

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



Identificación de áreas agrícolas inundables por caudales máximos del
rio Tumbes en sectores Arena - La Palma y Ruston - La invernada –
2023

Tesis

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola

Presentado por:

Br. Porrás Preciado Luigi Jair

Tumbes 2026

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



Identificación de áreas agrícolas inundables por caudales máximos del
rio Tumbes en sectores Arena - La Palma y Ruston - La invernada –
2023

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Presidente)

Dr. Eber Gines Tafur (Secretario)

Dr. Alburqueque Viera Francisco (Vocal)

Dr. Napoleón Puño Lecarnaque (Accesitario)

Tumbes 2026

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



Identificación de áreas agrícolas inundables por caudales máximos del
rio Tumbes en sectores Arena - La Palma y Ruston - La invernada –
2023

Los suscritos declaramos que el proyecto de tesis es original en su
contenido y forma

Br. Porras Preciado Luigui Jair (Autor)

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line.

Dr. Alburquerque Viera Francisco (Asesor)

Código ORCID: 0000-0002-7468-5386

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line. A faint watermark 'Worship PDF' is visible in the background.

Ing. Henry Fernando More Medrano (Co Asesor)

A handwritten signature in blue ink, written over a horizontal line.

Tumbes, 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los **VEINTISIETE** días del mes de **MARZO** del dos mil veintiséis, siendo las **ONCE** horas, en el aula virtual 2, del **Laboratorio de Mecánica de Suelos** de la **Facultad de Ciencias Agrarias**, se reunieron el Jurados Calificador designados por **RESOLUCIÓN N°207-2024/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D**, **Dr. José Modesto Carrillo Sarango** (Presidente); **Dr. Eber Gines Tafur** (secretario); **Dr. Francisco Albuquerque Viera** (Vocal), **Dr. Napoleón Puño Lecarnaque** como (Accesitario), reconociendo con la misma resolución, al **Dr. Francisco Albuquerque Viera** como (Asesor) , se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada: **"Modelamiento hidráulico para la identificación de áreas inundables en los sectores agrícolas Arena - La Palma y Ruston - La invernada - 2023"**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Agrícola**, presentado por el **Br. Luigi Jair Porras Preciado**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Br. Luigi Jair Porras Preciado, APROBADA por UNANIMIDAD**, con el calificativo **MUY BUENO** se hace conocer al sustentante, que deberá levantar observaciones finales echas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda **APTO** para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de **Ingeniero Agrícola**, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las **DOCE** horas y **TRECE** minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

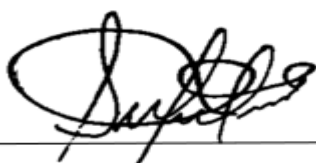
Tumbes, 27 de **MARZO** del año 2026

Dr. José Modesto Carrillo Sarango DNI N°: 00223850 CODIGO ORCID: 0000-0003-0841-3064 Presidente	Dr. Eber Gines Tafur DNI N° 17542075 CODIGO ORCID: 0000-0001-9863-4623 Secretario
Dr. Francisco Albuquerque Viera DNI N° : 03605124 CODIGO ORCID: 0000-0002-7468-5386 VOCAL	Dr. Napoleón Puño Lecarnaque DNI N° : 00225904 CODIGO ORCID: 0000-0002-5008-8085 Accesitario

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
JMI/JCO

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Porras Preciado Luigi Jair, declaro que los resultados expuestos en esta tesis **Identificación de Áreas Agrícolas Inundables causadas por Caudales Máximos del Río Tumbes en sectores Arena - La Palma y Ruston – La Inverna, 2023**, certifico que la tesis aquí presentada es producto de mi esfuerzo, contando con el soporte técnico y metodológico de mis asesores y terceros en áreas específicas de análisis. Manifiesto que este documento no infringe derechos de propiedad intelectual, ya que el uso de fuentes secundarias se limita a fines comparativos o ilustrativos y se encuentra estrictamente referenciado, con el único propósito de ilustración o comparación. En este contexto, aseguro que cualquier información presentada sin la debida cita a un tercero es de mi exclusiva autoría. Por último, declaro que la redacción de esta tesis es el resultado de mi trabajo personal, guiado y respaldado por asesores y miembros del jurado, en lo que respecta a su concepción, estilo y expresión escrita.



