraestructuras - equipos de riego y centros poblados.

La ventaja con otro tipo de infraestructura de defensas ribereñas es que son medidas estructurales permanentes, utiliza en su conformación material propio y su corona se puede utilizar como vía transitable, vigilancia y control de la propia infraestructura.

“En algunos proyectos un sistema de protección con espigones frente a una defensa continua (diques) tienen la desventaja de disminuir el área hidráulica del cauce” (Rocha Felices, 1998).

b. Muro de Gaviones.

Son estructuras flexibles construidas por una red de malla hexagonal tejida a doble torsión. El alambre galvanizado tiene un recubrimiento plastificado que debe garantizar una vida útil adecuada del alambre.

c. Espigones o deflectores

Los espigones son estructuras interpuestas a la corriente, uno de cuyos extremos está unido a la margen.

Riesgo

“Riesgo, es la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o tecnológico” (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2006).

Peligro

“Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente dañino, de una gran magnitud dada, en una zona o localidad conocida, pudiendo afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente”, (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2006).

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad, es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político institucional, entre otros), pueda sufrir daños humanos y materiales, (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2006).

2.3 Definición de términos Básicos

- **Avenida**

“Se entiende por avenida a un caudal muy grande de escorrentía superficial que sobre pasa la capacidad de transporte del cauce generando la inundación de tierras aledañas” (Vásquez, A., 2016).

- **Borde libre**

“Se define como la altura adicional que se da a fin de absorber los niveles extraordinarios que pueden presentarse por encima del caudal de diseño en un canal o cauce abierto”

- **Calado Normal**

“Es el tirante con el cual se presentará el escurrimiento uniforme en un conducto a cielo abierto, para que el flujo permanezca uniforme es necesario tener una pendiente.” (Chanson, H, 2002)

“Cuando en una corriente el tirante está determinado exclusivamente por el gasto, pendiente, rugosidad y geometría de la sección de dice que hay condiciones normales, el tirante se denomina normal” (Rocha, A., 2016)

- **Calado critico**

“ Calado en un cauce abierto en condiciones de régimen crítico” (WMO & UNESCO, 2012)

- **Coefficiente de rugosidad**

“Coeficiente que caracteriza la rugosidad de un cauce o tubería y que se utiliza para calcular la resistencia al flujo en el cauce o tubería.” (WMO & UNESCO, 2012)

- **Condiciones de contorno**

“Conjunto de condiciones que debe satisfacer la solución de una ecuación diferencial en los límites de la región en la que se busca dicha solución” (WMO & UNESCO, 2012).

- **Condiciones Iniciales**

“Descripción de los valores de cada variable en el tiempo inicial en cada uno de los puntos en un modelo transitorio” (WMO & UNESCO, 2012).

- **Dique lateral**

“Obra construida para retener el flujo de agua de un río dentro de un tramo determinado de su cauce o para prevenir inundaciones debidas a mareas u ondas” (WMO & UNESCO, 2012)

- **Discretización**

“División del dominio espacial de un modelo en una malla regular o irregular en una, dos o tres dimensiones” (WMO & UNESCO, 2012)

- **Erosión**

“Desgaste y transporte de suelos y rocas por el paso de corrientes de agua, glaciares, vientos y olas”

- **Fajas marginales.**

“Áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua, naturales o artificiales” (AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA).

- **Hidráulica Fluvial.**

“Rama de la hidráulica que estudia el flujo de aguas en ríos y la acción de las fuerzas ejercidas sobre los materiales del lecho” (WMO & UNESCO, 2012)

- **Hidrograma.**

“Grafico que muestra la variación temporal de variables hidrológicas tales como nivel de agua, el caudal, la velocidad y la carga de sedimentos” (WMO & UNESCO, 2012)

- **Inundación.**

“Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua” (WMO & UNESCO, 2012)

- **Llanura de inundación**

“Terreno adyacente a una corriente de agua que se inunda solo cuando el caudal es mayor que la capacidad máxima del cauce” (WMO & UNESCO, 2012)

- **Malla**

Representa la forma de discretización del dominio del modelo, que puede ser regular o irregular, estructurada o no estructurada. La malla debe adaptarse al terreno lo mejor posible, pero su construcción suele ser un compromiso entre precisión y un número razonable de elementos, (Elizalde, K., & Escobar, F. , 2017).

- **Margen**

“Sobreelevación del terreno que bordea un río, generalmente para contener el agua dentro del perímetro mojado del cauce” (WMO & UNESCO, 2012).

- **Método de elementos finitos**

“Método numérico para resolver ecuaciones en derivadas parciales en una malla. La incógnita de la ecuación se aproxima mediante determinadas funciones continuas en cada uno de los elementos de la malla”

- **Período de Retorno.**

Es aquel intervalo de tiempo en que se estima que volverá a ocurrir un evento extraordinario, en la hidráulica fluvial se utiliza estos términos para denominar a una avenida máxima con un caudal máximo que probablemente sucederá en un periodo de tiempo.

- **Socavación de cauce.**

“Acción erosiva del agua en un curso de agua que da lugar a la excavación y al transporte de material del lecho y de las márgenes” (WMO & UNESCO, 2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de la zona en proyecto

3.1.1 Ubicación política

La zona de estudio se encuentra en el Distrito de Pampas de Hospital, en la provincia y departamento de Tumbes - Perú. A 18,6 km de la ciudad de Tumbes, por la vía TU-104, carretera Asfaltada, además existen trochas, que van a los diferentes sectores.

El distrito de Pampas de hospital cuenta con 19 centros poblados, de los cuales 6 son aledaños al río Tumbes, siendo los sectores agrícolas en estudio, pertenecientes a los caseríos de Santa María, Cabeza de Lagarto y Cruz Blanca, que se encuentran ubicadas aguas abajo del puente Francos, margen derecha del río Tumbes.

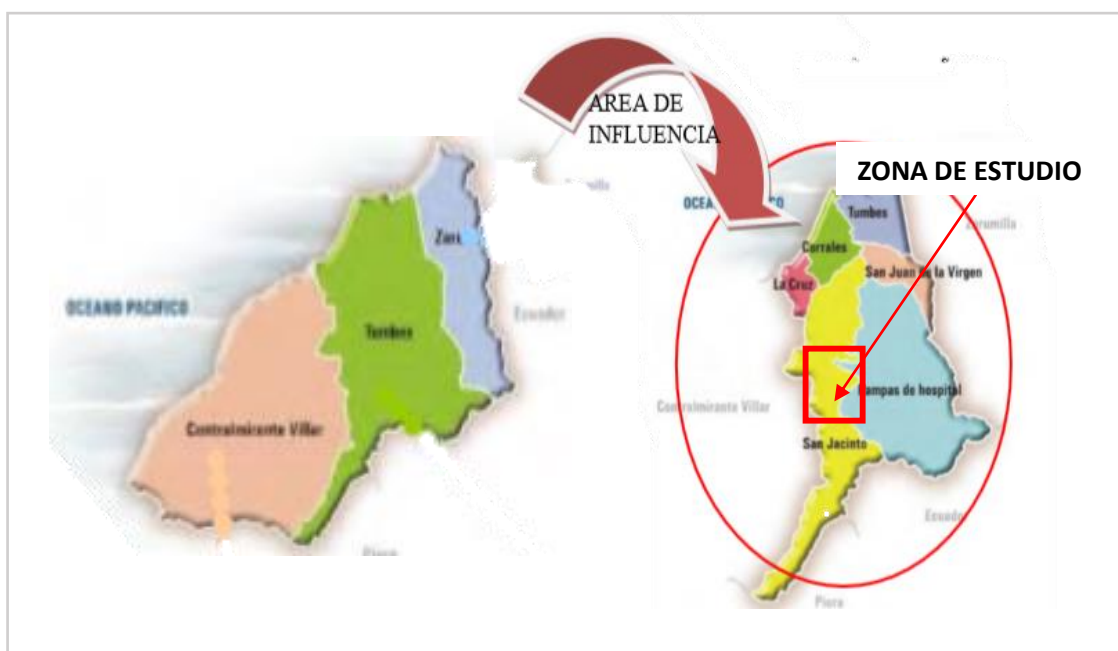


Figura 1.- Ubicación política del área de estudio

3.1.2 Ubicación geográfica

La zona de estudio comprende la margen derecha del río Tumbes aguas abajo del puente de Francos a la altura de la Bocatoma la Peña, precisando se toman las coordenadas de Inicio y de fin del tramo en estudio, siendo las siguientes:

Coordenada UTM WGS 84-17S

Inicio : 560981 m, Este / 9592770 m, Norte ALTITUD : 15 msnm

Fin : 563214 m, Este / 9595183 m, Norte



Figura 2.- Imagen satelital del tramo de estudio

3.1.3 Sistema hidrográfico del río Tumbes

3.1.3.1 Descripción General de la cuenca

El río Puyango – Tumbes tiene una superficie total de 4850 km², de los cuales 1806 km² pertenecen al Perú. Nace a una altitud de 3500 msnm, en los páramos de Chilla y Cerro Negro, en Ecuador. A partir de su confluencia con el río Yaguachi, cambia de nombre a río Puyango. El río Puyango recibe, 100 km más adelante, a la quebrada Cazaderos para formar el río Tumbes, (PROYECTO DE MODERNIZACION DE LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS, 2015).

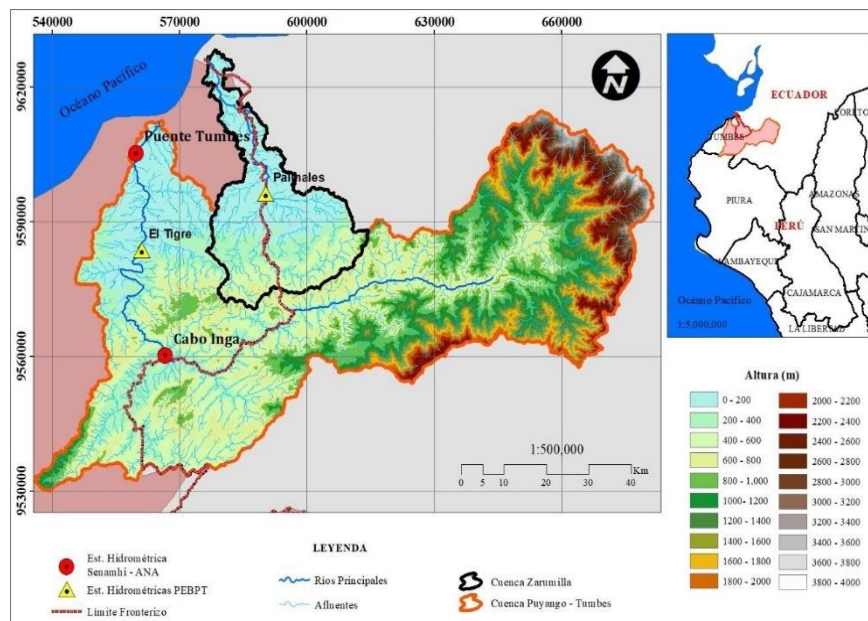


Figura 3.- Cuenca del río Puyango Tumbes

3.1.3.2 Hidrología del río Tumbes

La información Hidrométrica del río Tumbes en el sector peruano, en la actualidad se registran en la estación el Tigre, la misma que viene operando desde 1963; existe interrupción de los registros para los años 1996 y parte de 1997, adicionalmente se instaló una estación hidrológica en el sector de cabo Inga próximo a la confluencia del río Tumbes con la Quebrada Cazaderos, sector donde el río ingresa a territorio peruano; sin embargo, la ocurrencia del Fenómeno El Niño de 1983 la destruyó, obligando a su reconstrucción. (Autoridad Nacional del Agua, 2014).

La longitud total del cauce principal es de 230 km, aproximadamente, desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. De estos, 94 km discurren en su totalidad por territorio peruano, 44 km conforman la frontera entre Ecuador y Perú (desde Linda Chara hasta Cazaderos) y el resto discurre por Ecuador. Su extensión media de escurrimiento es de 0,14 km y su densidad de drenaje es de 1,81km/km² (PLAN DE GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA TUMBES, 2015).

La pendiente promedio del río a lo largo de toda la cuenca es de 1,5%; sin embargo, en los últimos 40 km de recorrido es del 0,5%, formándola llanura del río Tumbes, zona que por sus características es frecuentemente inundada (PLAN DE GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA TUMBES)

“El río Tumbes tiene un régimen permanente de agua, con caudales medios mensuales que fluctúan entre 1244 m³/s a 7,7 m³/s, con una media de 116,3 m³/s, teniendo en cuenta los registros de la estación hidrométrica de El Tigre, que corresponden al periodo 1965 – 2004” (PLAN DE GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA TUMBES, 2015)

“Con frecuencia e intensidad variable, se presenta el fenómeno de El Niño, provocando precipitaciones extraordinarias que se acentuaron en algunos años, como en los años 1983 y 1998” (PROYECTO DE MODERNIZACION DE LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS, 2015).

3.1.4 Climatología

3.1.4.1 Precipitación

“La precipitación en la cuenca principalmente ocurre en los meses de enero a marzo, concentrándose en este periodo el 85% a 90% de la precipitación total anual” (INGEMMET,, 2006).

Las precipitaciones totales anuales en la cuenca presentan valores promedio de 300 mm en la parte baja, a 1150 mm en la parte media en el sector peruano, llegando hasta 2600 mm, en las zonas altas montañosas del sector ecuatoriano.

Las precipitaciones en la cuenca, siempre se presentan bajas en la parte peruana(cuenca baja) y altas en el lado ecuatoriano (parte media y alta de la cuenca(INGEMMET,, 2006).

3.1.4.2 Temperatura

La temperatura media anual en la parte peruana, basándose en el análisis de los registros de 6 estaciones (Cabo Inga, Cañaverl, El Caucho, Los Cedros, Puerto Pizarro y Rica Playa), es de 24,85 °C y en la parte ecuatoriana, con datos de 3 estaciones (El Salado, Puente Puyango, Zaruma), es de 24,16 °C (INGEMMET,, 2006).

Tabla1. - Temperatura promedio anual, cuenca Puyango - Tumbes

País	Estación	T° Promedio Media Anual (°C)	Periodos analizados
Ecuador	El Salado	25,5	1983-1999
	Puente Puyango	25,2	1983-1998
	Zaruma	21,8	1964-1998
	Cabo Inga	24,6	1993-2000
	Cañaverl	25,7	1975-1979 1992-2001
Perú	El Caucho	23,1	1993-1996
	Los Cedros	24,4	1959-1979 1992-2001
	Puerto Pizarro	25,2	1964-2001
	Rica Playa	26,1	1964-2001

Fuente: INGEMMET-Estudio Geoambiental de la cuenca del Rio Puyango Tumbes/datos proporcionados por PEBPT

“Los meses donde se presentan incrementos de temperatura son diciembre, enero, febrero, marzo y parte de abril, los meses restantes muestran un ligero decrecimiento, la temperatura mínima llega a 21.8 °C” (INGEMMET,, 2006).

3.2 Tipo y diseño de la investigación

3.2.1 De acuerdo al fin que se persigue

De acuerdo al fin que se persigue esta investigación es de tipo Aplicativa, ya que determinando las máximas avenidas va a permitir aplicar cierto resultado con el fin del diseño de la infraestructura para controlar las pérdidas de suelo por erosión y las posibles inundaciones.

3.2.2 De acuerdo al enfoque de investigación

Este estudio de acuerdo al enfoque, corresponde al tipo cuantitativo – descriptivo – explicativo, debido a que se describen e identifican las variables, además se explica su manera de generarse.

3.3 Materiales

Información:

- ✓ Modelo digital de elevaciones (DEM), de topografía LIDAR obtenidas de la secretaria Técnica del consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Tumbes.
- ✓ Registros de caudales de máximas avenidas de la estación hidrológica El tigre de los años 1980 – 2019.
- ✓ Inventario de defensas ribereñas existentes en el tramo de estudio.
- ✓ Estudio de Suelos obtenidos por el (GOBIERNO REGIONAL DE TUMBES, 2012)

Software

- ✓ ArcGIS 10.5
- ✓ AutoCAD Civil 3D 2018
- ✓ Microsoft Excel 2019
- ✓ Hidroesta 2
- ✓ Hec - Ras 5.0.3

Para la construcción del modelo hidrodinámico 2D se usa Hec – Ras 5.0.3 empleando además su nuevo icono de Ras Mapper donde inicia el proceso de modelización en 2D, es un software de uso comercial.

3.4 Equipos

- ✓ Laptop Toshiba. Procesador Intel Core i5, CPU 2.60 GHz, 6Gb de RAM

3.5 Procesamiento y análisis de datos

3.5.1 Información Topográfica

El levantamiento topográfico es base para cualquier proyecto de ingeniería, para este caso es importante porque nos permite determinar las características geométricas del cauce y de la zonas o llanuras de inundación.

Se Utilizó el modelo digital de Elevación con una resolución de 2x2m proveniente de topografía LIDAR, esto para obtener resultados a mayor detalle.

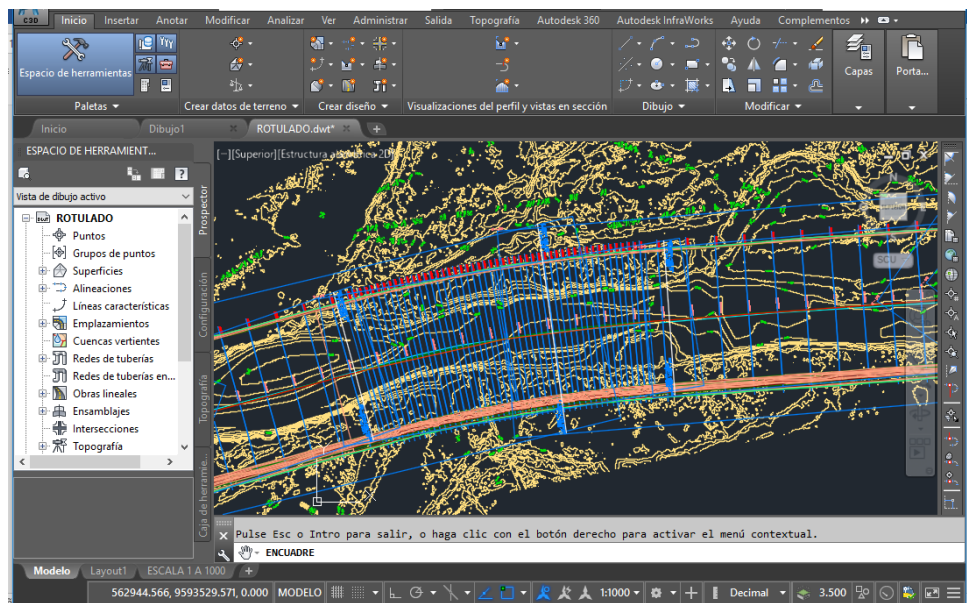


Figura 4.- Procesamiento de la Topografía en el AutoCAD Civil 3D

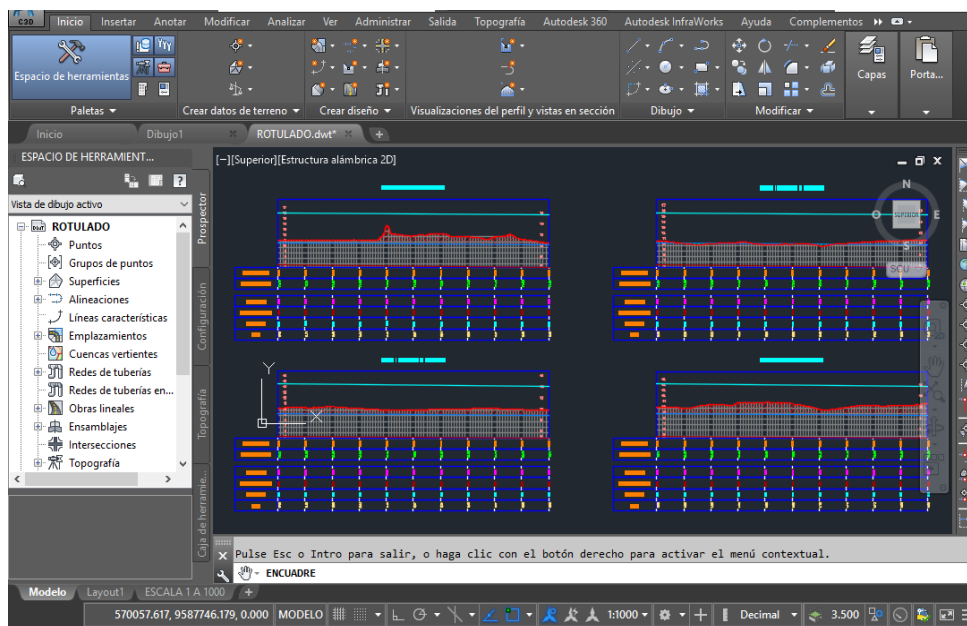


Figura 5. - Perfil del Rio en tramo de Estudio cada 500 metros

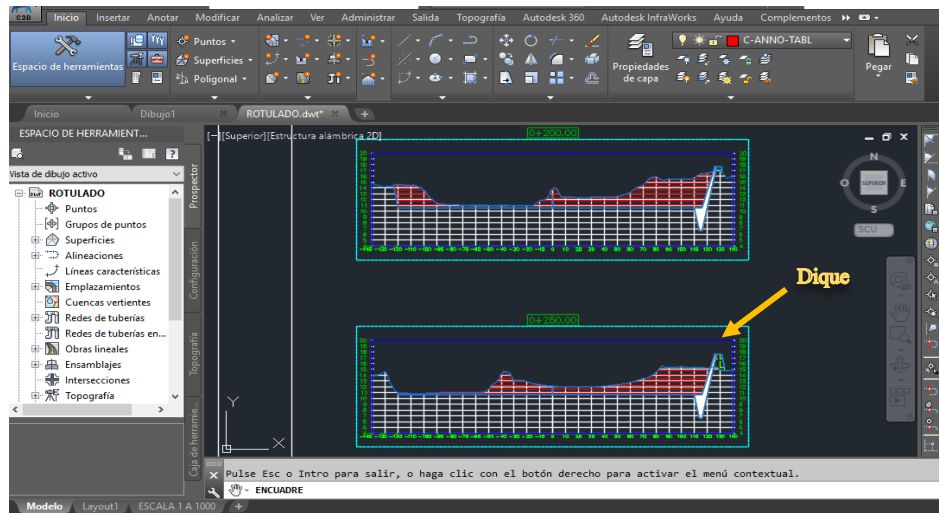


Figura 6. - Secciones del tramo en estudio - ubicación del dique

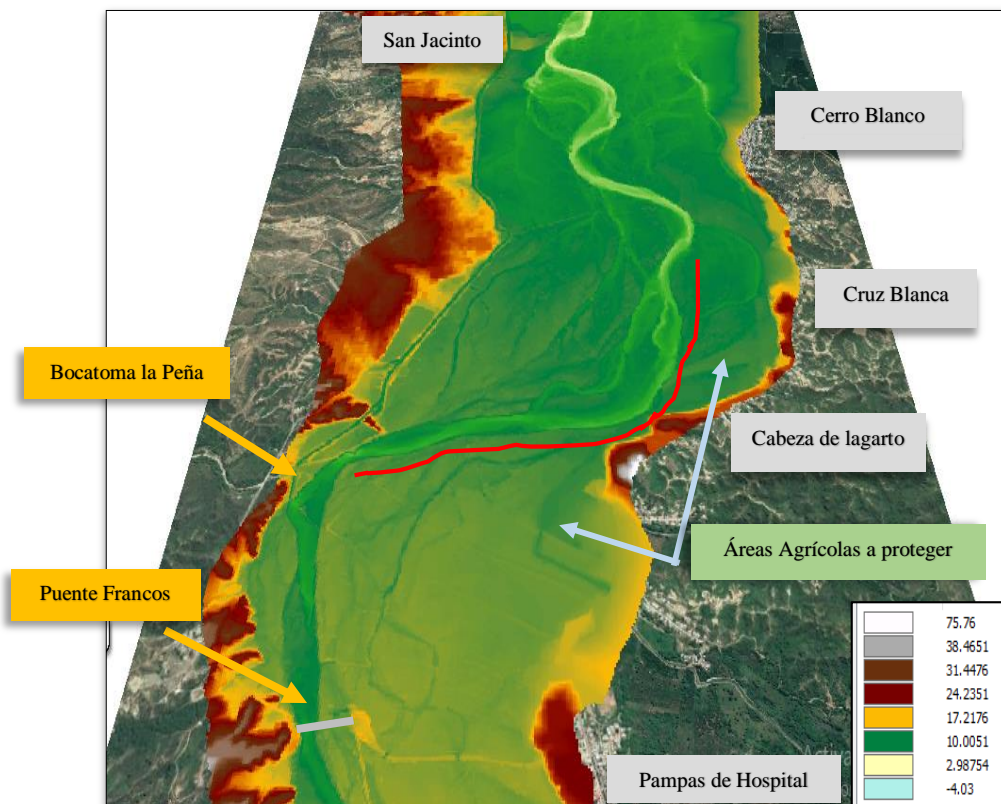


Figura 7.- Vista 3D topografía del área en estudio, modelo digital de elevación (DEM)

3.5.2 Reconocimiento de Campo e Identificación de Punto crítico

Se hizo visitas a campo para conocer el área de influencia que tiene dicha investigación, además entrevistas a los agricultores de la zona para conocer la problemática que los aquejan en épocas de máximas avenidas, y también se identificó los puntos críticos de erosión, se identificó el tipo de cultivos que predomina, además de la cantidad de áreas agrícolas que son vulnerables ante el aumento de los caudales del río Tumbes en épocas lluviosas.