Br. Porras Preciado Luigi Jair

DNI N.º 75310035

Porras Preciado Luigi Jair

INFORME DE TESIS Porras Preciado Luigui Jair

 Informe Final de Tesis

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:584241932

Fecha de entrega

28 abr 2026, 14:17 GMT-5

Fecha de descarga

28 abr 2026, 14:23 GMT-5

Nombre del archivo

INFORME DE TESIS Porras Preciado Luigui Jair.pdf


Tamaño del archivo

7.2 MB

74 páginas

10.366 palabras

56.978 caracteres



Dr. Francisco Alburquerque Viera
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0002-7408-5386






20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 18%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 15%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión




Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Dr. Francisco Alburquerque Viera
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0002-7408-5386

Fuentes principales

- 18%  Fuentes de Internet
- 8%  Publicaciones
- 15%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	4%
2	Internet	documents.mx	2%
3	Internet	hdl.handle.net	1%
4	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2017-07-23	<1%
5	Internet	repositorio.unsch.edu.pe	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Privada Antenor Orrego on 2018-11-28	<1%
7	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
8	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
9	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica de los Andes on 2020-01-23	<1%
10	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María on 2019-12-04	<1%
11	Internet	repositorio.upao.edu.pe	<1%



Dr. Francisco Albuquerque-Viera
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0002-7408-5386

12	Internet	www.scribd.com	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad de Piura on 2020-04-20	<1%
14	Trabajos del estudiante	uncedu on 2024-02-24	<1%
15	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
16	Internet	repositorio.espe.edu.ec	<1%
17	Internet	www.coursehero.com	<1%
18	Internet	issuu.com	<1%
19	Trabajos del estudiante	Universidad Pontificia Bolivariana on 2024-11-05	<1%
20	Internet	pt.scribd.com	<1%
21	Internet	www.mef.gob.pe	<1%
22	Internet	miguiceneval.mx	<1%
23	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2023-02-15	<1%
24	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Chimborazo on 2024-02-08	<1%
25	Internet	repositorio.uladech.edu.pe	<1%


 Dr. Francisco Albuquerque Viera
 Docente - Asesor
 Código ORCID: 0000-0002-7408-5386

26	Internet	repositorio.umsa.bo	<1%
27	Internet	distancia.udh.edu.pe	<1%
28	Trabajos del estudiante	Universidad Internacional de la Rioja on 2022-03-02	<1%
29	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2024-07-10	<1%
30	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2021-02-22	<1%
31	Internet	apirepositorio.unu.edu.pe	<1%
32	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-09-13	<1%
33	Trabajos del estudiante	Xavier University on 2026-03-07	<1%
34	Trabajos del estudiante	Universidad Continental on 2021-11-03	<1%
35	Trabajos del estudiante	Universidad Pontificia Bolivariana on 2021-02-16	<1%
36	Trabajos del estudiante	Universidad San Ignacio de Loyola on 2020-12-11	<1%
37	Internet	fr.slideshare.net	<1%
38	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%



Dr. Francisco Alburquerque-Viera
 Docente - Asesor
 Código ORCID: 0000-0002-7408-5386

DEDICATORIA

A Dios:

Fuente infinita de sabiduría y guía, le dedico este humilde trabajo de investigación. En cada paso de este viaje académico, he sentido Tu presencia fortaleciéndome y brindándome claridad. Agradezco profundamente por el entendimiento que me ha otorgado y por ser mi firme sostén en los momentos de dificultad.

A mis padres

Neira Porras Flores y Digna Preciado Silva, cuyo apoyo incondicional y ejemplo de perseverancia han sido mi mayor inspiración en este camino hacia el conocimiento. Su amor y sacrificio han sido la luz que guio cada paso de mi travesía académica. Gracias por ser mi roca y mi motivación constante. Este logro también es suyo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a la Universidad Nacional de Tumbes por brindarme la oportunidad de cursar mis estudios superiores en un entorno académico enriquecedor. Su compromiso con la excelencia educativa y el apoyo brindado durante mi trayectoria han sido fundamentales para alcanzar este logro.

A los miembros del Jurado Dr. José Modesto Carillo Sarango, Dr. Eber Gines Tafur, Dr. Alburqueque Viera Francisco, por su dedicación y apoyo durante el proceso de evaluación de mi trabajo de investigación. Su compromiso con la excelencia académica y su profundo conocimiento en el área de estudio han enriquecido enormemente mi experiencia como estudiante.

A mi asesor Dr. Alburqueque Viera Francisco, por su guía invaluable y apoyo durante mi tesis. Su dedicación y experiencia fueron fundamentales para mi éxito. Gracias por ser un mentor excepcional.