3.5.3 Análisis de máximas avenidas del Rio Tumbes – estación El Tigre

3.5.3.1 Análisis de consistencia de la Data Histórica 1965 – 2019

El análisis de consistencia a la data, permite identificar los errores sistemáticos, además a la detección, descripción y remoción de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica.

Antes de utilizar la serie de los datos históricos de caudales máximos, es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo, a fin de obtener datos confiables, de dentro del ámbito y tramo de estudio del Rio Tumbes, dicho análisis se realizó mediante los siguientes procesos:

a. Análisis Grafico

Consiste en realizar un análisis de forma visual, la distribución temporal de toda la información disponible, para identificar la regularidad o irregularidad de los mismos.

En este proceso, los datos de descargas máximas instantáneas, se plotean en coordenadas cartesianas, ubicando en el eje de las ordenas los valores de la serie y en las abscisas el tiempo, para este caso sería en años.

b. Análisis estadísticos

Una vez construido los gráficos para el análisis visual, se procede al análisis estadístico de saltos tanto a la media como a la desviación estándar.

Una vez realizado el análisis de consistencia tanto para la media y la desviación estándar se procede a realizar el análisis de tendencia de los datos Históricos de la estación.

c. Prueba de Bondad de Ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base en los valores muestrales.

Para el análisis de máximas avenidas a diferencia del **chi cuadrado**, la prueba de **Smirnov – Kolmogorov** tiene ventaja, debido a que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos.

Para realizar la prueba de bondad de ajuste, se ha utilizado la siguiente:

Prueba de Smirnov – Kolmogorov

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia “ Δ ” entre la función de distribución teórica $F_0(x)$ y la distribución empírica $F(x)$, con un valor crítico “ d ” que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionada. (Aparicio Mijares, 1989).

$$\Delta = \text{máx}|F_0(x) - F(x)|$$

$$F(x) = \frac{m}{n + 1}$$

Donde:

Δ : Estadístico de Smirnov – Kolmogorov

m : número de orden

n : número total de datos

La tabla 2 muestra los valores críticos “ d ” para la prueba de Smirnov-Kolmogorov en función del tamaño de la muestra y la probabilidad de excedencia.

Tabla2 . – Valores críticos “ d ”

Tamaño de la muestra	Nivel de Significancia			
	$\alpha=0,20$	$\alpha =0,10$	$\alpha =0,05$	$\alpha =0,01$
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
55	0,14	0,16	0,18	0,22
n grande	$1,07/\sqrt{n}$	$1,22/\sqrt{n}$	$1,36/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$

Fuente: (Cáceres Callo, K. A., & Ataucuri Enriquez, R., 2018) “Análisis de vulnerabilidad hidrológica del tramo carretera interoceánica comprendida entre el km 12+000 al km 14+000 en la variante de Ucumayo Arequipa, Arequipa, Perú tabla 28”.

Esta prueba de bondad de ajuste tiene como objetivo de señalar y determinar si los datos estudiados o mediciones muestrales provienen de una población que tiene una distribución teórica determinada.

3.5.3.2 Determinación del caudal máximo de Diseño con modelos probabilísticos.

Para el presente estudio se ha considerado los datos de caudales máximos instantáneos registrados de la estación del Tigre.

El caudal máximo de diseño se determinó utilizando los modelos probabilísticos, de los cuales tenemos:

- Distribución Normal
- Distribución LogNormal 2P
- Distribución LogNormal 3P
- Distribución Gamma 2P
- Distribución Gamma 3P
- Distribución Gamma 3P Tipo III
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Gumbel

Para el periodo de retorno se escogió un valor de 50 años, ya que en un estudio de “tratamiento de cauce del río Tumbes para el control inundación y erosión fluvial” (Autoridad Nacional del Agua, 2014), considera un periodo de retorno de 50 años para zonas agrícolas, esto para fines de diseño de defensas ribereñas y el dimensionamiento de las estructuras.

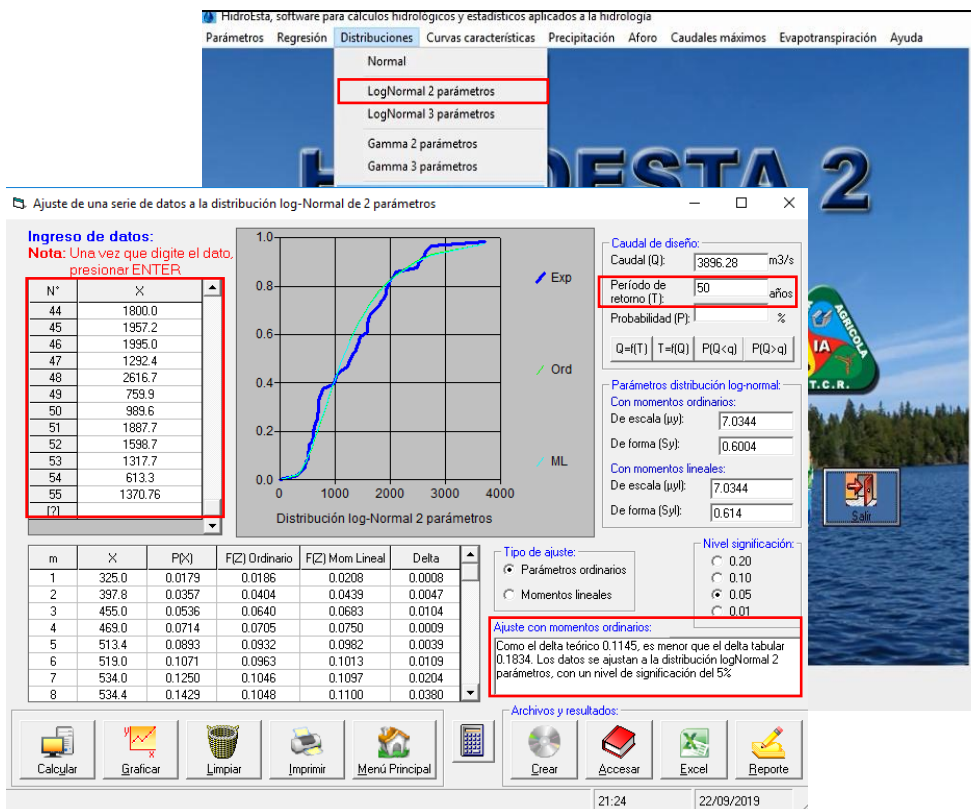


Figura 8.- Cálculo de caudal de diseño – Distribución Log Normal 2P

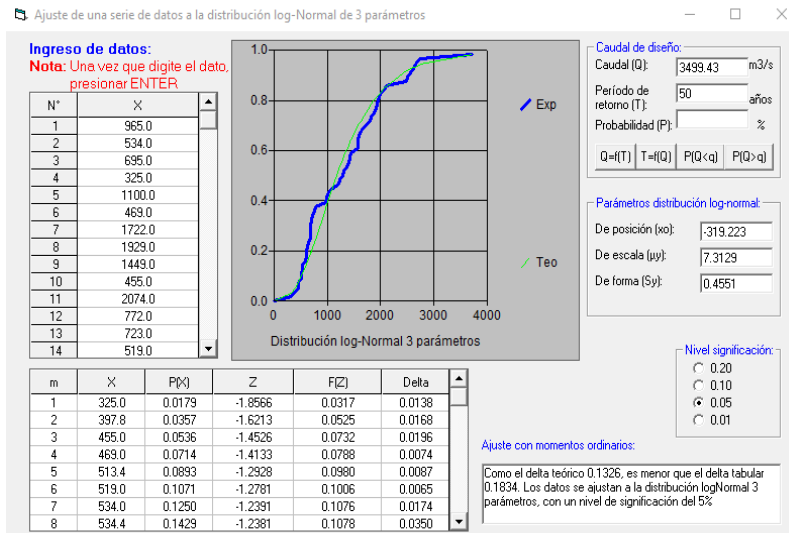


Figura 11. - Cálculo de caudal de diseño – Log Normal 3P

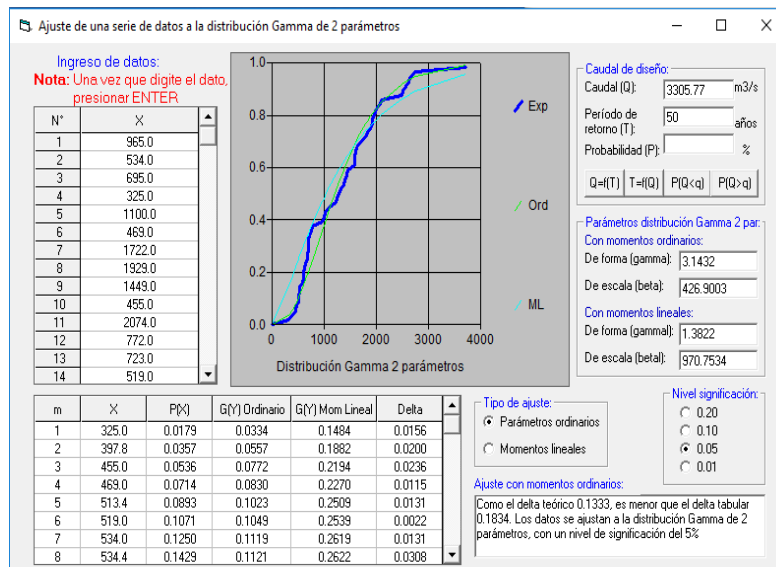


Figura 10. - Cálculo del caudal de diseño – Gamma 2P

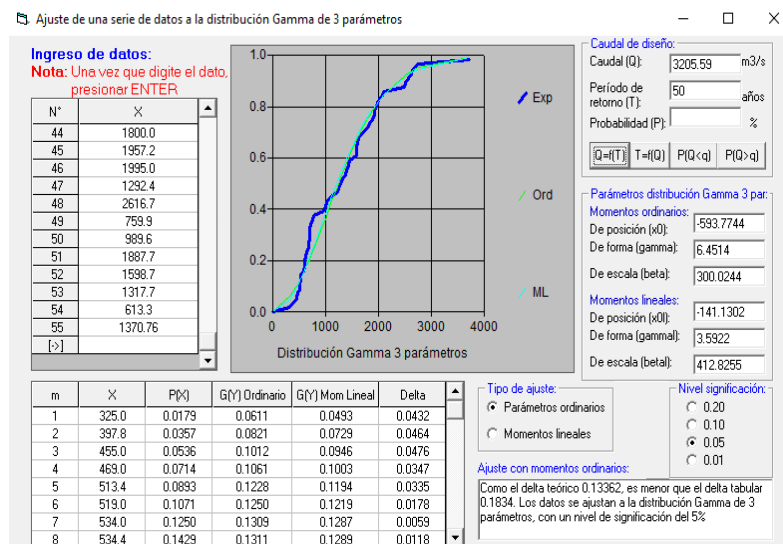


Figura 9. - Cálculo de caudal de diseño – Gamma 3P

3.5.4 Diseño Hidráulico de la defensa Ribereña en tramo de Estudio

Después de las visitas en campo se ha podido determinar que la margen derecha del tramo de estudio es la que presenta erosión en la ribera, y una de las estructuras de protección que se plantea para este proyecto es una defensa con enrocado.

3.5.4.1 Cálculos Hidráulicos

Uno de los principales parámetros hidráulicos a calcular es el ancho estable, ya que este, permite la circulación de los caudales manteniendo una condición de equilibrio hidráulico en el curso del agua, es decir sin causar erosión ni sedimentación, entonces resulta conveniente determinar el ancho estable, con el fin de garantizar la estabilidad y sostenibilidad a través del tiempo las estructuras que se construyan, para ello existen 4 métodos muy conocidos y utilizados en los proyectos hidráulicos para defensas ribereñas, encauzamientos, etc., y son:

- Recomendación Práctica
- Petits
- Método de Simons y Henderson,
- La teoría del régimen estable de Blench – Altuninz.

a. Cálculo del ancho estable para el sector Sta. María – Cruz Blanca con un $Q= 3476,77 \text{ m}^3/\text{s}$ (Valor Obtenido Tabla 13). Para un periodo de retorno de 50 años.

Tabla3.- Calculo del ancho estable, aplicando el método de Recomendación Práctica

Caudal de Diseño (m^3/s .)	ANCHO ESTABLE (B2)
*4000	269
3000	200
1500	190
1000	120
500	70
3476,77	B2 = 242 m

Tabla4. -Cálculo del ancho estable, aplicando el método de Petits

$$B = 4,44Q^{0,5}$$

Q (m³/s) = 3476,77 -----> Caudal de diseño

B= Ancho estable del cauce

$$B = 261,80 \text{ m}$$

Tabla5.- Calculo del ancho estable, aplicando el método de Blench Altunin

$$Fb = Fbo(1+0.12C)$$

$$Fbo = D50^{1/3}$$

$$B = 1,81(Q * Fb / Fs)^{1/2}$$

Q (m³/s) = 3476,77 -----> Caudal de diseño

Fb = Factor de fondo de cauce del río (tabla)

Fs = Factor de Orilla de cauce del río (Tabla)

D50 = Diámetro medio de las partículas del material granular

Para el factor de fondo (Fb), y el factor de orilla (Fs); se consideran valores que van en acuerdo con el perfil del proyecto de “Instalación de protección de rivera en margen derecha del río Tumbes, localidad cabeza de lagarto”, (GOBIERNO REGIONAL DE TUMBES, 2012).

Tabla6.- Valores de Fb y Fs – Método de Blench Altunin

Factor de Fondo	Fb
Material Fino	0,80
Material Grueso	1,20
SELECCIONAR	0,80
Factor de Orilla	Fs
Material Suelos (Barro y arena)	0,10
Material ligeramente cohesivo (barro arc. Fang)	0,20
Material Cohesivos	0,30
SELECCIONAR	0,10
B = 301,86 m	

Tabla7. -Cálculo del ancho estable del cauce, aplicando el método Simons y Henderson

Formula	
$B=K_1Q^{0,5}$	
Q=3476,77 m³/s ----- caudal de diseño	
Condiciones de Fondo de Río	K1
Fondo y orilla de arena	5,70
Fondo arena y orillas de material cohesivo	4,20
Fondo y orilla de material cohesivo	3,60
Fondo y orillas de grava	2,90
Fondo arena y orillas material no cohesivo	2,80
SELECCIONAR	2,80
B = Ancho estable del cauce (m)	
B = 165,10	

Tabla8. -Ancho estable del cauce con un caudal de 3476,77 m³/s a un periodo de retorno de 50 años

RESUMEN DE ANCHO ESTABLE – DIFERENTES METODOS (B)	
Q=3476,77 m³/s ----- Caudal de diseño	
METODOS	Ancho estable (B)
Método de Simons y Henderson	242,00
Método de Pettis	262,00
Método de Blench – Altunin	302,00
Método de Simons y Henderson	166,00
Promedio Redondeado	243,00
Seleccionamos	240 metros

El ancho de la sección que pasa por el puente Francos, es de 250 m, sin embargo, para nuestro tramo de estudio que se encuentra aguas abajo, se considera **un ancho estable de 240 m**, debido ya que existen predios agrícolas en ambas márgenes, adecuándose al tramo en estudio.

b. Profundidad de socavación general, local y total.

El cálculo de la profundidad de socavación, es muy importante, debido a que nos permite dimensionar la uña antisocavante para la protección de nuestra obra de defensa ribereña.

Para el cálculo de la socavación general, se ha considerado el método propuesto por List Van Lebediev, que se ajusta a las características morfológicas e hidráulicas del río Tumbes, teniendo en consideración obras ya construidas a lo largo del río y que gran parte de ellas se encuentran en condiciones óptimas de operatividad Hidráulica.

Se emplea el siguiente modelo:

$$Y_s = \left| \frac{axy^{5/3}}{0,68x Dm 0,28 x b} \right|^{1/(1+x)}$$

Y_s = profundidad de socavación, desde la superficie de agua hasta el fondo del cauce.

D_m = D50 en el talud para la condición extrema superior

$D_m = 1,50 \text{ mm}$, Valor obtenido (GOBIERNO REGIONAL DE TUMBES, 2012).

Solución:

b = coeficiente frecuencia con que se repite la avenida

calculo del valor de “a”

a = coeficiente de sección de pendiente

Proceso de Cálculo

Sabemos que:

$$Qd = \left(AR^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \right) / n$$

Qd = caudal de diseño

A = Área Hidráulica

R = Radio Hidráulico

S = pendiente Hidráulica

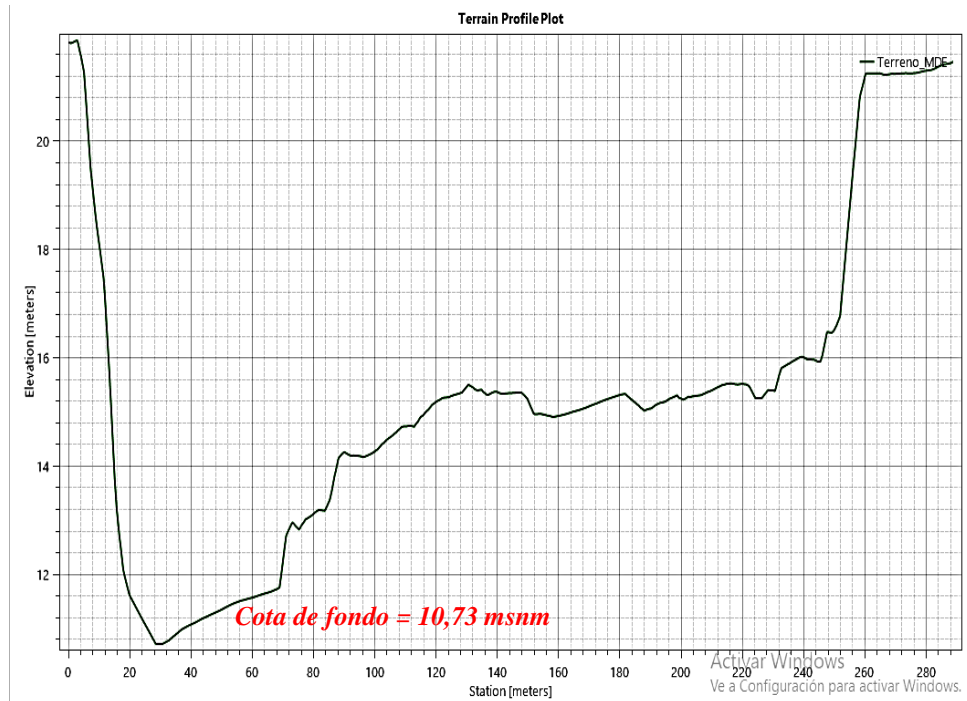
n = coeficiente de rugosidad de manning

Por lo tanto:

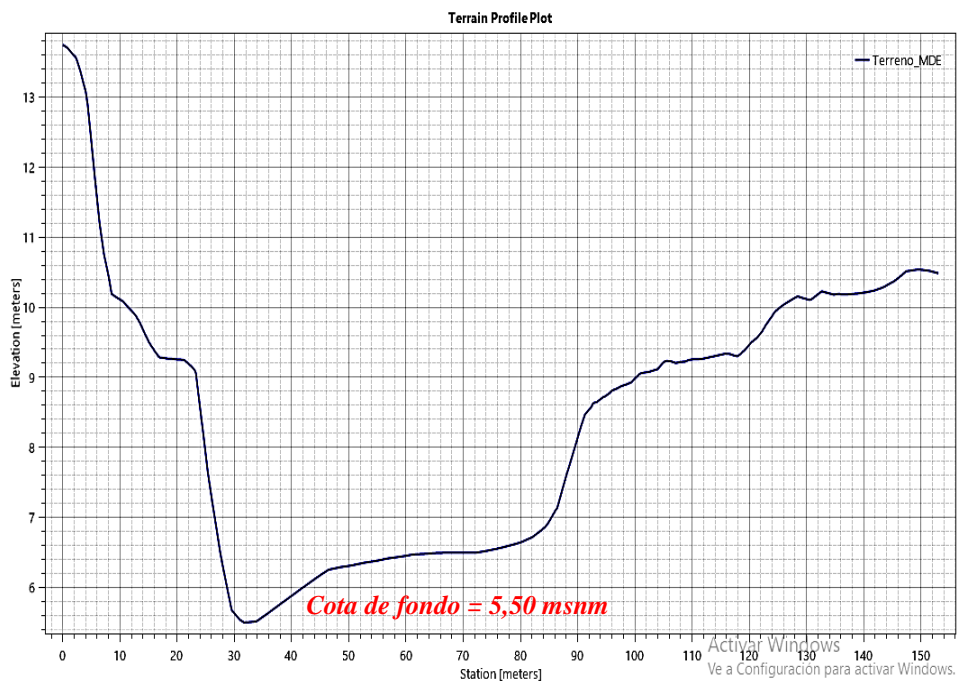
$$(Qd/AR^{2/3}) = (S^{1/2})/n = a$$

Pendiente Hidráulica en tramo para la Modelación:

Sección tramo Puente Francos (561187,29 Este / 9591988,55 Norte)



Sección tramo San Jacinto (562307,54 Este / 9597347,56 Norte)



Teniendo en cuenta el área del dominio para la modelación se determinó la longitud del cauce que tiene 7714,35 m, con ello tenemos una pendiente de **S=0,0007 m/m**, la cual será considerada para el estudio.

c. Coeficiente de Rugosidad

Para el coeficiente de rugosidad fue elegido un valor constante, el cual se utiliza para calcular la resistencia al flujo en el cauce. Además, de acuerdo con el estudio del USGS sobre la rugosidad en canales naturales (Harry & Barnes, 1987), la rugosidad que se considera para el área de estudio es de $n = 0,032$.

calculo del valor de Y

Aplicando el programa H canales, se calcula el valor del tirante de agua que corresponde al caudal de diseño ($3476,77 \text{ m}^3/\text{s}$).

Datos:

$Q_d = \text{caudal de diseño} = 3476,77 \text{ m}^3/\text{s}$.

$S = \text{pendiente hidráulica} = 0,0007 \text{ m/m}$

$n = \text{Coeficiente de rugosidad de Manning} = 0,032$

$B = \text{Ancho estable} = 240 \text{ m}$

Desarrollado el cálculo por el programa H canales, se tiene:

$$Y_m = 5,59 \text{ m}$$

The screenshot shows the 'Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular' window. It contains input fields for 'Lugar' (Rio Tumbes), 'Tramo' (Tramo de estudio), 'Proyecto' (Obra de Protección), and 'Revestimiento' (Cauce Natural). The 'Datos' section lists: Caudal (Q) = 3476.77 m3/s, Ancho de solera (b) = 240 m, Talud (Z) = 1, Rugosidad (n) = 0.032, and Pendiente (S) = 0.0007 m/m. A diagram of a trapezoidal channel cross-section is shown with parameters T, b, Z, and y. The 'Resultados' section displays: Tirante normal (y) = 5.5876 m, Area hidráulica (A) = 1372.2369 m2, Espejo de agua (T) = 251.1751 m, Número de Froude (F) = 0.3461, Tipo de flujo = Subcrítico, Perímetro (p) = 255.8040 m, Radio hidráulico (R) = 5.3644 m, Velocidad (v) = 2.5337 m/s, and Energía específica (E) = 5.9148 m-Kg/Kg. A red warning message 'Cuidado velocidad erosiva' is present. At the bottom, there are icons for 'Calcular', 'Limpiar Pantalla', 'Imprimir', 'Menú Principal', and 'Calculadora'.

Figura 12. - Cálculo del tirante máximo

d. Profundidad de socavación general (Ys) por List Van Lebediev

Coefficiente de sección de pendiente “a”

$$S = 0,0007 \text{ y } n = 0,032$$

$$a = S^{1/2} / n$$

luego:

$$a = 0,83$$

Dm = 1,5 mm, en el cauce del río.

Tabla9. - Valores de x y 1/(x+1)

Peso específico (T/m ³)	Suelos Cohesivos		Suelos no Cohesivos		
	X	1/(x+1)	D (mm)	X	1/(x+1)
0,80	0,52	0,66	0,05	0,43	0,70
0,83	0,51	0,66	0,15	0,42	0,70
0,86	0,50	0,67	0,5	0,41	0,71
0,88	0,49	0,67	1	0,4	0,71
0,90	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
1,00	0,44	0,69	8	0,35	0,74
1,04	0,43	0,70	10	0,34	0,75

Fuente: Apuntes de Hidráulica Fluvial Picande Kreim

$$1/(1+x) = 0,72 \rightarrow (\text{determinado en tabla.})$$

$$Y_S = \left| \frac{0,83x5,59^{5/3}}{0,68x(1,5)^{0,28}x0,99} \right|^{0,72} = 8,45 \text{ m}$$

Luego; la profundidad de socavación general será:

$$H_s = Y_s - Y = 8,45 \text{ m} - 5,59 \text{ m} = 2,86 \text{ m}$$

Le damos un Factor de seguridad de Fs.=1,05

$$H_s = 2,86 \text{ m} * Fs. = 3,00 \text{ m}$$

Socavación asumida 3,00 metros.

Con este valor de la socavación, se obtiene a un factor de seguridad de 1,05.

e. Profundidad de socavación por el Método de Blench.

se emplea el siguiente modelo.

$$d = 0,473 * \left| \frac{Q}{f} \right|^{1/3}$$

Donde:

Q= Caudal de diseño = 3476,77 m³/s; y d = profundidad de socavación

F= Factor de sedimento, donde f= 1,76(D50)^{1/2}

Tenemos:

D50 = 1,5 mm

Qmáx. = 3476,77 m³/s.

f= 1,76(D50)^{1/2} = 2,15

Profundidad de socavación con Blench

$$d = 0,473 * \left| \frac{3476,77 \text{ m}^3/\text{s}}{2,15} \right|^{1/3} = 5,55 \text{ m}$$

Profundidad de socavación total Asumida

Tabla10. - Determinación de la socavación total

Tipo de socavación	Método	Fórmula	Valor de la socavación
Socavación General	List Van Lebediev	$Y_s = \left \frac{axy^{5/3}}{0,68x Dm0,28 x b} \right ^{1/(1+x)}$	3,00 m
Socavación	Blench	$d = 0,473 * \left \frac{Q}{f} \right ^{1/3}$	5,55 m
Promedio			4,30 m
Socavación Asumida para un caudal de 3476,77 m³/s con un periodo de retorno de 50 años.			4,00 m

Elaboración Propia

f. Determinación de la altura del Dique a construir

$$H_{\text{dique}} = Y + \text{borde libre}$$

H_{dique} : Altura del dique

Y : Tirante normal del río

Calculo del borde libre

$$H_e = V^2/2g, \text{ donde: } g= 9,81 \text{ m/s}^2$$

$V_m = 2,54 \text{ m/s}$, velocidad del caudal de diseño (H_{canales})

$H_e = 0,33 \text{ m}$ energía Cinética

$$Bl = \Theta h_e$$

Tabla11. - Coeficiente recomendado para calcular el borde libre del muro

Q_{máx.} (m³/s.)	Θ
3000 – 4000	2
2000 – 3000	1,7
1000 – 2000	1,4
500 – 1000	1,2
100 – 500	1,1
Seleccione	2

Fuente: (Teran, R., 1998) Diseño y construcción de defensas ribereñas.

$$Bl = 2 * 0,33 \text{ m} = 0,66$$

$$H = t + Bl$$

$$H = 5,59 + 0,66 = 6,25\text{m};$$

Altura de dique Asumida = 7,00 metros

Con esta altura se obtiene un factor de seguridad del 1,12

Determinación del ancho de corona

Q_{máx.} (m³/s.)	Ancho de corona
500 – 2000	3
2000 – 4000	4

Fuente: (Campaña Toro, 2004). Diseño de defensas ribereñas

El ancho de corona será igual a 4 m.

3.5.5 Construcción del modelo Hidrodinámico Bidimensional con Hec – Ras.

Para analizar cuál es la interacción entre el flujo del cauce y la infraestructura que se proyecta, se hace uso de la modelación numérica a través del software que nos da la ventaja de utilizar la modelación en 2D.

Descripción del modelo

La herramienta para determinar la interacción del flujo e impacto que generaría la construcción de un dique, es un modelo bidimensional manejado con Hec-Ras, que resuelve las ecuaciones de Saint Venant o ecuaciones de Difusion wave).

Los principales datos y parámetros de entrada del modelo son, la topografía y/o batimetría del área de estudio, las condiciones de frontera o borde y el tiempo de simulación total.

Hec Ras es un software de uso libre, siendo una aplicación que permite la modelación hidráulica en 1 D y en 2D ya sea en régimen permanente y no permanente.

Su versión 5.0.3 resulta novedosa para su análisis en dos dimensiones, su desarrollo ha permitido crear ciertas capacidades para la simulación de Flujo en 2D, las cuales se describen a continuación, (la información fue tomada del manual del usuario 2D modelado)

- ✓ **Este modelo para llevar acabo la modelización, emplea las ecuaciones de Saint Venant y Onda difusa en 2D**, de forma general las ecuaciones de Onda Difusa en 2D permiten que el software procese la información rápidamente y tiene mayores propiedades de estabilidad, sin embargo, las ecuaciones de Saint Venant 2D son aplicables a una gama más amplia en la resolución de problemas.
- ✓ **Puede Realizar modelación en 1D, 2D o una combinación de ambos**, se puede usar el modelo 1D sobre el cauce del río y el modelo 2D sobre las zonas adyacentes al mismo, en donde se requiera mayor detalle los resultados hidráulicos.
- ✓ **Emplea el esquema Numérico Volumen finito Implícitos**, el cual incrementa la mejora en la estabilidad y robustez sobre las técnicas de

diferencias finitas; pudiendo manejar adecuadamente situaciones de flujo Suscritico, Supercrítico y Mixto.

- ✓ Mallas Computacionales estructuradas y no estructuradas, las celdas computacionales de una determinada malla pueden ser triángulos, cuadrados, rectángulos o polígonos de hasta 8 lados como máximo.

La malla computacional no necesita ser ortogonal sin embargo si fuera así la discretización numérica es más implícita y eficiente.

La celda que compone una malla computacional tiene las siguientes propiedades: Centro de celda, contorno de celda y punto en contorno de celda. (Ver gráfico).

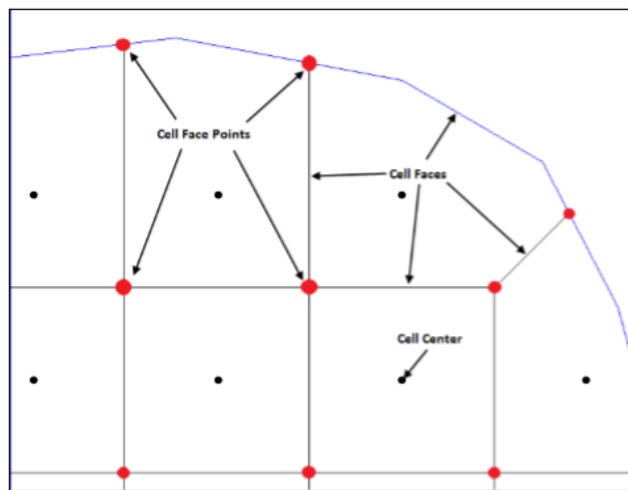


Figure 3-3. HEC-RAS 2D modeling computational mesh terminology.

Figura 13. - Malla computacional (fuente 2D modeling User's Manual

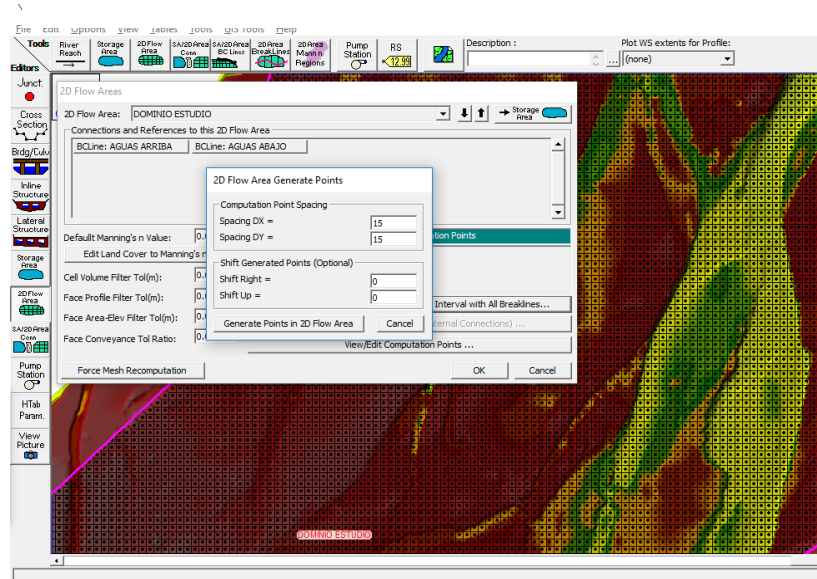


Figura 14.- Generación de malla computacional con Hec-Ras-Geometric Data

Ecuaciones y parámetro que emplea el modelo

En la actualidad los modelos numéricos, ayudados con la capacidad de procesamiento de los ordenadores, permiten adecuarse a un esquema en dos dimensiones (2D), donde predominan las dimensiones horizontales sobre la vertical, y de esta manera conocer con mayor precisión las variables hidráulicas cuantificables (calado, velocidad, caudal, etc.) sobre la planicie de influencia al paso del agua.

- Ecuaciones de Saint venant y Onda difusa en 2D

Las ecuaciones de Saint Venant ha demostrado ser un modelo matemático útil con aplicaciones en varias ramas de la ingeniería hidráulica, estos modelos se basan en el desarrollo de ecuaciones diferenciales encargadas de modelar la variación de caudal y nivel de un flujo a lo largo del espacio y tiempo de manera no permanente como en un canal, río o tubería a superficie libre o abierto.

Las ecuaciones de Saint Venant pueden ser deducidas hoy a partir de las ecuaciones de Navier Stokes realizando un proceso de integración en dos dimensiones.

Las ecuaciones de Navier Stokes gobiernan la atmosfera terrestre, las corrientes oceánicas y el flujo alrededor de vehículos y proyectiles y, en general, cualquier fenómeno en el que se involucren fluidos Newtonianos (agua, aire, gasolina, vino y algunos aceites minerales).

Para llegar a la expresión clásica de las ecuaciones de Saint Venant será necesario partir de las siguientes Hipotesis:

- ✚ La distribución de presiones es hidrostática, esta aproximación es válida si las líneas de corriente son aproximadamente paralelas.
- ✚ La pendiente del lecho es pequeña, por consiguiente, la profundidad media perpendicular del canal es prácticamente la misma que la medida vertical.
- ✚ La distribución de velocidades del flujo es uniforme en cada sección, despreciando las variaciones transversales de velocidad dentro de la misma.

- Las pérdidas de energía se representan con las mismas expresiones de régimen permanente, tales como la ecuación de Manning o Chezy.

Ecuación de Saint Venant:

- Ecuación de conservación de masa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0$$

- Ecuación de continuidad para Fluidos incompresibles

$$\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

- Ecuación de Saint Venant:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + G = 0$$

- Coeficiente de Courant

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta X} \leq 1.0$$

Máximo valor de C=3.0

Donde:

C = Número de courant

V = Velocidad de flujo|

ΔT = Paso de tiempo computacional

ΔX = Promedio de tamaño de celda

Ecuación de Courant para la onda difusa:

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta X} \leq 2.0$$

Máximo Valor de C = 5.0

Donde:

C = Número de courant

V = Velocidad de flujo|

ΔT = Paso de tiempo computacional

ΔX = Promedio de tamaño de celda

- **Algoritmo de solución para el acoplamiento de modelos 1D y 2D**

Este algoritmo permite la retroalimentación directa en cada paso de tiempo entre los elementos de flujo 1D y 2D. por ejemplo el caso del río modelado en 1D que se conecta a cualquier área (modelada en 2D) mediante algún dique (estructura lateral). Si consideramos que el flujo se desliza por encima del dique, o por efecto de la ruptura del dique, del modelo 1D hacia el 2D, entonces el programa emplea la ecuación de vertedero para resolver el computo del flujo.

Weir equation (ecuación de vertedero)

La primera solución a través de la alcantarilla es bajo el supuesto de que todo el flujo pasa por los barriles de la alcantarilla. Una vez que se obtiene una energía aguas arriba final, el programa verifica si la elevación de energía es mayor que la elevación mínima para que ocurra el flujo de vertedero. Si la energía calculada es menor que la elevación mínima para el flujo del vertedero, entonces la solución es final. Si la energía calculada es mayor que la elevación mínima para el flujo del vertedero, el programa realiza un procedimiento iterativo para determinar la cantidad de flujo sobre el vertedero y a través de las alcantarillas. Durante este procedimiento iterativo, el programa recalcula las soluciones de alcantarilla de control de entrada y salida para cada estimación del flujo de la alcantarilla. en general, el más alto de los dos se usa para la porción de alcantarilla de la solución, a menos que el programa considere que no se puede mantener el control de entrada. el programa continuará iterando hasta que encuentre una división de flujo que produzca la misma energía aguas arriba (dentro de la tolerancia de error) para el flujo de vertedero y alcantarilla.

$$Q = CLH^{3/2}$$

Donde:

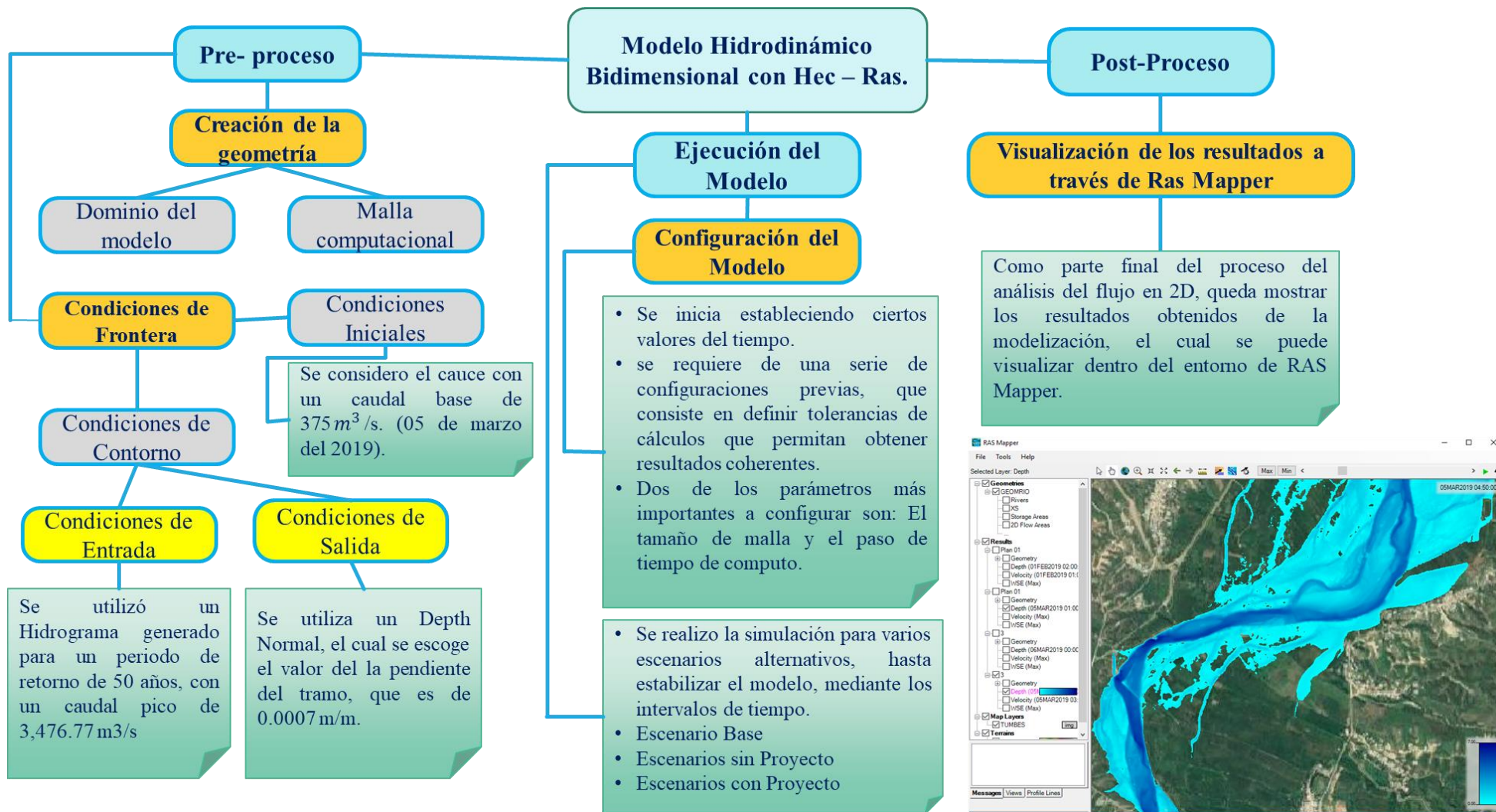
Q: Caudal o descarga

H: medida de cabeza o altura

L: longitud del vertedero

C: coeficiente de vertedero

3.5.5.1 Metodología para la modelación Bidimensional



Para el desarrollo del presente modelo se basó en el manual de usuario de 2D Modelado de Hec Ras, (Gary W. Brunner, CEIWR-HEC , 2016).

El modelo posee, módulos de pre y post proceso lo cual permite ingresar la información fácil e interactiva, y se debe en cuenta:

1) Pre-proceso.

- a. Crear o importar una geometría.
- b. Generar malla computacional de calculo
- c. Asignar condiciones de borde y condiciones iniciales.
 - Asignar rugosidades al terreno.
 - Condiciones de borde hidrodinámicas.
 - Condiciones de borde de transporte de sedimentos. (no es el caso)
 - Condiciones de borde de turbulencia. (no es el caso)

2) Cálculo.

- a. Parámetros del problema.
 - Parámetro de tiempo.
 - Parámetros de cálculo.
 - Elección del modelo de turbulencia. (no es el caso)
 - Determinar modelos de transporte de sedimentos. (no es el caso)

3) Post-proceso.

- a. Visualización de resultados a través de Ras Mapper

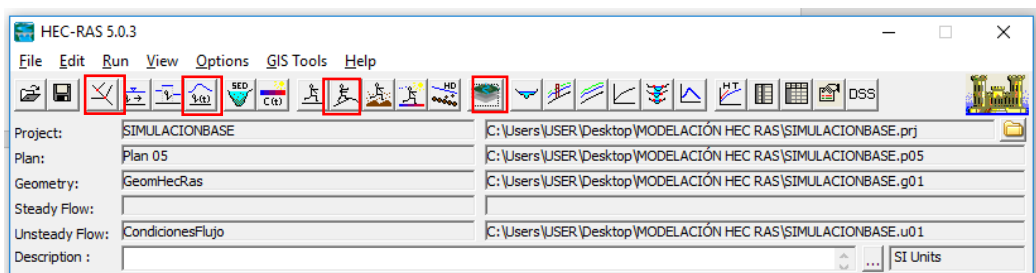


Figura 15.- Interfaz del Software Hec – Ras versión 5.0.3

Pre-Proceso

Mediante empleo de herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica), el software ArcMap de ArcGIS 10.5, a partir de la información topográfica obtenida, se generó el área para definir el polígono que detallaría el dominio del modelo, además se crearon polilíneas en las zonas donde se necesita obtener la topografía a mayor detalle, (Cauce del río, orillas, carretera, canales, caminos, estructuras como diques, espigones, etc.), esto va a permitir refinar la malla de cálculo.

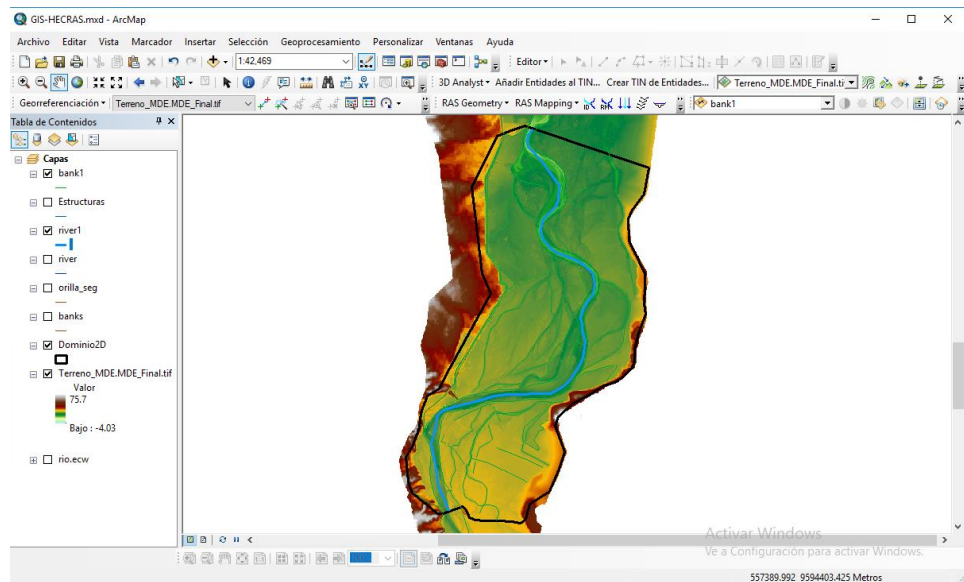


Figura 16.- Creación de Shapefile para exportar al Hec Ras con Arcmap 10.5

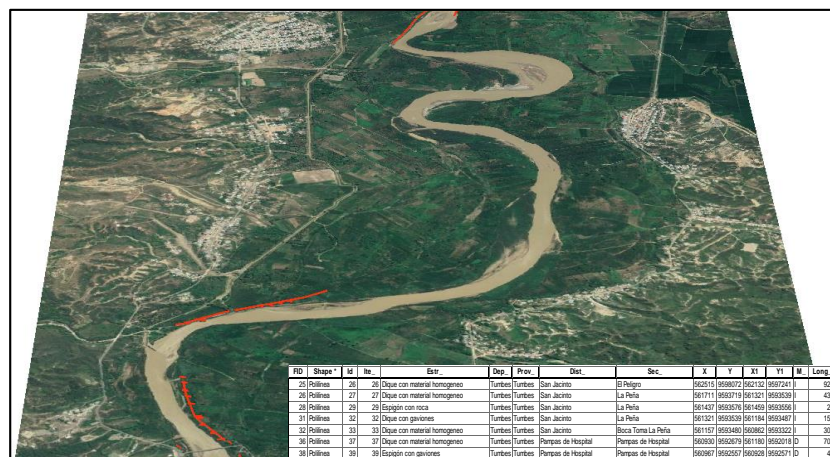


Figura 17. - Estructuras Hidráulicas que existen en el tramo de Estudio

Fuente: Administración Local de Agua de Tumbes.