A mi co-asesor Ing. Henry Fernando More Medrano su invaluable ayuda y apoyo durante mi proceso de tesis. Su orientación experta y compromiso fueron fundamentales para alcanzar este logro académico. Gracias por ser una inspiración constante

Al Ing. Jose Luis Balladares Mena, por su invaluable ayuda y dedicación durante el proceso de desarrollo de mi tesis. Su profundo conocimiento en el campo y su disposición para compartirlo conmigo fueron elementos esenciales para alcanzar el éxito en este proyecto académico.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
I. INTRODUCCIÓN.....	19
II. ESTADO DEL ARTE	20
2.1 ANTECEDENTES.....	20
2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	22
2.3 BASES TEORICAS CIENTIFICAS.....	25
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1 MATERIALES E INSUMOS.....	32
3.2 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	33
3.2.1 UBICACIÓN POLITICA.....	33
3.2.2 UBICACIÓN GEODESICA.....	33
3.2.3 VIAS DE COMUNICACIÓN.....	35
3.2.4 HIDROGRAFIA	35
3.3. METODOLOGIA	36
3.3.1. RECONOCIMIENTO DE LA ZONA	36
3.3.2. INFORMACION TOPOGRAFICA	40
3.3.3. RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAUDALES MÁXIMOS.....	40
3.3.4. PRUEBAS DE HOMEGENEIDAD	42
3.3.5. CAUDAL MÁXIMO CON MODELOS PROBABILÍSTICOS	45
3.3.6. RUGOSIDAD DEL TRAMO EN ESTUDIO	45
3.3.7. MODELACIÓN HIDRÁULICA.....	46
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1. RESULTADOS	51
4.1.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA.....	51
4.1.2. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS CON MODELOS PROBABILISTICOS	52
4.1.3. MAPA DE RUGOSIDAD PARA EL TRAMO EN ESTUDIO.....	55
4.1.4. MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO ⁵⁶	
4.1.5. PROPUESTAS DE MITIGACIÓN	60
4.2. DISCUSIÓN.....	67

5. CONCLUSIONES	68
6. RECOMENDACIONES	69
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: ACCESIBILIDAD HACIA LA ZONA DE ESTUDIO	35
TABLA 2: CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS DEL RIO TUMBES – ESTACION EL TIGRE	41
TABLA 3: DESCRIPCIÓN DE LA SIGNIFICANCIA DEL TEST MANN – KENDALL A=5%.....	44
TABLA 4: RESULTADO DEL TEST DE HELMERT.....	51
TABLA 5: RESULTADO DEL TEST DE MAN KENDALL	52
TABLA 6: RESULTADOS DEL TEST DE KOLMOGROV SMIRNOV	53
TABLA 7: CAUDALES MÁXIMOS SEGÚN DISTRIBUCION PARETO (L-MOMENTS).....	55
TABLA 8: TIPO DE SUELO Y VALOR DE MANNING	56
TABLA 9: CÁLCULO DE ÁREAS AGRÍCOLAS AFECTADAS	59
TABLA 10: TRAMOS PROPUESTOS PARA PROTECCIÓN.....	61
TABLA 11: CALCULO DEL ANCHO ESTABLE	61
TABLA 12: CALCULO DEL TIRANTE.....	62
TABLA 13: CALCULO DEL TIRANTE.....	62
TABLA 14: CÁLCULO DEL NUMERO DE FROUDE.....	62
TABLA 15: CALCULO DEL BORDE LIBRE	63
TABLA 16: CÁLCULO DE LA ALTURA DEL DIQUE.....	63
TABLA 17: CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN.....	64
TABLA 18: CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD DE UÑA	64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: MODELAMIENTO DE INUNDACION CON HEC RAS	29
FIGURA 2: UBICACIÓN GEOPOLÍTICA DEL ÁREA EN ESTUDIO	34
FIGURA 2: SECTOR LA ARENA	36
FIGURA 2: CASETA DE IRRIGACIÓN LA PALMA	37
FIGURA 2: IMAGEN SATELITAL DEL SECTOR LA ARENA	37
FIGURA 2: AREAS AGRÍCOLAS AFECTADAS DEL SECTOR LA PALMA	38
FIGURA 2: AREAS AGRÍCOLAS AFECTADAS DEL SECTOR EL RUSTON	38
FIGURA 2: CAPTACIÓN BECERRA BELÉN	39
FIGURA 2: SECTOR LA INVERNA	39
FIGURA 3: MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DE LA ZONA	40
FIGURA 4: SISTEMA UNIDADES DEL PROYECTO EN HEC RAS	46
FIGURA 5: MDE EXPORTADO A HEC RAS	47
FIGURA 6: CREACIÓN DE LA MALLA COMPUTACIONAL	48
FIGURA 7: REFINAMIENTO DE LA MALLA COMPUTACIONAL	48
FIGURA 8: CREACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO	48
FIGURA 9: INGRESO DE HIDROGRAMA Y PENDIENTE	49
FIGURA 10: CÓMPUTO DEL MODELO	50
FIGURA 11: HIDROGRAMA DEL RIO TUMBES 1965-2022	51
FIGURA 12: CURVA DE LA DISTRIBUCIÓN PARETO (L-MOMENTS)	54
FIGURA 13: HISTOGRAMA DE LA DISTRIBUCIÓN PARETO (L-MOMENTS)	54
FIGURA 14: CAUDAL VS PERIODO DE RETORNO	55
FIGURA 15: MAPA DE RUGOSIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO	56
FIGURA 16: MAPA DE TIRANTES POR PERIODO DE RETORNO	58
FIGURA 17: MAPA DE VELOCIDADES POR PERIODO DE RETORNO	58
FIGURA 18: PROPUESTA DE PROTECCIÓN EN 4 TRAMOS	60
FIGURA 19: IMAGEN REFERENCIAL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE DIQUE CON GEO BOLSA	65
FIGURA 20: DETALLE TÍPICO DE PROPUESTA	66