Una vez creado el New Project, dentro del interfaz de Hec Ras, existe la herramienta Ras Mapper, en donde importamos el Terrain de modelo digital de elevación.

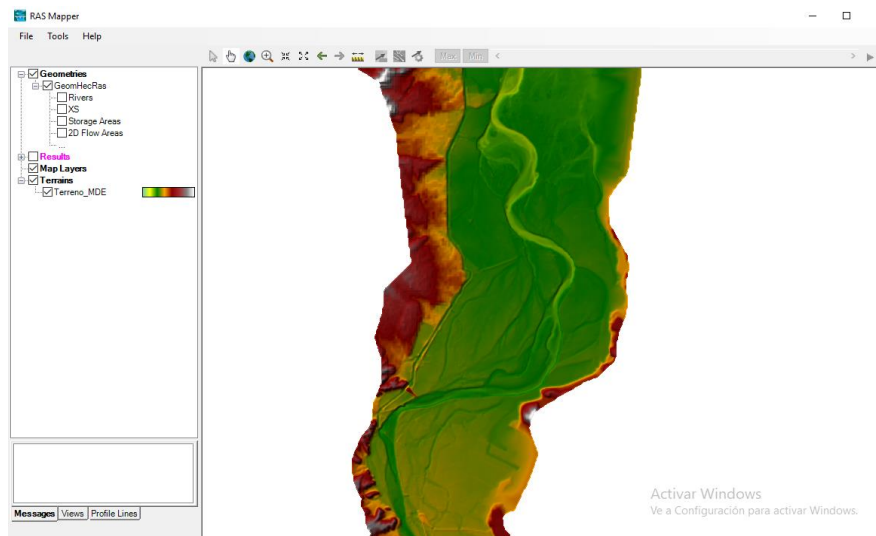


Figura 18. - Importación del MED al Ras Mapper

b) Creación de la Geometría

Los pasos necesarios para la creación de la malla se resumen a continuación:

- a. Importación del polígono del área de modelamiento (Dominio), además se importa las polilíneas que representan, las orillas, los caminos y la carretera para un mejor refinamiento de la malla a través de la herramienta 2D Área Break Lines, (Generación de Bordres)

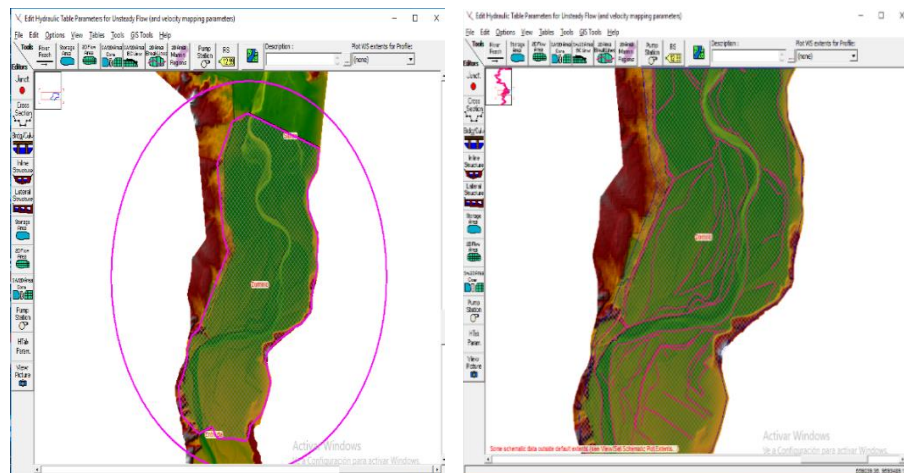



Figura 19.- Importación del polígono de dominio del área 2D (Izquierda), Importación de polilíneas que representan, las orillas, caminos, carreteras, etc. (Derecha).

- b. Generación de la malla en Geometric Data – 2D Flow Área,  luego insertar dentro del área 2D el coeficiente de rugosidad.

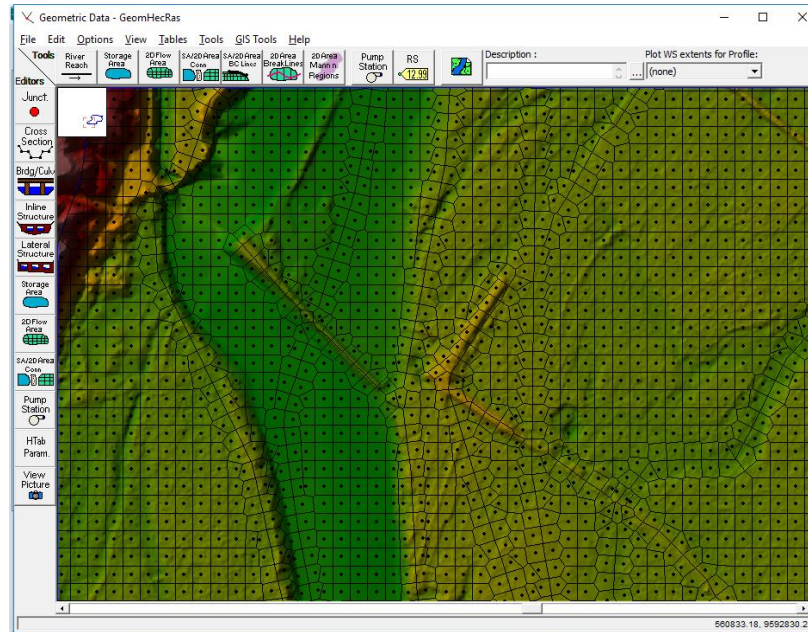



Figura 20.- Malla computacional de cálculo 10x10m, con datos detallados (caminos, orillas, etc)

- c. Definición de líneas de contorno abiertas del  dominio, de entrada y de salida con la herramienta SA/2D Área BC Line, (condiciones de borde).

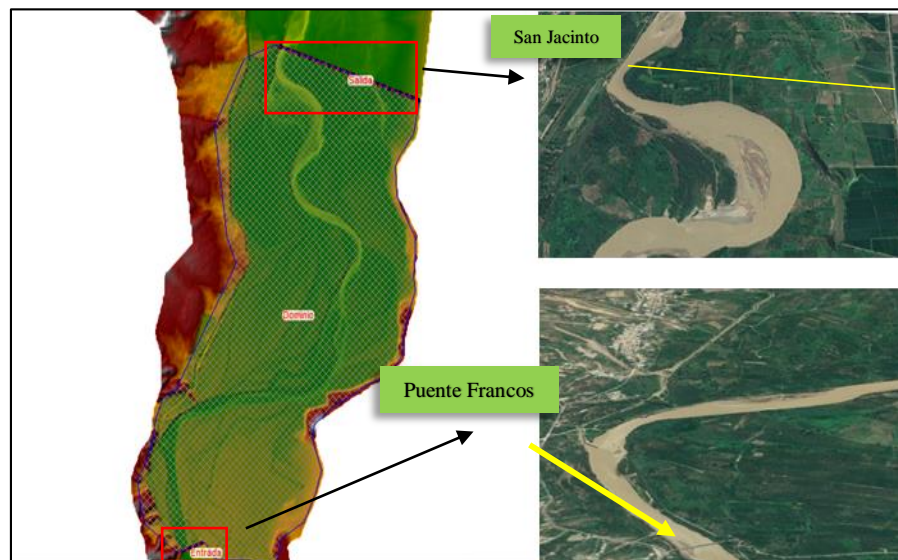


Figura 21.- Condición de entrada: Puente francos (Abajo); Condición de salida: Margen derecha- Sector Cerro Blanco, Margen Izquierda – San Jacinto (Arriba).

d. Incorporación de estructuras de defensa ribereñas, mediante la edición de la malla y asignación de cotas.

Hec-Ras tiene ahora la opción de insertar estructuras laterales georreferenciadas, para ello importamos los datos Shp de la ubicación de las estructuras ubicadas en el tramo de estudio con la herramienta

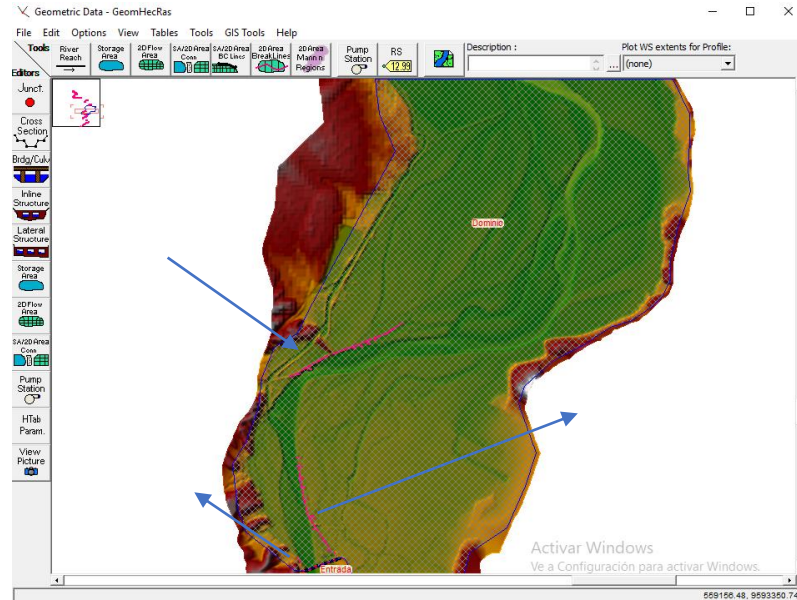


Figura 22.- Importación de las estructuras al área del dominio 2D

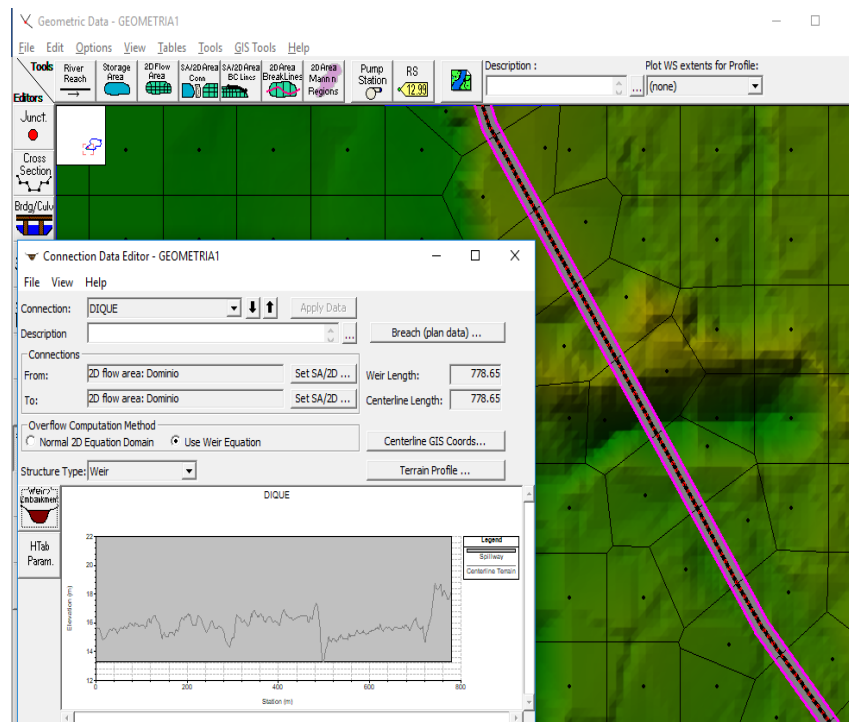


Figura 23.- Edición de malla y asignación de Cotas de las estructuras

c) Condiciones de frontera/bordes Hidrodinámicas

El modelo Hec Ras necesita condiciones Hidrodinámicas específicas, una vez creada la maya de modelación, se definieron las condiciones de frontera para localizar el forzamiento del flujo dentro del modelo 2D. se considera 2 contornos abierto: uno correspondiente a la sección del Puente Francos, que funciona como condición de entrada del flujo al dominio de modelación 2D. y la otra corresponde a la sección aguas debajo de san Jacinto (margen izquierda), Cerro Blanco (margen derecha), que funciona como condición de salida del flujo.

✚ Condiciones Iniciales.

Hace referencia al estado en el que modelo de encuentra al inicio de la simulación ($t = 0$), es decir si el área de modelación (el cauce del río, y sus llanuras), inicialmente se encuentra seco o con un caudal inicial en la superficie “hot start”.

En Hec Ras, es posible escoger entre seleccionar una elevación inicial (Initial elevation) o el flujo inicial (initial Flow), dentro de la superficie (cauce). Para el modelo desarrollado se empezó la simulación con todo el río y sus llanuras secas, denominado arranque frío (Cold Start), en el cual se empleó Hidrograma del 5 de marzo del 2019, dicho resultados se empleó como condición inicial.

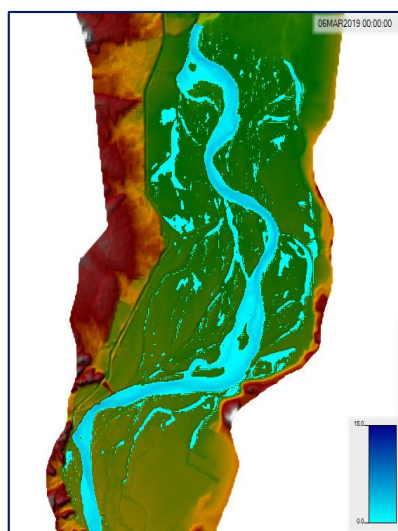


Figura 24.- Condición inicial empleada para inicio de la simulación en caliente, (hot Start), el cauce con un caudal base de $375 \text{ m}^3/\text{s}$. (05 de marzo del 2019).

Condición de contorno

- Condición de Entrada.

Para la condición de entrada se empleó 2 Hidrograma, para el escenario base, se utilizó el Hidrograma de la crecida del 05 de marzo del 2019 y para el escenario simulando un evento extraordinario se utilizó un Hidrograma generado para un periodo de retorno de 50 años, el cual considera un caudal pico de 3476,77 m³/s. (ver figura 48).

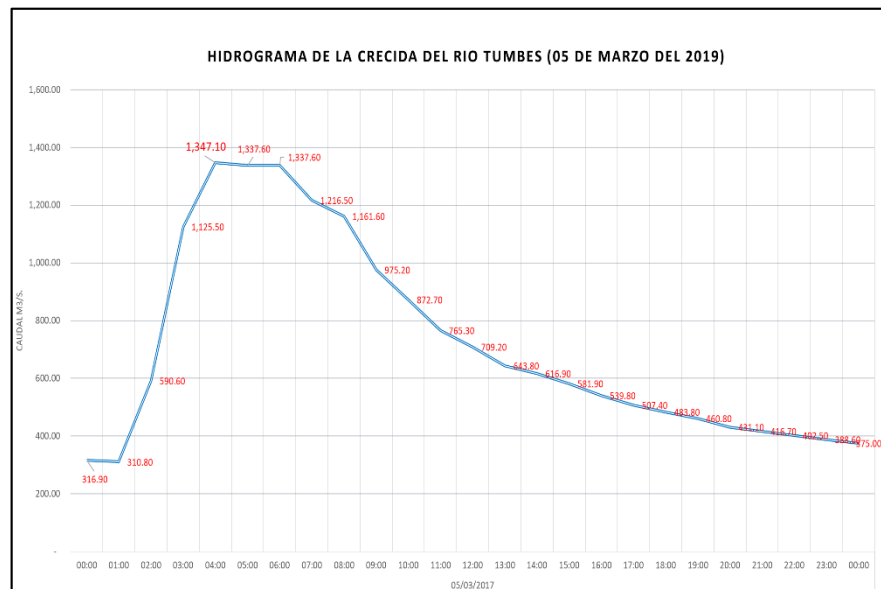


Figura 25. - Condición de entrada – Flow Hydrograph

- Condición de Salida.

Para la salida del flujo del área del modelo, se emplea como condición de salida, las profundidades normales (Normal Depth), en donde se escoge a insertar la pendiente del tramo en estudio, siendo este valor de $S= 0,0007 \text{ m/m}$.

Boundary Condition Types			
Stage Hydrograph	Flow Hydrograph	Normal Depth Downstream Boundary	
Normal Depth	Lateral Inflow Hydr.	SA: Dominio BCLine: Salida	
T.S. Gate Openings	Elev Controlled Gates	Friction Slope:	0.0007
Rules	Precipitation	OK Cancel	
Add Boundary Condition Location			
Add RS ...	Add SA/2D Flow Area ...	Add SA Connection ...	Add Pump Station ...
Select Location in table then select Boundary Condition Type			
River	Reach	RS	Boundary Condition
Storage /2D Flow Areas			Boundary Condition
1	Dominio	BCLine: Entrada	Flow Hydrograph
2	Dominio	BCLine: Salida	Normal Depth

Figura 26.- Condición de Salida – Normal Depth

1. Ejecución del Modelo 2D– Cálculos.

El proceso de simulación se inicia estableciendo ciertos valores del tiempo, los cuales están directamente relacionados con las condiciones de contorno, condiciones de la malla y además la capacidad del computador.

(LLuen, W, 2015), menciona que para la ejecución del modelo 2D, se requiere de una serie de configuraciones previas, que consiste en definir tolerancias de cálculos que permitan obtener resultados coherentes, dos de los parámetros más importantes a configurar son: El tamaño de malla y el paso de tiempo de computo.

- El tamaño de malla (x) nos permitirá que el modelo se adecue apropiadamente al terreno y de esa forma puede incluir todas las obstrucciones
- El paso de tiempo de computo (t), está relacionado al número de courant, que se obtiene de la relación entre espacio, velocidad y tiempo, siendo conocido que dicha relación debe ser menor igual que la unidad.

La estrecha relación que existe entre los dos parámetros, hace que debamos escoger un intervalo de tiempo adecuado para que funcione bien con la malla elaborada.

Para el caso del modelo simulado se establece los siguientes parámetros de tiempo. Ver figura 27.

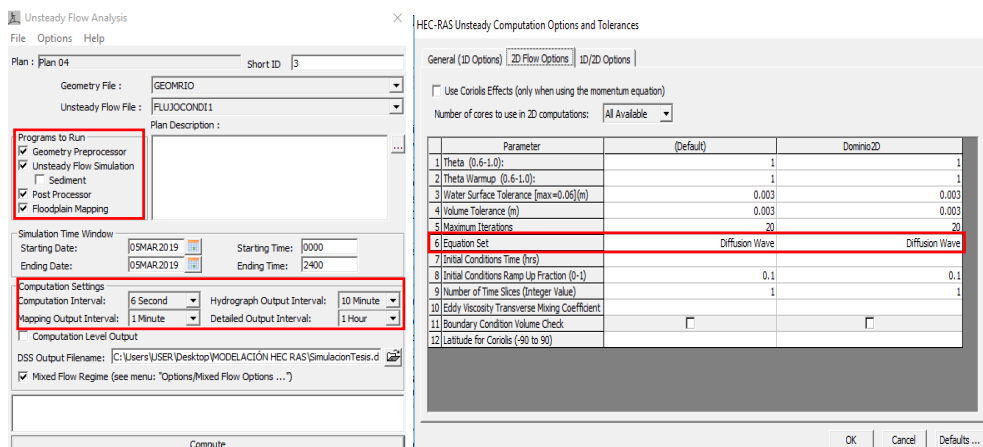


Figura 27.- ventana de flujo en condición no permanente (izquierda), Área de flujo 2D Opciones de cálculo y tolerancias (derecha).

2. Post-proceso

a. Visualización de los resultados a través de Ras Mapper

Como parte final del proceso del análisis del flujo en 2D, queda mostrar los resultados obtenidos de la modelización, el cual se puede visualizar dentro del entorno de RAS Mapper.

En el entorno gráfico de RAS Mapper se puede apreciar la pestaña de resultados, de la cual se desprende los planes generados (si es que existiesen varios de ellos), y por cada plan podemos ver el tipo de resultados que ofrece el software, como son: Calado, Velocidad y Elevación. Para cada uno de ellos, el programa ofrece opciones de configuración para personalizar su presentación, así como la posibilidad de exportar la mancha de agua como Shapefile para poder emplearlo en algún otro software. En la Figura 28, podemos ver el resultado final de la modelización para el cauce que desborda y cuya mancha de agua queda contenida en el área 2D. Los resultados mostrados en la figura corresponden a los valores de calado a mitad del proceso.

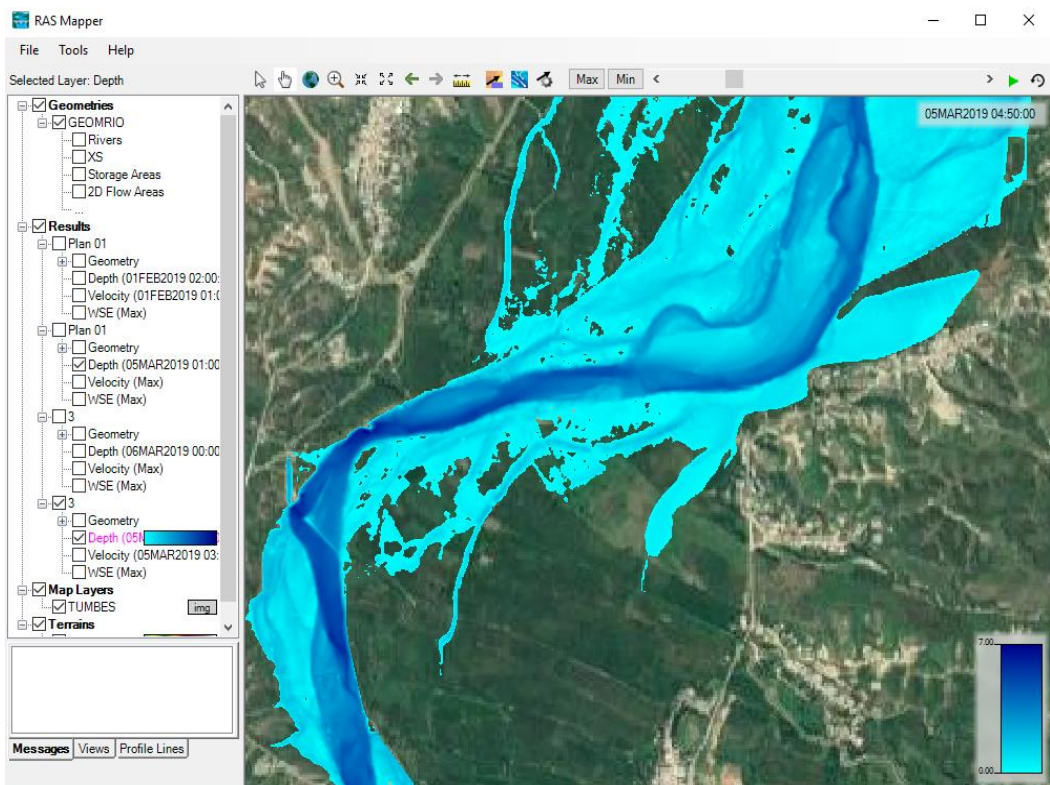


Figura 28. - Visualización de los resultados a través del Ras Mapper

IV. RESULTADOS

4.1 Análisis a la Información Histórica de caudales máximos

Estación El Tigre	Departamento : Tumbes	Longitud: 80°27' W
Cuenca del Río Tumbes	Provincia : Tumbes	Latitud : 3°46' S
	Distrito : San Jacinto	Altitud : 40 msnm

Tabla12. -Data histórica de descargas máximas Instantáneas

"DESCARGAS MÁXIMAS INSTANTANEAS (m³/s) REGISTRADAS EN LA ESTACION ""EL TIGRE""- RIO TUMBES 1965-2019"					
(1965 – 1992)			(1993 – 2019)		
Año	Q. Max (m³/s)	Fecha	Año	Q. Max (m³/s)	Fecha
1965	965	12-Abr	1993	1918,2	marzo
1966	534	05-Feb	1994	1222,9	abril
1967	695	27-Feb	1995	534,4	enero
1968	325	15-Mar	1996	690,3	febrero
1969	1100	05-Abr	1997	1583,3	marzo
1970	469	24-Ene	1998	2569,9	diciembre
1971	1722	21-Feb	1999	2506,2	febrero
1972	1929	30-Mar	2000	1238,1	marzo
1973	1449	10-Mar	2001	2756,2	marzo
1974	455	02-Mar	2002	2646,6	marzo
1975	2074	15-Mar	2003	681,4	marzo
1976	772	26-Mar	2004	602	febrero
1977	723	15-Mar	2005	1012,8	marzo
1978	519	02-Mar	2006	1583,3	febrero
1979	689,7	13-Mar	2007	696,6	marzo
1980	628,3	08-Abr	2008	1800	febrero
1981	1578,6	13-Mar	2009	1957,2	febrero
1982	1429	24-Dic	2010	1995	marzo
1983	3712,5	05-Feb	2011	1292,4	abril
1984	1627,5	17-Mar	2012	2616,7	marzo
1985	397,8	13-Abr	2013	759,9	marzo
1986	1397,4	19-Mar	2014	989,6	mayo
1987	2098,5	14-Feb	2015	1887,7	marzo
1988	651,9	febrero	2016	1598,7	marzo
1989	1828,8	febrero	2017	1317,7	marzo
1990	513,4	febrero	2018	613,3	febrero
1991	584,5	marzo	2019	1347,10	marzo
1992	965	12-Abr			
Promedio	1191,375		Promedio	1496,944	
Des. Estan	795,784574		Des. Estan	706,464	

Fuente: Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes (PEBPT)

* Datos del servicio nacional de meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Sobre la data Histórica de caudales máximos instantáneos que son registrados en la Estación del Tigre (periodo 1965 – 2019), llegamos a los siguientes resultados de cada análisis para determinar la confiabilidad de los registros hidrológicos:

a. Análisis grafico Visual

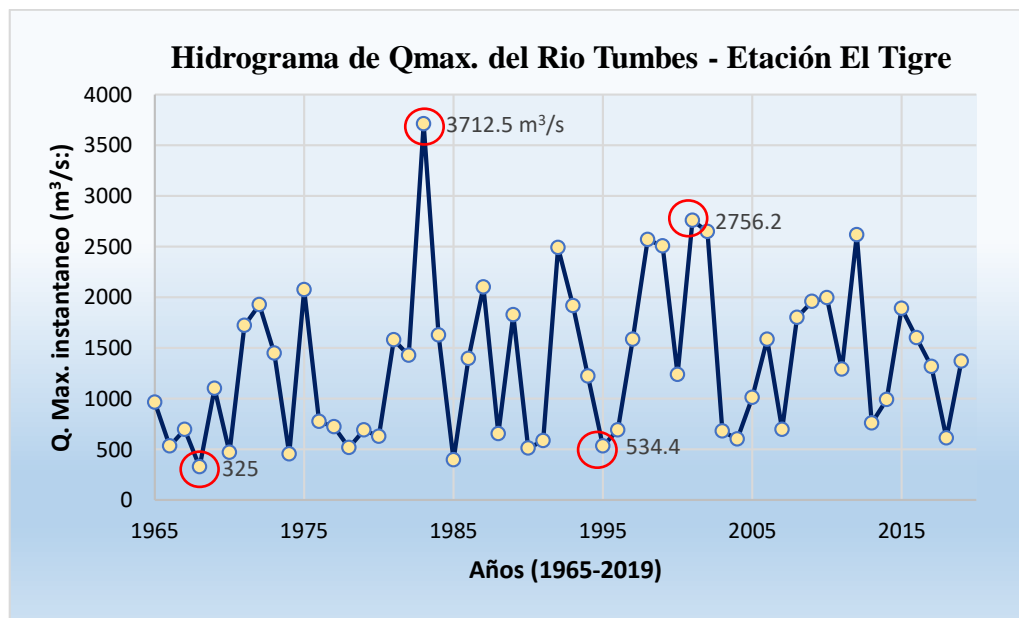


Figura 29. -Hidrograma de caudales máximos Instantáneos Históricos del Río Tumbes (1965 – 2019)

En la figura 24, se presenta el Hidrograma de caudales máximos instantáneos del Río Tumbes, realizando el análisis visual de la serie histórica se observa que en el año 1983 y 1998 son los picos más altos, esto se explica, ya que en dichos años se produjo un fenómeno de El Niño, producto a las intensas precipitaciones en la parte alta de la cuenca del Río Tumbes.

Para la data histórica (Tabla 12) se consideraron 55 años que abarcan desde (1965 – 2019), se trabajó con esa cantidad de datos para que nuestros resultados sean más confiables y nuestro análisis de consistencia sea el adecuado, pero la razón más importante es que en este periodo de tiempo se encuentran los caudales registrados en los fenómenos del niño del año 1983 y 1998. Ambos fenómenos del Niño mencionados fueron implacables con respecto a los desastres producidos, cientos de tierras agrícolas inundadas, daño de infraestructura dentro y aledaña al cauce del río Tumbes, carreteras destruidas, etc.

b. Análisis Estadísticos

- Consistencia a la Media

T de Student Calculado (T_c)

$$T_c = \frac{x_1 - x_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

<i>Datos Obtenidos</i>			
X_1	1191,375	n_1	28
X_2	1497,821	n_2	27
S_p	753,21	N_t	55

Donde:

T_c = T de Student calculado

S_p = desviación estándar

X_1 y X_2 = Promedios de periodo 1 y 2

n_1 y n_2 = número de datos de cada periodo

Sustituyendo en la ecuación los valores obtenidos, resulta:

T calculado \longrightarrow **1,51**

T de Student Tabulado (T_t)

El valor crítico de T se obtiene de la tabla de T de Student, con una probabilidad al 95%, o con un nivel de significación del 5% con grados de libertad $Gl = 27 + 28 - 2 = 53$; Para estos valores, se tiene:

T_t \longrightarrow **1,6741**

Como $|T_c| = 1.51 < |T_t| = 1,6741$, estadísticamente no se necesita corregir la información.

- Consistencia a la desviación Estándar

F de Fisher Calculado (F_c)

$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Donde:

S_1^2 = Varianza del 1er periodo

S_2^2 = Varianza del 2do periodo

<i>Datos obtenidos</i>	
S_1^2	633273,088
S_2^2	498840,38
F_c	1,27

Sustituyendo los valores en la ecuación resulta:

F calculado \longrightarrow **1,27**

F DE FISHER TABULADO (F_t)

El valor crítico de F se obtiene de la tabla de F de Fisher, con una probabilidad al 95%, o con un nivel de significación del 5% con grados de libertad para el Numerador GL1= 27 y para el Denominador GL2 = 26 con estos valores en se obtiene:

$F_t = 1,913$

Como $|F_c| = 1.27 < |F_t| = 1,6741$, estadísticamente no se necesita corregir la información y se acepta la data.

- Análisis de Tendencia

Se encuentra los siguientes parámetros:

$$T_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1+r^2}}$$

Donde:

Tc = Valor estadístico T Calculado

n= Número total de datos

r= coeficiente de correlación

Coeficiente de Correlación (r)

$$r = \frac{TQ_m - t_m \cdot Q_m}{S_T - S_Q}$$

Donde:

R= Coeficiente de correlación

Q_m = Media del caudal

t_m = Media del periodo

S_T = Desviación estándar del periodo

S_Q = Desviación estándar de Q.

De la tabla siguiente, se obtiene los valores de los parámetros de la ecuación de regresión lineal Simple:

Datos Obtenidos	
t_m	28
S_t	16,02
Q_m	1341,812
SQ	762,05
TQ_m	40274,29091
STQ	32894,13735

Sustituyendo los valores en la ecuación resulta un coeficiente de correlación de $r = 0,221$

T de Student Calculado (T_c)

Teniendo un total de datos $n = 55$ y un coeficiente $r = 0,221$ Sustituimos en la fórmula para determinar el T_c y obtenemos:

T calculado \longrightarrow **1,574**

T DE STUDENT TABULADO (T_t)

El valor critico de T se obtiene de la tabla de T de Student, con una probabilidad al 95%, o con un nivel de significación del 5% con grados de libertad $Gl = 27 + 28 - 2 = 53$; Para estos valores, se tiene:

$T_t \longrightarrow$ **1,6741**

ANALISIS DE TENDENCIA		
Probabilidad	=	95%
Nivel de significancia	=	5%
Grado Libertad	=	53
Coefficiente de correlación	=	22%
T de Student Calculado	=	1.57
T de Student Tabulado	=	1.67

Como $|T_c| = 1.574 < |T_t| = 1,6741$, no se necesita corregir la información, se acepta la data y los datos de caudales máximos instantáneos del río Tumbes para la serie de 55 años (1965 – 2019) pueden ser tomados para la determinación del caudal de diseño.

c. Prueba de bondad de ajuste con Smirnov – kolmogorov

Ajuste de la serie de Datos a la Distribución Normal

Ajustes con momentos Ordinarios:

Delta teórico : 0,1477

Delta Tabular : 0,1834

Siendo el delta teórico menor que el delta tabular, Los valores de la serie histórica de caudales, se ajustan a la Distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la Distribución Normal:

Momentos Ordinarios:		
Parámetro de Localización (Xm)	=	1341,812
Parámetros de escala (S)	=	762,0519

Momentos Lineales		
Media Lineal (Xi)	=	1341,812
Desviación estándar lineal (Si)	=	755,7542

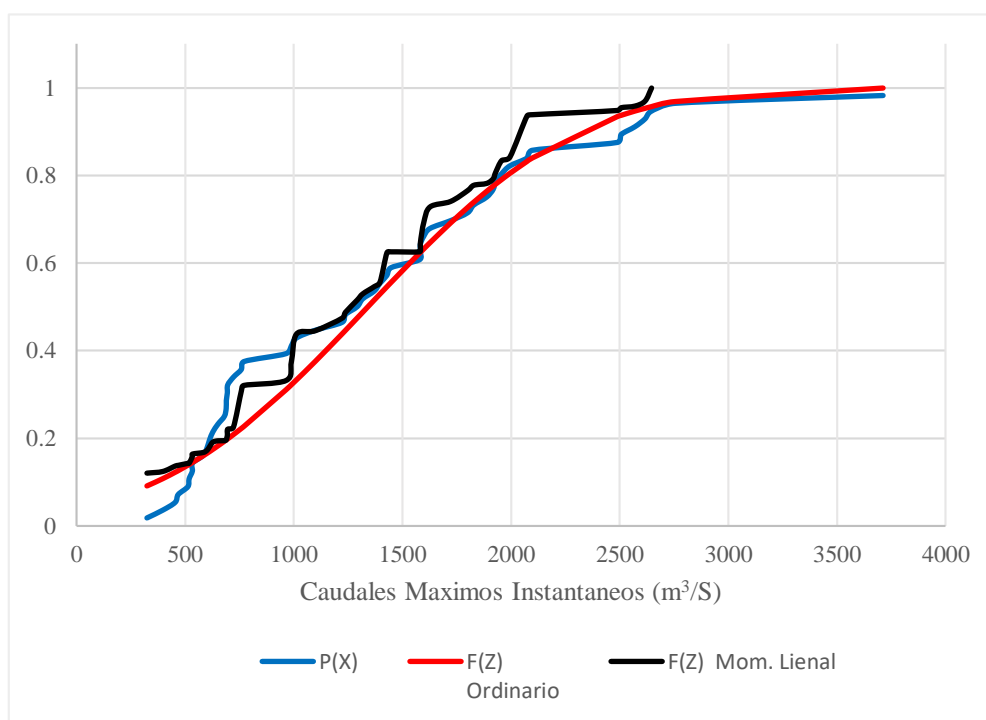


Figura 30. -Ajuste a una Distribución Normal – Smirnov Kolmogorov

Ajuste de la serie de Datos a la Distribución LogNormal 2 parámetros

Ajustes con momentos Ordinarios:

Delta teórico : 0,1145

Delta Tabular : 0,1834

Siendo el delta teórico menor que el delta tabular, Los valores de la serie histórica de caudales, se ajustan a la Distribución LogNormal 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la Distribución LogNormal 2 parámetros:

Momentos Ordinarios:

Parámetro de Escala	(μy)	= 7,0344
---------------------	-------------	----------

Parámetros de forma	(Sy)	= 0,6004
---------------------	----------	----------

Momentos Lineales

Parámetro de Escala	(μy)	= 7,0344
---------------------	-------------	----------

Parámetros de forma	(Sy)	= 0,614
---------------------	----------	---------

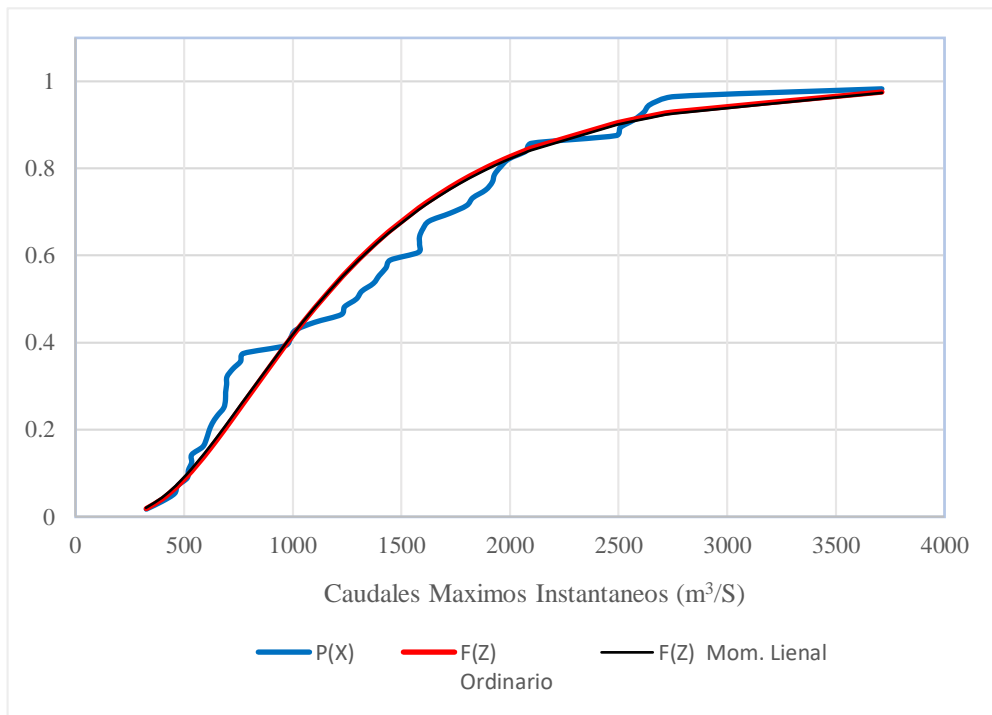


Figura 31. - Ajuste a una Distribución LogNormal 2P– Smirnov Kolmogorov

Ajuste de la serie de Datos a la Distribución LogNormal 3 parámetros

Ajustes con momentos Ordinarios:

Delta teórico : 0,1326

Delta Tabular : 0,1834

Siendo el delta teórico menor que el delta tabular, Los valores de la serie histórica de caudales, se ajustan a la Distribución LogNormal 3 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la Distribución LogNormal 3 parámetros:

Parámetro de Posición	(Xo)	= -319,223
Parámetro de Escala	(μy)	= 7,3129
Parámetros de forma	(Sy)	= 0,4551

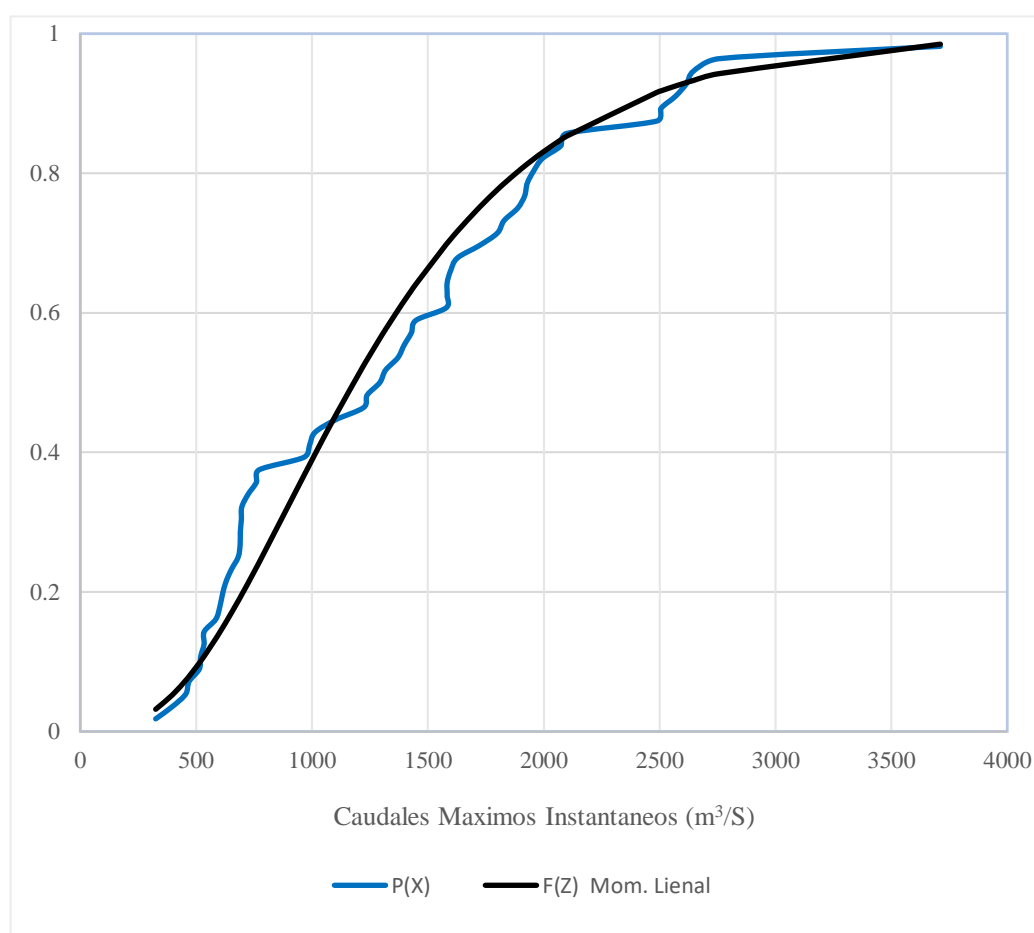


Figura 32. - Ajuste a una Distribución LogNormal 3 Parámetros – Smirnov Kolmogorov

Ajuste de la serie de Datos a la Distribución Gamma 2 parámetros

Ajustes con momentos Ordinarios:

Delta teórico : 0,1333

Delta Tabular : 0,1834

Siendo el delta teórico menor que el delta tabular, Los valores de la serie histórica de caudales, se ajustan a la Distribución Gamma 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la Distribución Gamma 2 parámetros:

Momentos Ordinarios:

Parámetro de Escala (beta) = 7,0344

Parámetro de forma (gamma) = 0,6004

Momentos Lineales

Parámetro de Escala (beta) = 7,0344

Parámetro de forma (gamma) = 0,614

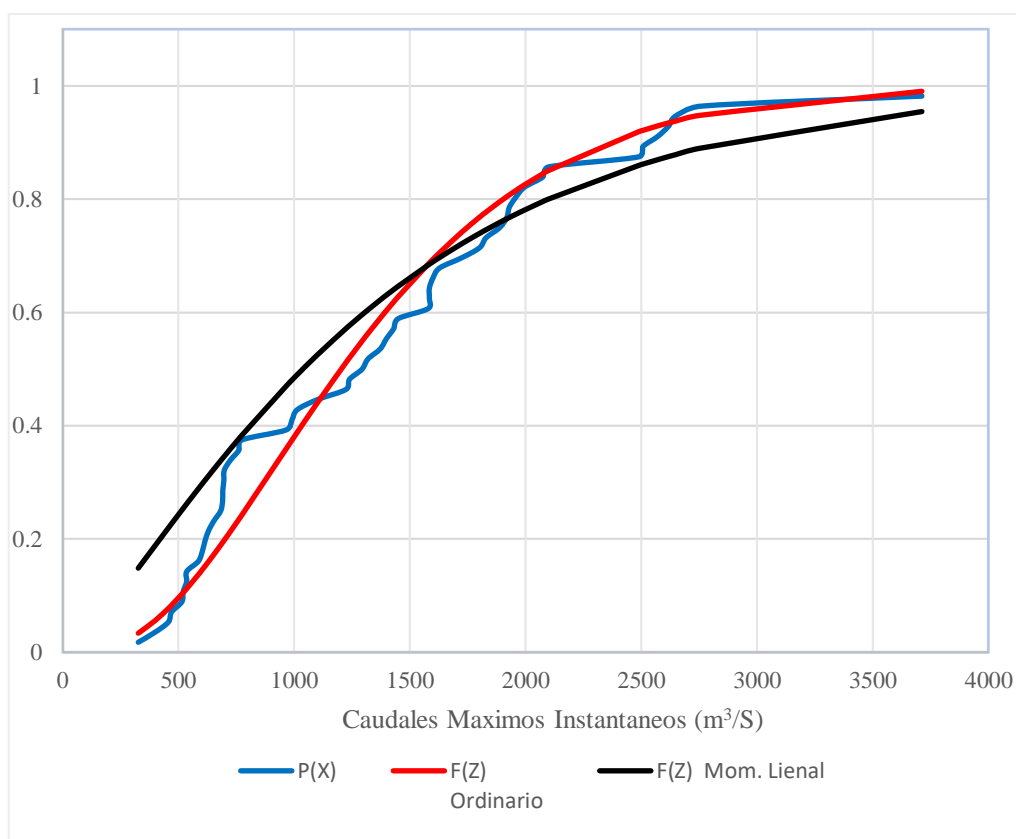


Figura 33. - Ajuste a una Distribución Gamma 2 P – Smirnov Kolmogorov

Ajuste de la serie de Datos a la Distribución Gamma 3 parámetros

Ajustes con momentos Ordinarios:

Delta teórico : 0,13362

Delta Tabular : 0,1834

Siendo el delta teórico menor que el delta tabular, Los valores de la serie histórica de caudales, se ajustan a la Distribución Gamma 3 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la Distribución Gamma 3 parámetros:

Momentos Ordinarios:

Parámetro de localización (Xo)	= 593,7744
--------------------------------	------------

Parámetro de Escala (beta)	= 6,4514
----------------------------	----------

Parámetro de forma (gamma)	= 300,0244
----------------------------	------------

Momentos Lineales:

Parámetro de localización	= 141,1302
---------------------------	------------

Parámetro de Escala (beta)	= 412,8255
----------------------------	------------

Parámetro de forma (gamma)	= 3,5922
----------------------------	----------

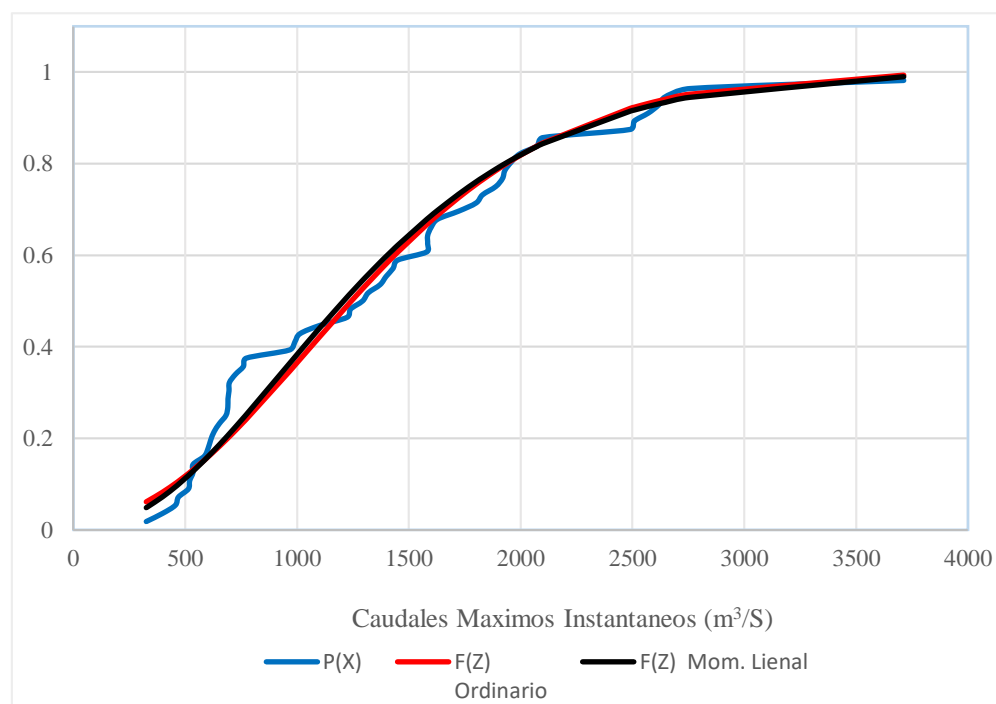


Figura 34.- Ajuste a una Distribución Gamma 3 P – Smirnov Kolmogorov

Ajuste de la serie de Datos a la Distribución Log Pearson tipo III

Ajustes con momentos Lineales:

Delta teórico : 0,10725

Delta Tabular : 0,1834

Siendo el delta teórico menor que el delta tabular, Los valores de la serie histórica de caudales, se ajustan a la Distribución Log Pearson tipo III, con un nivel de significación del 5%. (*no Ajusta para parámetros ordinarios*)

Parámetros de la Distribución Log Pearson Tipo III:

Momentos Ordinarios:

Parámetro de localización (Xo)	= 15,6667
Parámetro de Escala (beta)	= -0,0418
Parámetro de forma (gamma)	= 206,6923

Momentos Lineales:

Parámetro de localización	= 2,1256
Parámetro de Escala (beta)	= 63,6634
Parámetro de forma (gamma)	= 0,0771

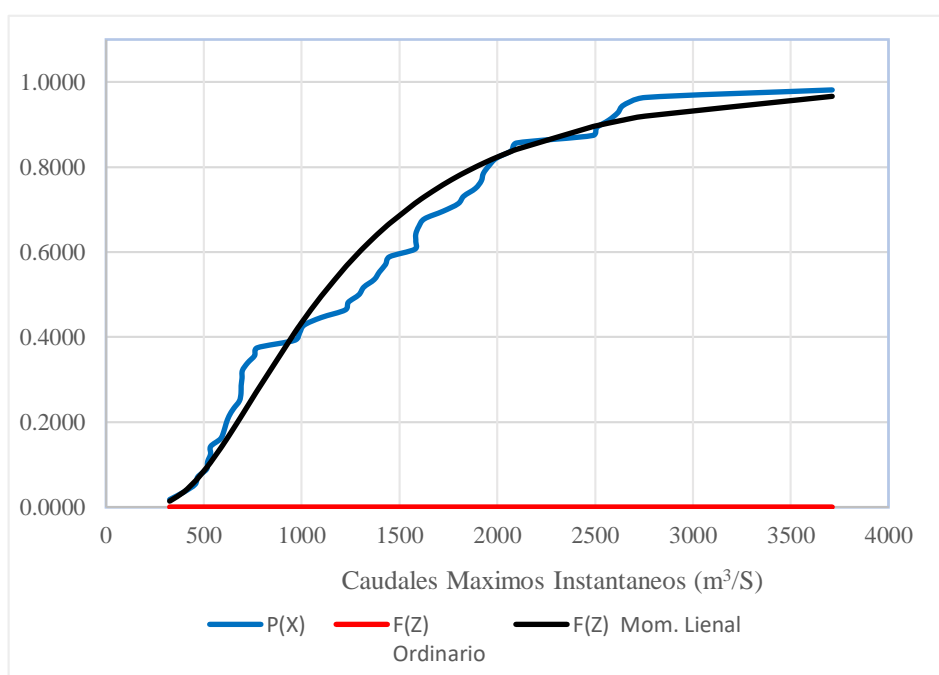


Figura 35.- Ajuste a una Distribución Log Pearson Tipo III – Smirnov Kolmogorov

Ajuste de la serie de Datos a la Distribución Gumbel

Ajustes con momentos Ordinarios:

Delta teórico : 0,1439

Delta Tabular : 0,1834

Siendo el delta teórico menor que el delta tabular, Los valores de la serie histórica de caudales, se ajustan a la Distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Parámetros de la Distribución Gumbel:

Momentos Ordinarios:

Parámetro de Posición	(Xo)	= 998,8481
-----------------------	------	------------

Parámetro de Escala	(alfa)	= 594,1694
---------------------	--------	------------

Momentos Lineales:

Parámetro de Posición	(Xo)	= 986,7385
-----------------------	------	------------

Parámetro de Escala	(alfa)	= 615,1488
---------------------	--------	------------

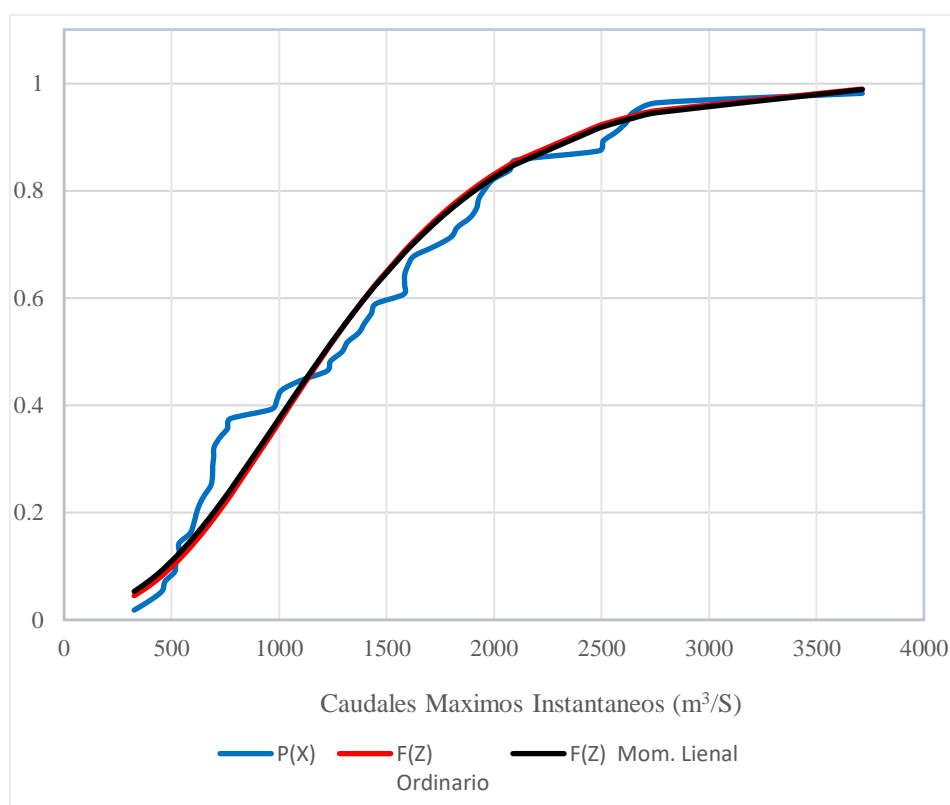


Figura 36.- Ajuste a una Distribución Gumbel – Smirnov Kolmogorov

Ajuste de la serie de Datos a la Distribución Log Gumbel

Ajustes con momentos Ordinarios:

Delta teórico : 0,1439

Delta Tabular : 0,1834

Siendo el delta teórico menor que el delta tabular, Los valores de la serie histórica de caudales, se ajustan a la Distribución Log Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Parámetros de la Distribución Gumbel:

Momentos Ordinarios:

Parámetro de Posición	(Xo)	= 998,8481
-----------------------	------	------------

Parámetro de Escala	(alfa)	= 594,1694
---------------------	--------	------------

Momentos Lineales:

Parámetro de Posición	(Xo)	= 986,7385
-----------------------	------	------------

Parámetro de Escala	(alfa)	= 615,1488
---------------------	--------	------------

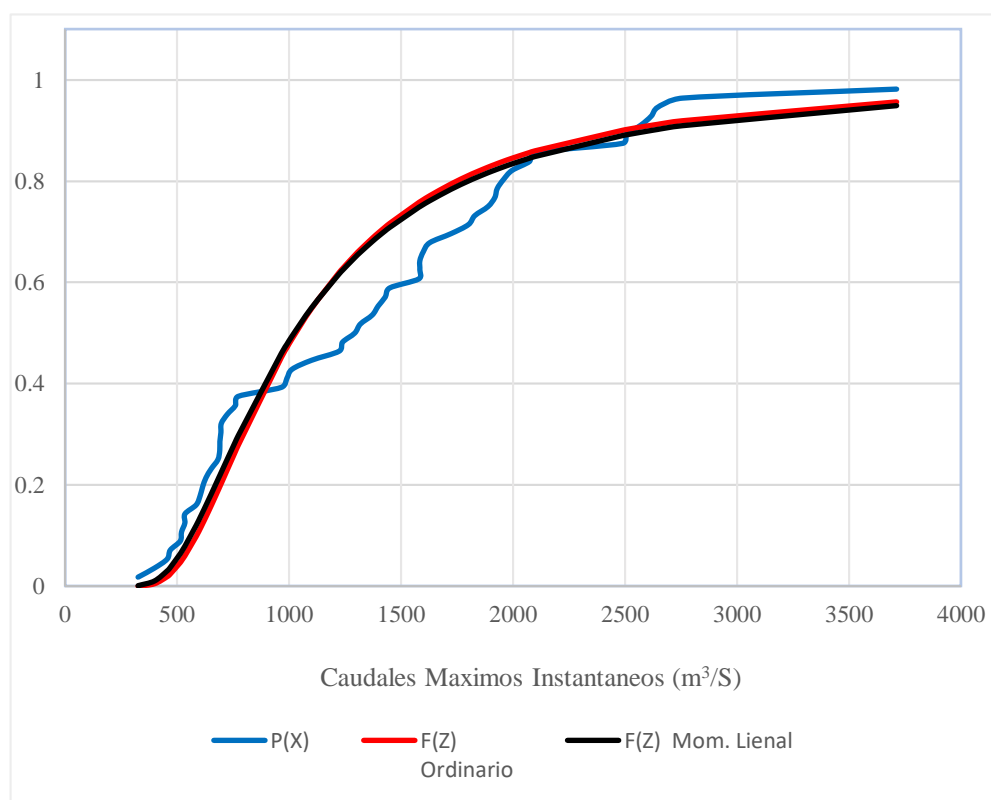


Figura 37. -Ajuste a una Distribución Log Gumbel – Smirnov Kolmogorov

4.2 Cálculo del caudal máximo mediante los modelos probabilísticos

Una vez realizado los diferentes análisis a los datos del aforo de la Estación El Tigre periodo (1965-2019), la cual nos indica que es confiable, se realizó unos cálculos empleando métodos estadísticos para la determinación de los caudales máximos para diferentes periodos de retornos para la distribución de mayor ajuste, empleando el Software Hidroesta 2, la cual muestra los siguientes resultados.

Tabla13. - Caudales máximos con modelos probabilísticos

Distribución	Delta Teórico	Periodo de Retorno (años)					
		2	5	10	25	50	100
D Normal	0.1477	1341.81	1983.05	2318.56	2676.22	2907.21	3114.94
D. LogNormal 2P	0.1145	1134.99	1881.10	2450.3	3247.95	3896.28	4589.17
D. LogNormal 3P	0.1326	1180.28	1879.86	2367.68	3007.43	3499.43	4003.75
D. Gamma 2P	0.1333	1202.54	1903.16	2356.36	2909.33	3305.77	3688.84
D. Gamma 3P	0.1336	1242.79	1937.05	2359.67	2857.57	3205.59	3536.51
LogPearson III	No Ajuste	-	-	-	-	-	-
Gumbel	0.1439	1216.62	1890.07	2335.95	2899.32	3317.26	3732.12
LogGumbel	0.1553	1028.37	1748.22	2484.11	3872.13	5382.26	7463.16
Q. Max. de Diseño		1192.49	1888.93	2381.80	3067.14	3476.77	4304.07

De la tabla anterior tenemos caudales para diferentes periodos de retorno de diferentes distribuciones estadísticas, para la determinación del caudal de diseño, se ha optado por elegir el promedio de las distribuciones con delta teórico que están dentro de **0,11 hasta 0,13**; el cual será empleado para el planteamiento hidráulico de la estructura y además para la modelación hidráulica.

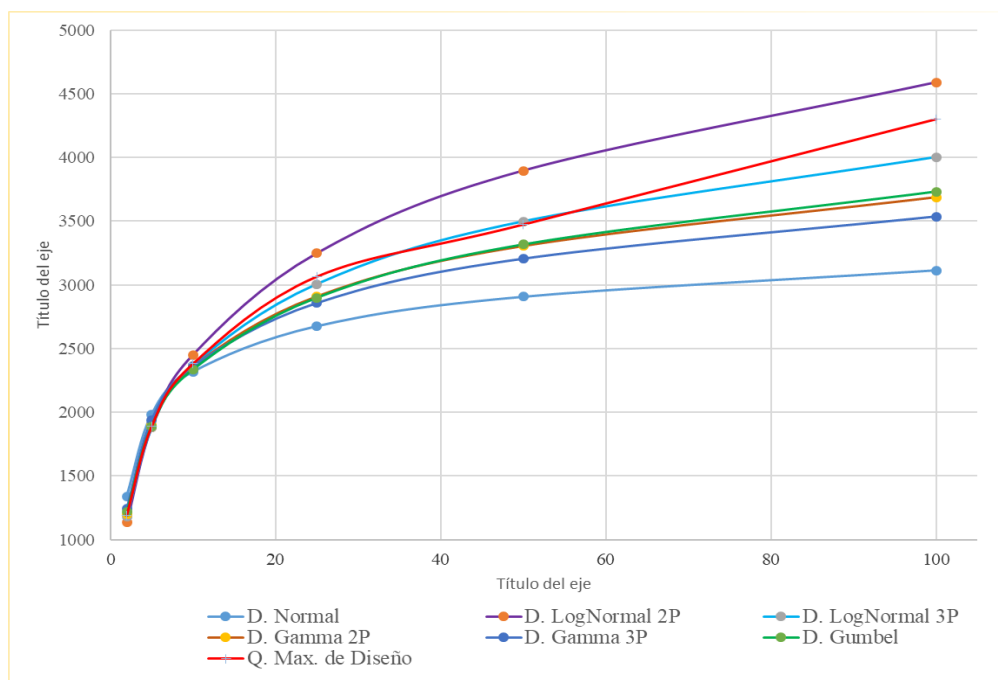


Figura 38. - Caudales máximos con distribuciones estadísticas

4.3 Propuesta de la defensa ribereña.

4.3.1 Beneficio con la obra de protección

“Dentro de los lineamientos de la política de encauzamiento, se incrementa áreas de producción, con inversiones de bajo costo con beneficios inmediatos, incidiendo en el incremento de la economía familiar y nacional”. (Teran, R., 1998)

Dentro de los beneficios que traería el plantear una defensa ribereña en ese tramo, es que se protegerían áreas de cultivos, recuperando también áreas perdidas por el efecto erosivo del agua en máximas crecidas.

En la tabla 14, se muestran valores que corresponden al mes de julio del 2019.

Tabla14.- Número de hectáreas de cultivo y agricultores de cada sector

SECTOR	N° Agricultores	N° hectáreas de cultivos de cada sector					Total Ha
		B.O	B.C	Pla.Domin	cacao	Limón	
Cruz Blanca	84	16	22	31	-	-	69
Cabeza de Lagarto	35	12	17	4	-	-	33
Santa María	55	25	30	12			67
Pampas de Hospital	139	66	48	41	9	4	168
Total	313	119	117	88	9	4	337 ha

Fuente: DRAT-Agencia Agrarias Corrales-Tumbes.

Aspecto Económico

Dentro del aspecto económico se analizó el valor que genera la producción de cada sector. Teniendo un valor total de S/489,590.64, con datos correspondientes al mes de Julio del 2019.

Tabla15. - Valorización de la Producción del sector de Pampas de Hospital

Cultivo	Superficie (ha)	Rendimiento Kg/ha	Precio S./	Valor S/.
Banano Orgánico	66	2100	S/ 0.80	S/110,880.00
Banano convencional	48	2000	S/ 0.35	S/ 33,600.00
dominico	41	1900	S/ 1.20	S/ 93,480.00
cacao	9	94.94	S/ 6.00	S/ 5,126.76
limón	4	333.98	S/ 1.50	S/ 2,003.88
Total	168			S/245,090.64

*Fuente: Estadística informática Agraria -DRAT.
Elaboración propia*

Tabla16. - Valorización de la producción del sector de Santa María

Cultivo	Superficie (ha)	Rendimiento Kg/ha	Precio S./	Valor S/.
Banano Orgánico	25	2100	S/ 0.80	S/ 42,000.00
Banano convencional dominico	30	2000	S/ 0.35	S/ 21,000.00
cacao	12	1900	S/ 1.20	S/ 27,360.00
limón	0	94.94	S/ 6.00	S/ -
limón	0	333.98	S/ 1.50	S/ -
Total	67			S/ 90,360.00

Tabla17. - Valorización de la producción del sector de Cabeza de Lagarto

Cultivo	Superficie (ha)	Rendimiento Kg/ha	Precio S./	Valor S/.
Banano Orgánico	12	2100	S/ 0.80	S/ 20,160.00
Banano convencional dominico	17	2000	S/ 0.35	S/ 11,900.00
cacao	4	1900	S/ 1.20	S/ 9,120.00
limón	0	94.94	S/ 6.00	S/ -
limón	0	333.98	S/ 1.50	S/ -
Total	33			S/ 41,180.00

Tabla18. - Valorización de la producción del sector de Cruz Blanca

Cultivo	Superficie (ha)	Rendimiento Kg/ha	Precio S./	Valor S/.
Banano Orgánico	16	2100	S/ 0.80	S/ 26,880.00
Banano convencional dominico	22	2000	S/ 0.35	S/ 15,400.00
cacao	31	1900	S/ 1.20	S/ 70,680.00
limón	0	94.94	S/ 6.00	S/ -
limón	0	333.98	S/ 1.50	S/ -
Total	69			S/112,960.00

TOTAL

S/489,590.64

El valor del terreno se considera como daño, más aún existiendo áreas sembradas, se cuantifica el valor potencial del cultivo instalado, el grado de pérdida del terreno o cultivo se representa. Además, de la infraestructura existente como canales y/otros esta valorización aumenta.

4.3.2 Diseño Hidráulico de la defensa Ribereña

La medida estructural que se propone para el control de erosión e inundación consiste en un dique con enrocado, ubicado considerando los puntos críticos de desborde. con los cálculos realizado en la fase metodológica, se llegó a tener un planteamiento de sus características geométricas, para definir el diseño hidráulico de la estructura. Además, se propone la instalación de un geotextil bajo el enrocado, el cual permitirá la estabilidad del talud.

“El geotextil debe ser no tejido, de fibra continuas termoligado, de polipropileno estabilizado, del tipo Typar o similar, imputrescible.” (Campaña Toro, 2004)

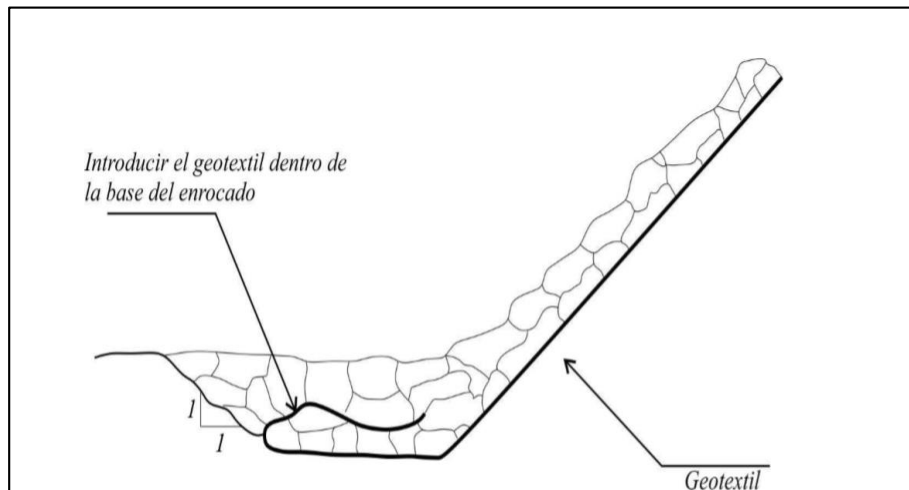


Figura 39.- Colocación de Geotextil (Campaña Toro, 2004)



Figura 40.- Sección Típica a detalle del Dique

4.3.3 Características del Diseño

A través del procesamiento de la información topográfica LIDAR en el AutoCAD Civil 3D, se obtuvo los siguientes datos para cada progresiva de la estructura de protección planteada.

Tabla 19. - Características del diseño de la estructura de protección

Progresiva de dique de protección	Cota de la rasante de diseño (m.s.n.m)	Cota de superficie del eje del río (m.s.n.m)	Cota de fondo del río (m.s.n.m)	Cota del Tirante (m.s.n.m)	Cota del dique (m.s.n.m.)	Cota de profundidad de Uña (m)
0+000	10.75	11.27	10.75	16.34	17.75	6.75
0+050	10.71	11.25	10.75	16.3	17.71	6.71
0+100	10.68	11.30	11.00	16.27	17.67	6.68
0+150	10.64	11.34	11.00	16.23	17.63	6.64
0+200	10.61	13.84	11.00	16.2	17.59	6.61
0+250	10.57	12.06	10.75	16.16	17.55	6.57
0+300	10.54	12.50	9.27	16.13	17.51	6.54
0+350	10.50	11.94	9.50	16.09	17.46	6.50
0+400	10.47	11.80	10.98	16.06	17.42	6.47
0+450	10.43	11.45	10.75	16.02	17.38	6.43
0+500	10.40	10.75	10.74	15.99	17.34	6.40
0+550	10.36	10.32	10.24	15.95	17.30	6.36
0+600	10.33	10.24	9.20	15.92	17.26	6.33
0+650	10.29	10.52	8.37	15.88	17.22	6.29
0+700	10.26	10.08	8.95	15.85	17.18	6.26
0+750	10.22	10.18	9.55	15.81	17.14	6.22
0+800	10.19	9.91	9.90	15.78	17.10	6.19
0+850	10.15	10.34	9.50	15.74	17.06	6.15
0+900	10.12	10.67	9.57	15.71	17.02	6.12
0+950	10.08	10.84	9.75	15.67	16.97	6.08
1+000	10.05	10.90	9.74	15.64	16.93	6.05
1+050	10.01	10.61	9.50	15.6	16.89	6.01
1+100	9.98	10.19	9.54	15.57	16.85	5.98
1+150	9.94	9.95	9.31	15.53	16.81	5.94
1+200	9.91	9.92	9.29	15.5	16.77	5.91
1+250	9.87	9.87	9.75	15.46	16.73	5.87
1+300	9.84	10.23	10.20	15.43	16.69	5.84
1+350	9.80	10.48	10.20	15.39	16.65	5.80
1+400	9.77	10.70	9.90	15.36	16.61	5.77
1+450	9.73	10.82	9.75	15.32	16.57	5.73
1+500	9.70	10.86	9.50	15.29	16.53	5.70
1+550	9.66	10.75	9.50	15.25	16.49	5.66
1+600	9.63	10.86	9.50	15.22	16.44	5.63
1+650	9.59	11.00	10.27	15.18	16.40	5.59
1+700	9.56	10.76	9.84	15.15	16.36	5.56
1+750	9.52	10.40	10.27	15.11	16.32	5.52
1+800	9.49	10.50	10.00	15.08	16.28	5.49
1+850	9.45	10.75	9.25	15.04	16.24	5.45
1+900	9.42	10.50	9.40	15.01	16.20	5.42

Progresiva de dique de protección	Cota de la rasante de diseño (m.s.n.m)	Cota de superficie del eje del río (m.s.n.m)	Cota de fondo del río (m.s.n.m)	Cota del Tirante (m.s.n.m)	Cota del dique (m.s.n.m.)	Cota de profundidad de Uña (m)
1+950	9.38	10.25	9.50	14.97	16.16	5.38
2+000	9.35	10.42	9.50	14.94	16.12	5.35
2+050	9.31	10.51	9.17	14.9	16.08	5.31
2+100	9.28	10.72	9.27	14.87	16.04	5.28
2+150	9.24	10.36	9.37	14.83	16.00	5.24
2+200	9.21	10.07	9.25	14.8	15.95	5.21
2+250	9.17	10.12	9.25	14.76	15.91	5.17
2+300	9.14	10.27	9.26	14.73	15.87	5.14
2+350	9.10	10.27	9.25	14.69	15.83	5.10
2+400	9.07	10.35	9.25	14.66	15.79	5.07
2+450	9.03	10.16	9.25	14.62	15.75	5.03
2+500	9.00	10.14	9.25	14.59	15.71	5.00
2+550	8.96	10.10	9.00	14.55	15.67	4.96
2+600	8.93	10.74	9.00	14.52	15.63	4.93
2+650	8.89	10.99	9.25	14.48	15.59	4.89
2+700	8.86	11.09	9.25	14.45	15.55	4.86
2+750	8.82	10.88	9.25	14.41	15.51	4.82
2+800	8.79	9.84	9.36	14.38	15.47	4.79
2+850	8.75	10.17	8.93	14.34	15.42	4.75
2+900	8.72	10.50	9.04	14.31	15.38	4.72
2+950	8.68	10.58	8.75	14.27	15.34	4.68
3+000	8.65	10.96	8.75	14.24	15.30	4.65
3+050	8.61	11.25	9.01	14.2	15.26	4.61
3+100	8.58	11.49	9.01	14.17	15.22	4.58
3+150	8.54	11.18	8.85	14.13	15.18	4.54
3+200	8.51	10.33	8.75	14.1	15.14	4.51
3+250	8.47	8.96	8.75	14.06	15.10	4.47
3+300	8.44	9.22	8.99	14.03	15.06	4.44
3+350	8.40	9.39	7.50	13.99	15.02	4.40
3+400	8.37	9.51	8.50	13.96	14.98	4.37
3+450	8.33	10.15	8.00	13.92	14.93	4.33
3+500	8.30	10.56	7.50	13.89	14.89	4.30
3+550	8.26	10.16	7.33	13.85	14.85	4.26
3+600	8.23	9.35	7.75	13.82	14.81	4.23
3+650	8.19	9.07	7.51	13.78	14.77	4.19
3+700	8.16	8.68	7.53	13.75	14.73	4.16
3+750	8.12	8.70	8.00	13.71	14.69	4.12
3+800	8.09	8.50	7.42	13.68	14.65	4.09
3+850	8.05	9.80	7.13	13.64	14.61	4.05
3+900	8.02	10.71	7.00	13.61	14.57	4.02
3+950	7.98	10.79	7.50	13.57	14.53	3.98
3+983	7.96	10.39	7.50	13.54	14.50	3.96

Fuente: Elaboración propia

4.4 Modelación Hidráulica

4.4.1 Simulación de escenario base

Corresponde a la situación de la máxima avenida que se generó este año 2019 en el valle del río Tumbes, precisando la simulación dentro del área del dominio en tramo de estudio, cabe mencionar que cuya información topográfica concierne al levantamiento LIDAR (diciembre 2013 – enero 2014), además se cuenta con las estructuras de defensas ribereñas que se encuentran en la actualidad.

Se realizó la simulación de la avenida sucedida el 5 de marzo del 2019, cuyo caudal pico instantáneo que se registró a las 4:00 am, en la estación el tigre fue de 1347,10 m³/s. Esta crecida origino desbordes en ambas márgenes, afectando gran parte de las áreas agrícolas que se encuentras aguas debajo del puente Francos.



Figura 41. - Crecida del río Tumbes 05-03-2019. - sección puente de Francos (imagen superior), inundación de áreas agrícolas aguas abajo del puente Francos (imágenes inferiores)

5.4.1.1. Determinación de puntos de desborde

Los resultados de la simulación, permite determinar cuáles son los puntos críticos en donde el río empieza a desbordar, para ello se muestran de acuerdo a momentos claves de la crecida en el tramo de estudio.

Instante 2:50 am 05-03-2019

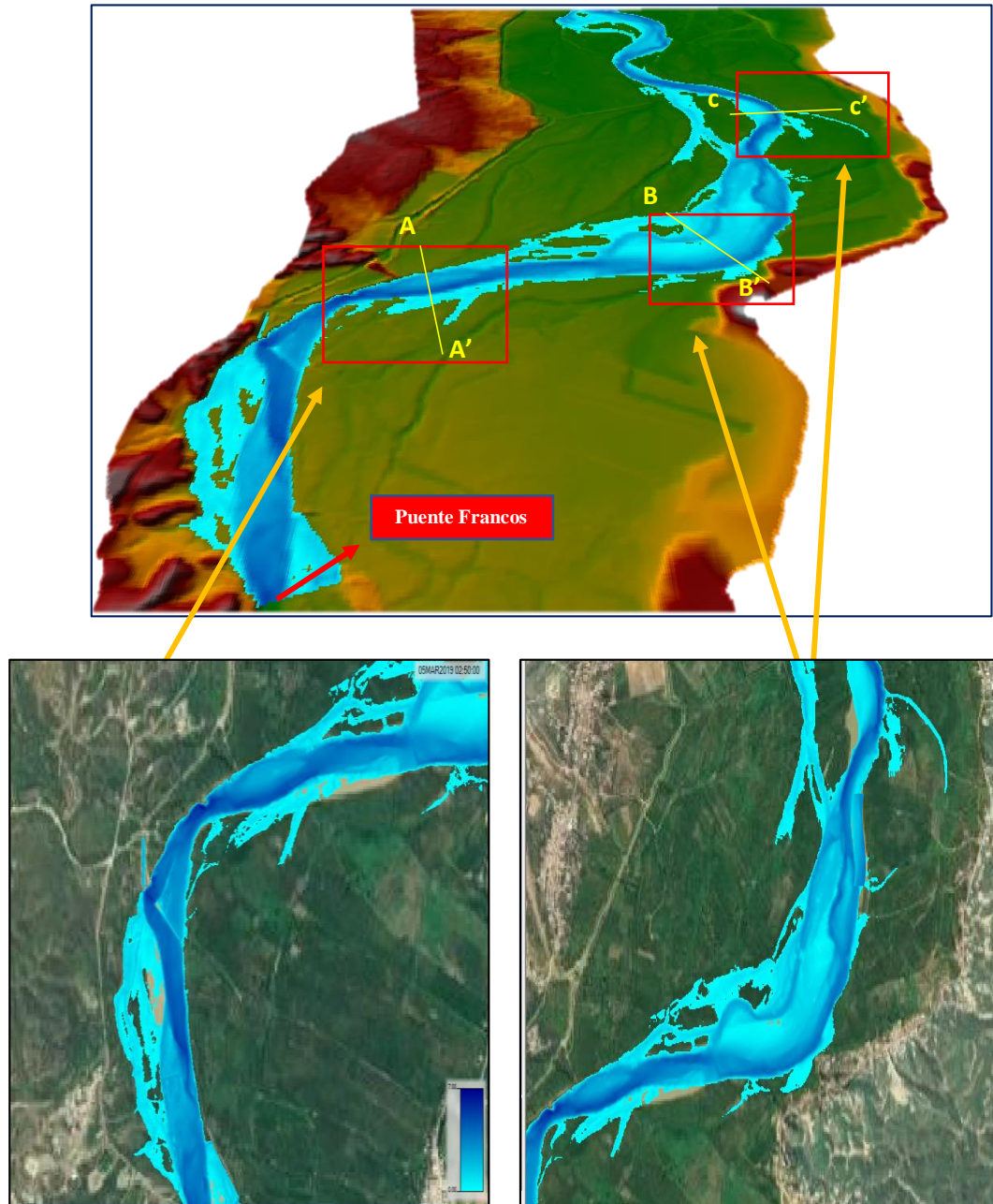


Figura 42. - Vista 3D de resultados de simulación de "escenario base" en el tramo de Estudio. (imagen superior). Puntos de inicio de desborde en tramo de estudio (imágenes inferiores), Instante 2:50 am 05-03-2019.

En la figura 42 se observa los puntos críticos de inicio del desborde, en ese instante se muestra en la sección A-A' (progresiva 1+ 650), cruza un caudal de 912 m³/s, la cota del agua alcanza los 14,35m, aguas abajo en todo el tramo donde cambia de dirección el cauce- tramo curva – sección B-B', alcanza una cota 13,2m y en la sección C-C' (progresiva 4+ 973), alcanza una cota de 12,05m.

Entre las progresivas 1+600 y 4+973 que corresponde a los sectores de santa María – Cruz Blanca se va produciendo la inundación, debido a que el ingreso del agua llega a cotas más bajas.

En el tramo del puente de Francos, entre la sección 0+000 y la 0+990 el flujo queda retenido por el muro de contención que se ubica en la margen derecha, protegiendo hasta ese instante el sector de Pampas de Hospital, sin embargo, margen izquierda, ya se va produciendo la inundación.

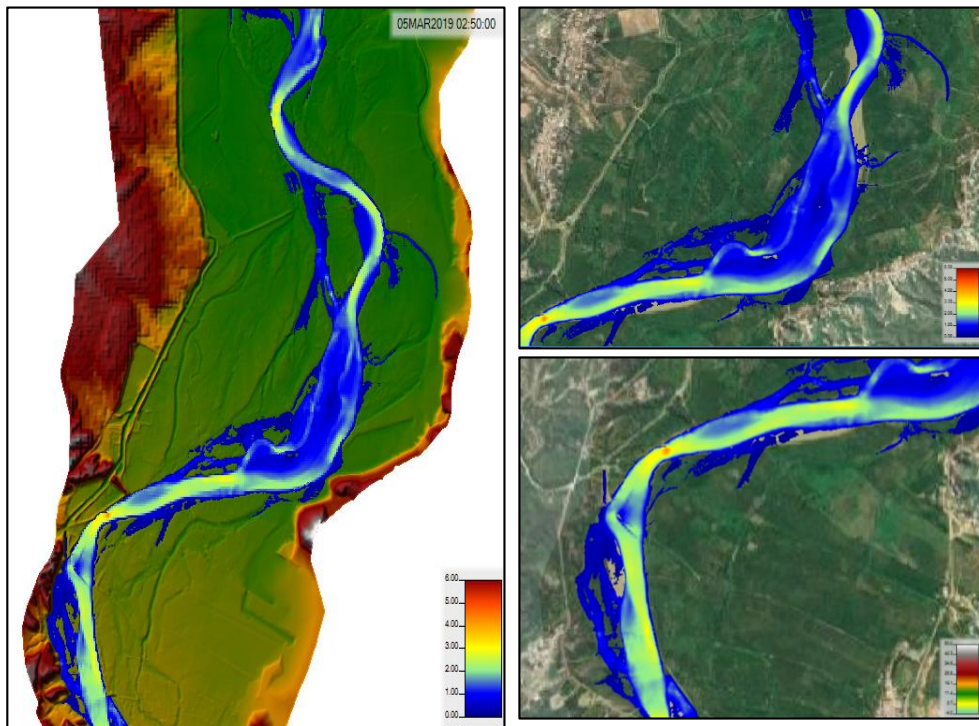


Figura 43.- Mapeo de las velocidades medias en tramo de estudio

En la figura 43 muestras las velocidades en ese instante, en la sección A-A' llega alcanzar velocidades hasta de 2,20 m/s, en el tramo de la curva – sección B-B', alcanza velocidades hasta de 2,00 m/s, y en la sección C-C' llega hasta velocidades de 2,35 m/s.

Instante 6:00 am 05-03-2019

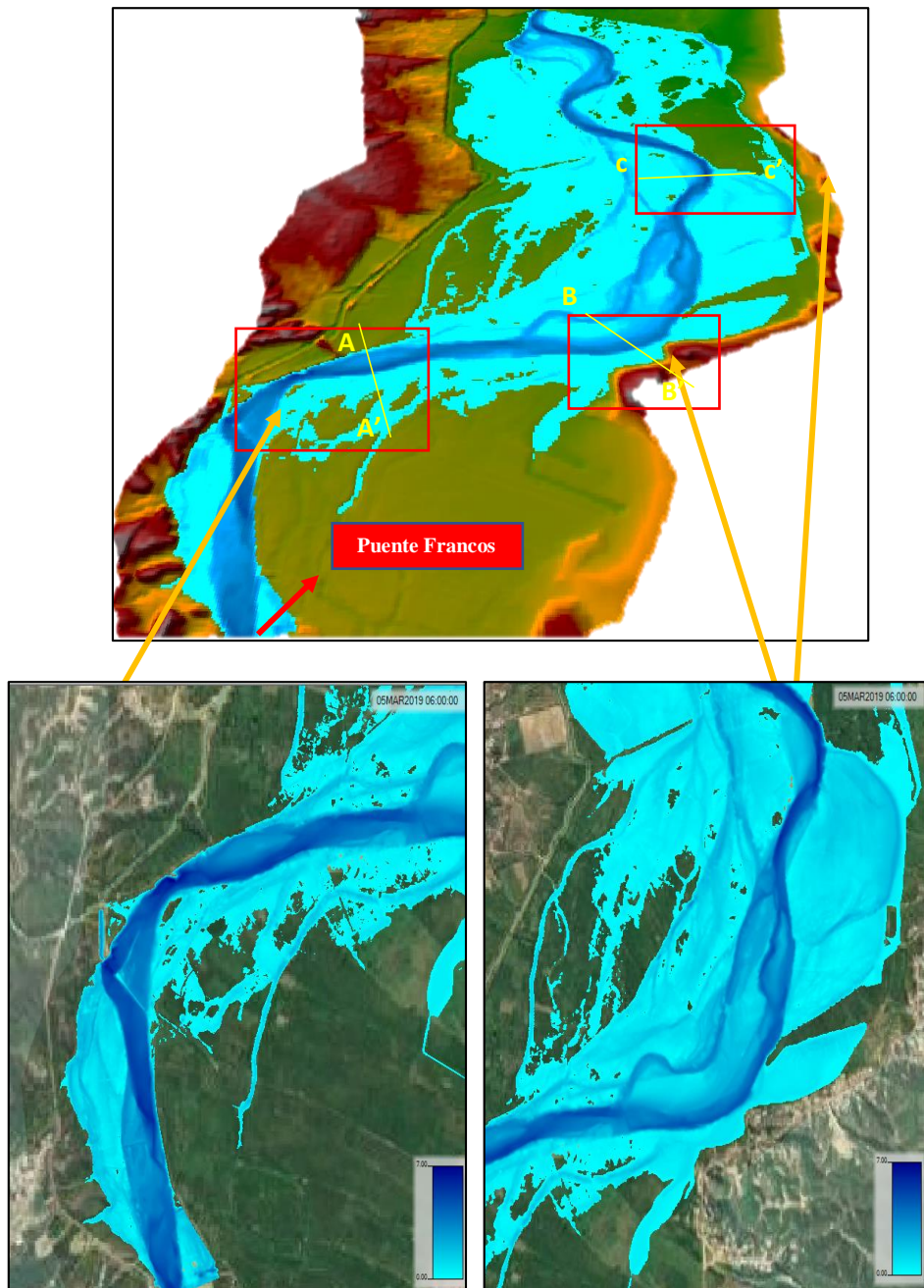


Figura 44.- Vista 3D de resultados de simulación de "escenario base" en el tramo de Estudio.(imagen superior). Puntos de desbordes en tramo de estudio. (imágenes inferiores) Instante 6:00 am 05-03-2019

En la figura 44 se observa gran parte de las áreas inundadas, en ese instante se muestra que en la sección A-A' (progresiva 1+ 650), cruza un caudal de 1308 m³/s, la cota del agua alcanza los 14,93m, aguas abajo en todo el tramo donde cambia de dirección el cauce- tramo curva – sección B-B', alcanza una cota 13,71m y en la sección C-C' (progresiva 4+973), alcanza una cota de 13.08m.

Entre las progresivas 1+600 y 4+973, que corresponde a los sectores de estudio, en el sector de Cruz Blanca, se observa que las manchas de inundación abarcan gran parte de las áreas agrícolas, también va aumentando las zonas inundables en los sectores de Cabeza de lagarto y Santa María. Teniendo un área inundada de 129ha. Y en la margen izquierda un área de 157 ha.

Aguas abajo del puente francos en la progresiva 0+990, donde culmina el muro de contención, el flujo empieza a ingresar por dicha zona, generando manchas de inundación en el sector de pampas de Hospital.

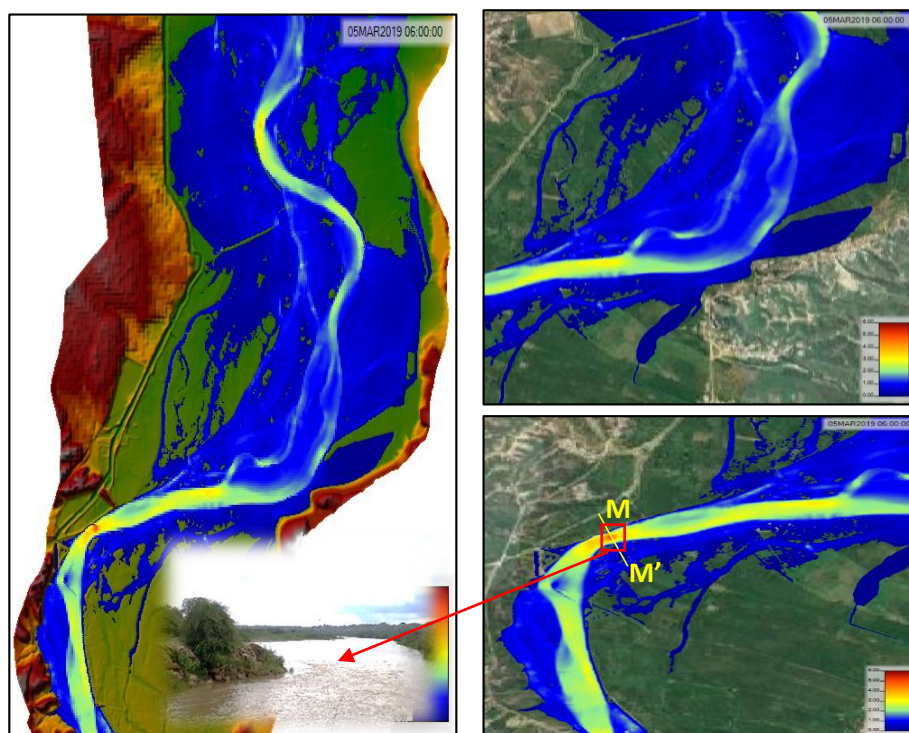


Figura 45. - Mapeo de las velocidades medias en tramo de estudio instante 6:00 am 05-03-2019

En la figura 45 muestras la distribución de las velocidades, en ese instante en la sección A-A' llega alcanzar velocidades hasta de 2,60 m/s., en el tramo de la curva – sección B-B', alcanza velocidades hasta de 1,83 m/s, y en la sección C-C' llega hasta velocidades de 2,10 m/s.

En la sección M-M', se observa el cambio de velocidad, debido a que en esa parte existe un enrocado, y además es zona profunda, llega alcanzar velocidades hasta 3,92 m/s. y tirantes hasta de 6,21 m llegando la cota de agua hasta los 15,20 m.

4.4.2 Ubicación de la Defensa Ribereña

Se determinaron los puntos donde desborda el río y se plantea la ubicación de la defensa ribereña, que consiste en un enrocado de 3983 metros lineal, según los cálculos hidráulicos se determinó una altura de 7 metros, esta defensa protegería los sectores de la margen derecha entre la progresiva 0+990 y 4+973 (sectores de Pampas de Hospital hasta Cruz Blanca).

4.4.3 Escenario 1. – Simulación de un evento extraordinario-sin Proyecto

En este escenario se realiza la simulación empleando valores de caudales que van aumentando de forma gradual, hasta llegar al caudal máximo de diseño que es de 3476,77 m³/s. Teniendo las condiciones actuales en las que se encuentra el tramo de estudio, es decir sin la ubicación de la defensa.

Instante 12:30

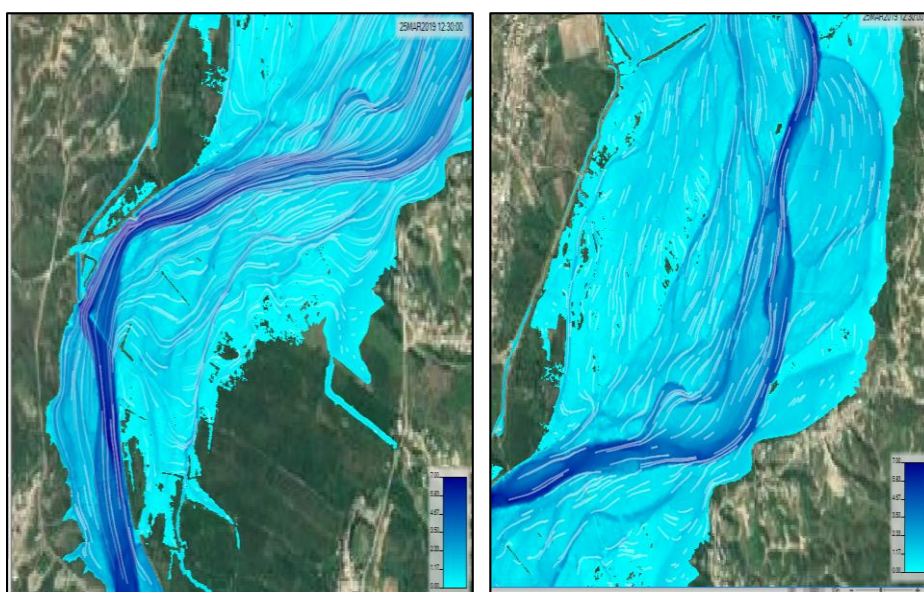


Figura 46. - Inundación en los sectores de Pampas de Hospital hasta Cruz Blanca. Instante 12:30 am

En ese instante, en la figura 46, muestra que el flujo de agua ya ha ingresado en gran parte de los sectores de Santa María, Cabeza de Lagarto y Cruz Blanca así también como en los sectores que se encuentran en la margen izquierda, además se puede apreciar que se viene generando manchas de inundación en el sector de Pampas de Hospital, hasta ese instante se tiene un caudal de ingreso de 1900 m³/s.

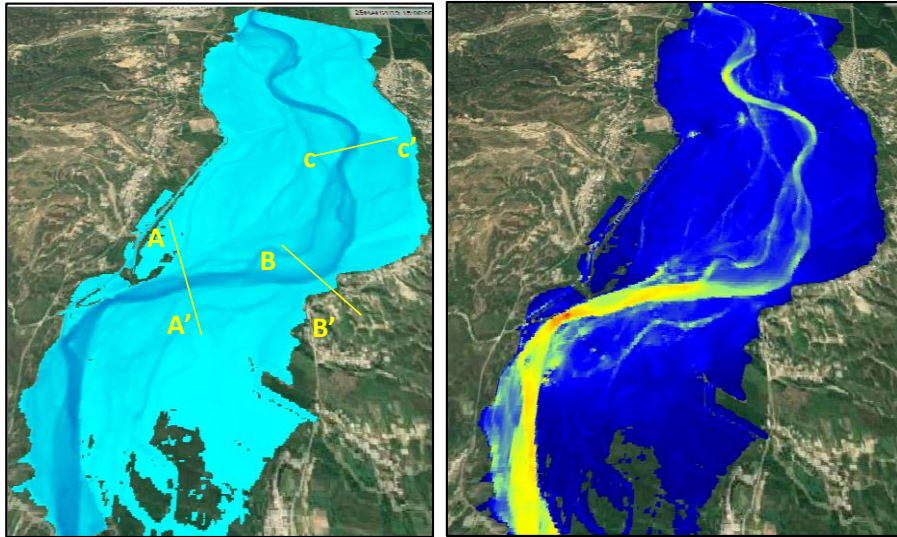


Figura 47.- Mapeo de inundación en zona de estudio (imagen izquierda), distribución de las velocidades (imagen derecha) instante 15:00 hr.

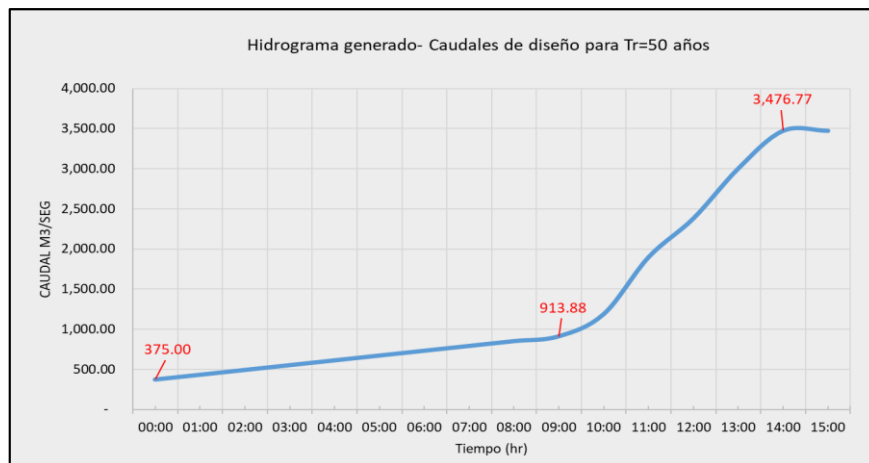


Figura 48.- Hidrograma empleado en la simulación

En la figura 47, muestra que ese instante donde ha transcurrido 15:00 horas, el caudal máximo instantáneo de ingreso es de $3476,77\text{m}^3/\text{s}$, teniendo en la margen derecha un área de inundación de 327 ha, aguas abajo del puente francos en la progresiva 1+650, la sección A – A', la cota de agua alcanza hasta los 15,81 m, con un caudal de $2976,62\text{m}^3/\text{s}$., en la progresiva 3+240, en la curva, sección B – B' la cota de agua alcanza hasta los 14,62 m, con un caudal de $2023\text{m}^3/\text{s}$., en la progresiva 4+973, en el fin del tramo de estudio, en la sección c – c' la cota de agua alcanza hasta los 13,80 m con un caudal de $1,500\text{m}^3/\text{s}$.

En figura 47, también muestra las distribuciones de las velocidades en ese instante, en la sección A – A' llega alcanzar velocidades hasta de 4.00 m/s, en la sección B – B' alcanza velocidades hasta de 2,34 m/s y en la sección c – c', llega hasta los 2,32 m/s.

4.4.4 Escenario 2. – Simulación del evento extraordinario – con Proyecto

En este escenario se realiza la simulación empleando el Hidrograma de la figura 48, donde caudal máximo de diseño es de $3476,77 \text{ m}^3/\text{s}$. Ubicando la defensa, cuya cota de corona del dique llega hasta los 17,75; que va descendiendo con una ligera pendiente hasta llegar a su cota final en 14,96 m.

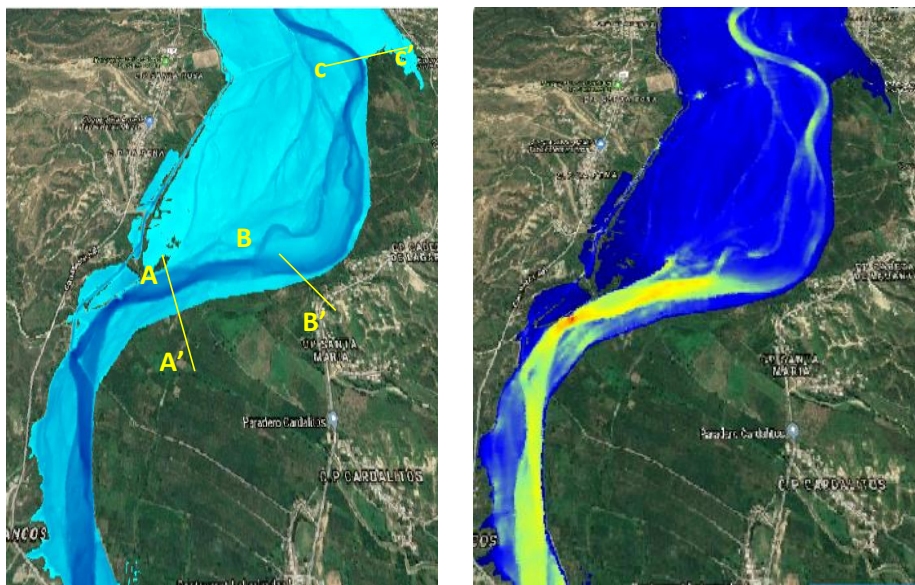


Figura 49.- Mapeo de inundación en zona de estudio (imagen izquierda), distribución de las velocidades (imagen derecha) – con proyecto.

En la figura 49 muestra la efectividad Hidráulica, de la estructura que se planteó con el diseño determinado con los datos iniciales, protegiendo 337 hectáreas, y beneficiando a 313 agricultores.

En la figura 49, en ese instante se puede mostrar que en la sección A – A', la cota de agua alcanza valores hasta de 16,24m, considerando que la corona del dique tiene la cota de 17,75 m, el flujo no logra sobre pasarlo. En la sección B – B', la cota de agua alcanza valores hasta de 14,70 m, el flujo tampoco logra sobre pasar la cota de la corona del dique por ese tramo, y en la sección c-c', llega la cota de agua hasta los 13,81 m, por lo tanto, no sobre pasa la cota de la corona del dique ya que en su parte final la cota de corona del dique es de 14,96m.

Se muestra además que, en el sector de Cerro Blanco, se ha generado manchas de inundación en las áreas agrícolas, y gran parte de los sectores de la Peña, y santa Rosa, en margen izquierda queda totalmente inundado, ya que los niveles de agua, superan a las cotas de las áreas agrícolas que están entre 12,30m y 13,20 m.

V. DISCUSIÓN

Según el (PLAN DE GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA TUMBES, 2015), concluyó que las zonas más bajas de las cuencas se encuentran los riesgos más altos, se menciona los casos, por ejemplo la desembocadura del río Tumbes y en especial las poblaciones ribereñas de Garbanzal, San Juan de la Virgen, Cerro Blanco, Pampas de Hospital y la propia ciudad de Tumbes son las que presentan altos riesgos, esto se confirma con los resultados obtenidos en este trabajo, donde muestran como puntos críticos de desbordes y zonas inundables las ambas márgenes del río Tumbes aguas abajo del puente Francos.

En la investigación de (NIQUEN Y NIQUEN, 2018), en uno de sus resultados menciona que en la sección 0+100 del estudio, parte un caudal de 914 m³/s, donde muestran velocidades hasta de 1,83 m/s. y con tirantes de 4,50m. Sin embargo, en este trabajo, muestra resultados variables con respecto a la velocidad del flujo, ya que para un caudal de 914m³/s en el instante donde ha transcurrido 9:00 horas, en el mismo tramo de estudio nos arroja velocidades hasta de 2,24 m/s. y con respecto al tirante hidráulico encontramos similitud pues alcanza valores hasta de 4,56m.

(NIQUEN Y NIQUEN, 2018), menciona que, a lo largo del cauce, las velocidades máximas tienden a concentrarse en la parte externa de la curva (margen externa), alcanzando valores hasta de 2,89 m³/s, siendo un resultado justificable para el planteamiento de construcción de defensas ribereñas como enrocados, gaviones, y batería de espigones. Con respecto a ello hacemos énfasis en lo siguiente, que nuestra propuesta de instalar una infraestructura de defensa ribereña en los sectores en estudio está más que apoyada por estudios ya realizados en esta zona, según nuestros resultados también podemos contrastar los siguiente, debido a que se realiza una simulación para una avenida máxima, se muestran velocidades mucho más altas, donde se observa que en la sección A – A' (progresiva 1+650), se llega a generar velocidades hasta de 3,90 m/s. y tirantes hasta de 5,70 y en la sección B – B' (progresiva 3+240) en la curva donde cambia la dirección del flujo, alcanzan velocidades hasta de 2,33 m/s y tirantes de 5,37m. A demás se señala que en la sección M-M' (1+535) es donde se puede visualizar un cambio muy marcado de velocidades por estar ubicada en una zona curva, generándose velocidades para una avenida máxima hasta 6,21m/s. y tirantes de 7,89m, cabe mencionar que este tirante llega a una

cota de 16,53m que no llega a superar la cota de nuestra estructura propuesta que es de 17,75 m.

Además, los resultados del escenario 2, en el que se considera la estructura de protección en los puntos críticos donde desborda el río muestra que se controla el problema de la inundación y con ello también la erosión en la zona de estudio, dando como resultados garantizar la producción y cosecha de los cultivos en las áreas agrícolas.

Para la realización de este proyecto nos vimos limitados en la parte topográfica, ya que no se contó con datos topográficos actuales, ya que para este tipo de trabajos se necesita de información y características del área en estudio en condiciones topográficas actuales. Así como lo menciona (Elizalde, K., & Escobar, F., 2017), uno de los aspectos más importantes para trabajos de modelación hidráulica en ríos, es la información topográfica. Es por ello que se trabajó con la topografía de alta precisión (producto del levantamiento LIDAR), otorgado por la secretaria técnica del consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Tumbes.

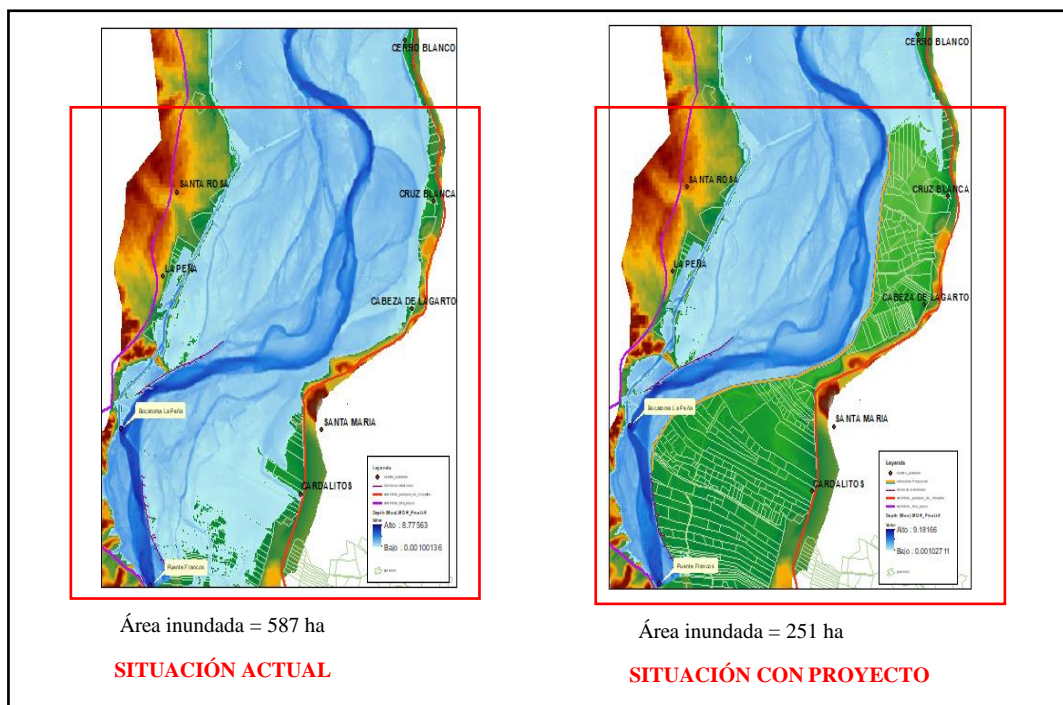


Figura 50. - Comparación de escenario 1 (situación actual) y el escenario 2 (situación con proyecto), instalación de la defensa ribereña en la margen derecha, para un evento extraordinario cuyo caudal máximo es de 3476,77 m³/s. se muestra el área de inundación.

VI. CONCLUSIONES

- Se logró realizar este trabajo utilizando registro de información de un periodo de 55 años (1965 – 2019) de caudales máximos instantáneos generados en el río Tumbes que fueron procesados y calculados por métodos matemáticos y estadísticos.
- Con los modelos estadísticos empleados se determinó un caudal máximo de diseño de 3476,77 m³/s, esto para un periodo de retorno de 50 años. Dicho valor se empleó para la simulación
- La estructura propuesta será de un dique conformado por material propio del cauce, colocando enrocado en su cara húmeda, incorporando un geotextil bajo el enrocado, para evitar las filtraciones y la desestabilidad del talud, este tendrá una longitud de 3983 m, una altura de 7,00 m, un ancho de corona de 4,00 m y una profundidad de uña antisocavante de 4,00m
- Los resultados que se muestra en la simulación del escenario 1, muestran que, al no construirse un defensa en los puntos críticos determinados, generarían una inundación con tirantes de hasta 1,70 m en las áreas agrícolas de Pampas de Hospital, por lo tanto, se llega a la conclusión que no solo protegería los sectores en estudio, sino que también el sector de pampas de hospital se vería beneficiado.
- Para un escenario con condiciones actuales simulando un evento extraordinario cuyo caudal máximo es 3476, m³/s y tiempo de simulación de 15 horas se observó un área de inundación de 327 ha en margen derecha y 260 ha en la margen izquierda.
- Para un escenario ubicando la defensa ribereña propuesta y simulando un evento extraordinario cuyo caudal máximo es de 3476,77m³/s, se contempló la efectividad hidráulica de la infraestructura planteada, la cual garantiza la protección de 337 ha agrícolas y beneficiando a 313 agricultores.
- Por lo tanto, se concluye que la estructura que se planteó con características geométricas descritas, hidráulicamente es efectiva para el control de inundación y erosión en los sectores de estudio.

VII. RECOMENDACIONES

- Utilizar data histórica o registro de información para trabajos de investigación similares un numero de datos no menor a 40 años, con la finalidad de garantizar un mejor ajuste del modelo hacia los datos.
- Ejecutar la construcción de la estructura de defensa ribereña propuesta en este trabajo para los sectores en estudio, pues para un evento extraordinario se observó un área de inundación de 327 ha.
- Instalar también estructura de defensa ribereña en el sector Cerro blanco y margen izquierda del rio Tumbes justo en frente de los sectores en estudio pues según las simulaciones hechas, las zonas ya mencionadas también son considerablemente inundadas.
- Repoblar forestalmente la cuenca hidrográfica de Tumbes siendo esta la que constituye una fuente de agua para los cultivos, y zona de amortiguamiento contra las inundaciones.
- Identificar puntos críticos y gestionar la ejecución de proyectos de infraestructuras de defensas ribereñas a lo largo del rio Tumbes.
- Ordenar adecuadamente a pobladores y agricultores basándose en la Ley de recursos Hídricos N°29338 con la finalidad de hacer respetar las dimensiones de las fajas marginales establecidas por la Autoridad administrativa y local del Agua (ALA) según criterio de su reglamento, todo ello para evitar la ocupación indebida de los cauces ya sean por viviendas o cultivos pues esto hace que los riesgos se vean incrementados y que los daños que ocurran sean más considerables, ocasionando mayores pérdidas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aparicio Mijares. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Mexico: Limusa.
- Autoridad Nacional del Agua. (2014). *TRATAMIENTO DE CAUCE DEL RIO TUMBES PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES*. LIMA.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. (s.f.). *Reglamento de la ley de recursos hidricos*. Reglamento.
- Cáceres Callo, K. A., & Ataucuri Enriquez, R. (2018). *Análisis de la vulnerabilidad hidrológica del tramo de la carretera interoceánica comprendido entre el Km 12+000 al Km 14+000 en la variante de Uchumayo Arequipa*. Arequipa: Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Agustín.
- Campaña Toro. (2004). *diseño de defensas ribereñas* .
- Canllahui, D. (2013). *“ANALISIS COMPARATIVO DE METODOS DE ESTIMACION DE AVENIDAS DE DISEÑO DEL RIO VERDE-CABANILLA-PUNO”*. Puno - Peru.
- Chanson, H. (2002). *Hidraulica del Flujo en Canales Abiertos*. MC Graw Hill.
- COEN & INDECI. (2017). *Inundaciones que afectan la provincia de Tumbes*. Tumbes.
- Cuervo,A. (2012). *Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (HEC-RAS) y bidimensional (IBER) en el análisis del rompimiento de presas de materiales sueltos*. . Barcelona.
- Elizalde, K., & Escobar, F. . (2017). *CONTROL DE LAS INUNDACIONES EN EL VALLE DEL RÍO TUMBES MEDIANTE LA HABILITACIÓN DE UN CAUCE DE ALIVIO - SIMULACIÓN HIDRÁULICA*. Tumbes: UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES.
- FAO. (2018). *CORPORATION FAO*. Obtenido de CORPORATION FAO: <http://www.fao.org/emergencias/tipos-de-peligros-y-de-emergencias/inundaciones/es/>
- Gary W. Brunner, CEIWR-HEC . (2016). *Manual de Usuario 2D modelado* .
- GOBIERNO REGIONAL DE TUMBES. (2012). *“Instalación de servicio de protección de rivera en el sector margen derecha del rio tumbes localidad cabeza de lagarto distrito de pampas de hospital provincia y departamento de Tumbes” - Perfil de Inversión Publica* . Tumbes.
- HUAMAN, D. (2018). *“HIDROMETRÍA DE ALTA PRECISIÓN DURANTE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS EN EL NORTE DEL PERÚ: CASO DE LOS RÍOS BINACIONALES PUYANGO-TUMBES Y ZARUMILLA”* . Tumbes.
- INDECI. (2017). *Boletín estadístico virtual de la gestión reactiva*. Lima.
- INGEMMET,. (2006). *Estudio Geoambiental de la cuenca del Río Puyango-Tumbes*. Recuperado a partir de <http://es.calameo.com/read/000820129870b76722e91>, Lima.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo*. Manual. Lima.
- Leopold, Luna, B., Wolman, M., & Miller, J. P. (2012). *Fluvial Processes in Geomorphology* . Courier Corporation.

- LLuen, W. (2015). *APLICACION DE LA NUEVA HERRAMIENTA HEC-RAS 5.0 PARA CALCULOS BIDIMENSIONALES DEL FLUJO DE AGUA EN RIOS*. Barcelona.
- Mamani, H. (2014). *“MODELAMIENTO DE MAXIMAS AVENIDAS QUE GENERAN RIESGO DE INUNDACION EN LA CIUDAD DE AYAVIRI - PUNO”*. Puno-Perú: UNA-PUNO.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2011). *Manual de diseño hidrológica, hidráulica y drenaje del MTC*. Lima.
- Mochica, E. (2014). *“ANALISIS DE MAXIMAS AVENIDAS CON FINES DE DISEÑO DE DEFENSA DEL RIOCHICHANACO DE LA CIUDAD DE SANDIA”*. Puno: UNA-PUNO.
- Moya, V. K. (2016). *Application of 2D numerical simulation analysis of the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia Flood: Application of the new HEC RAS version 5*. RIBAGUA: doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.riba.2015.12.001> .
- Nania, E. (2007). *Modelamiento de ríos con Hec-Ras y SIG*. Granada España. .
- NIQUEN Y NIQUEN. (2018). *Metodología Para La Estimación Y Mitigación De La Erosión Marginal De La Margen Izquierda Y Derecha Del Río Tumbes – Aguas Abajo Del Puente Francos Al Sector San Jacinto*. Universidad Nacional De Piura, Escuela De Ingeniería Civil- Piura.
- Oficina Regional de Defensa Civil. (2009). *Sustento técnico para declaratoria en situación de emergencia Tumbes por peligro inminente ante las lluvias 2008-2009*. Tumbes: Sn.
- Ordoñez J. (2011). *cartilla tecnica de cuenca Hidrografica*. Lima-Perú: ISBN.
- PMGRH. (2012). *ANEXO 20, morfología y dinamica fluvial del rio tumbes*.
- proyecto de modernizacion de la gestion de los recursos hidricos. (2015). *plan de gestion de los recursos hidricos de la cuenca tumbes*. lima, Perú.
- ROCHA FELICES, A. (s.f.). Fenomeno el Niño en el Perú en 1578 y el pago de impuestos. *Fenomeno el Niño en el Perú en 1578 y el pago de impuestos*. Lima, Perú.
- Rocha, A. (1998). *Introduccion a la Hidraulica Fluvial*. Lima-Perú: UNI.
- Rocha, A. (2016). *Hidraulica de Tuberia y Canales*. Universidad Nacional de ingeniería: Hidroclie.
- Sandoval, W. (29 de marzo de 2015). Desborde del río Tumbes inunda más de 7.500 hectáreas. . *El Comercio.*, págs. Recuperado a partir de <http://elcomercio.pe/peru/Tumbes/desborde-rio-Tumbesinunda-7-500-hectareas-347248> .
- Teran, R. (1998). *Diseño y Construcción de defensas ribereñas*. Lima: Charles Sutton.
- Vásquez, A. (2016). *Manejo y gestión de cuencas Hidrograficas*. Lima: UNALM.
- VEJAR, M. V. (s.f.). *Hidrologia Estadistica*. LIMA.
- Villon, M. (2002). *Hidrologia*. Lima-Perú.
- WMO & UNESCO. (2012). *International Glosario of Hydrology*. IHP/OHP-Berichte (Tercera).
- Yzocupe, V. (2006). *Simulación de flujo 1D en canales abiertos*. Revista de investigación de Física, 9(1), 7-16.

IX. ANEXOS



Figura 51. - Áreas Agrícolas inundadas generada por la crecida del 05 de marzo del 2019, aguas abajo del puente Francos.



Figura 53.- Sección donde el flujo del agua llega a ingresar y producir velocidades máximas aguas abajo en la margen derecha



Figura 52.- Punto crítico donde se produce erosión en la ribera del sector de Santa María - Cabeza de lagarto



Figura 54.- Miembros del proyecto de investigación en entrevista realizada a un Agricultor de la zona.



Figura 55.- Punto crítico donde se produce erosión en la ribera del sector de Cruz Blanca

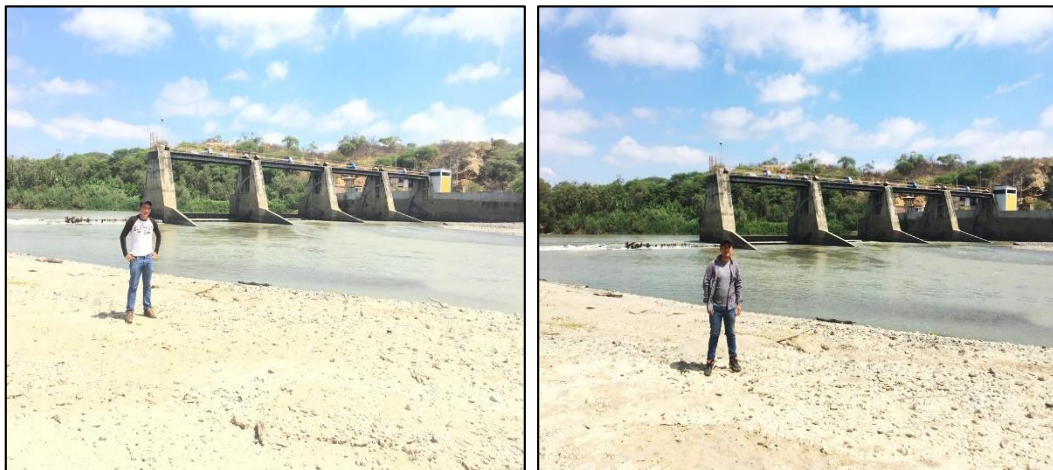


Figura 56.- Miembros de la investigación en la Bocatoma la Peña- aguas Abajo Puente Francos (progresiva 1+200)



Figura 57.- Muro de material Propio del cauce en la margen izquierda.



Figura 58.- Áreas agrícolas de banano en el sector Cruz Blanca



Figura 59.- Áreas agrícolas de banano en el sector de Santa. María

PLANOS DE UBICACIÓN

PLANOS DE TOPOGRAFÍA

RESULTADOS DE LA MODELACIÓN