RESUMEN

El estudio de esta tesis se enfoca en la identificación y evaluación de las áreas agrícolas propensas a inundaciones causadas por caudales máximos del río Tumbes, específicamente en los sectores de Arena La Palma y Ruston La Inverna. Este análisis se justifica debido a la importancia de comprender y mitigar los riesgos asociados a eventos extremos, como inundaciones, que pueden tener un impacto significativo en la producción agrícola y en la comunidad en general en estas regiones costeras.

El proceso de identificación de estas áreas se llevó a cabo mediante la aplicación de metodologías hidrométricas, hidrológicas, técnicas geoespaciales y modelación hidráulica con Hec-Ras. Se emplearon datos hidrometeorológicos históricos, los cuales incluyen registros de caudales máximos, para caracterizar la magnitud y frecuencia de los eventos extremos en la cuenca del río Tumbes. Además, se utilizan modelos hidráulicos y de simulación para estimar la extensión de las inundaciones en los sectores mencionados.

El objetivo principal de este estudio es proporcionar información detallada y precisa sobre las áreas agrícolas vulnerables a inundaciones, con el fin de apoyar la toma de decisiones en materia de gestión del riesgo y planificación territorial. Se espera que los resultados obtenidos sirvan como base para el diseño e implementación de medidas de adaptación y mitigación, tales como la identificación de zonas de riesgo, la implementación de sistemas de alerta temprana y la promoción de prácticas agrícolas resilientes.

Además, se buscará establecer estrategias de ordenamiento territorial que integren consideraciones de riesgo de inundación, protección ambiental y desarrollo sostenible en los sectores estudiados. Esto implicará la colaboración con autoridades locales, comunidades agrícolas y otros actores relevantes para garantizar una gestión integral y participativa del riesgo.

Palabras claves: Caudales máximos, Modelación hidráulica, Hec Ras.

ABSTRACT

The study of this thesis focuses on the identification and evaluation of agricultural areas prone to flooding caused by maximum flows of the Tumbes River, specifically in the sectors of Arena La Palma and Ruston La Inverna. This analysis is justified due to the importance of understanding and mitigating the risks associated with extreme events, such as flooding, which can have a significant impact on agricultural production and the broader community in these coastal regions.

The process of identifying these flood-prone areas will be carried out through the application of hydrometric and hydrological methodologies, geospatial techniques and hydraulic modeling with Hec-Ras. Historical hydrometeorological data, including peak flow records, will be used to characterize the magnitude and frequency of extreme events in the Tumbes River basin. In addition, hydraulic and simulation models will be used to estimate the extent and depth of flooding in the aforementioned sectors.

The main objective of this study is to provide detailed and accurate information on agricultural areas vulnerable to flooding, in order to support decision-making in risk management and territorial planning. It is expected that the results obtained will serve as a basis for the design and implementation of adaptation and mitigation measures, such as the identification of risk areas, the implementation of early warning systems and the promotion of resilient agricultural practices.

In addition, efforts will be made to establish territorial planning strategies that integrate considerations of flood risk, environmental protection and sustainable development in the sectors studied. This will involve collaboration with local authorities, agricultural communities and other relevant actors to ensure comprehensive and participatory risk management.

Keywords: Maximum flows, Hydraulic modeling, Hec Ras.

I. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones representan uno de los desastres naturales más frecuentes y devastadores en muchas regiones del mundo, con consecuencias significativas para la población y la agricultura. En las zonas costeras, como en los sectores de Arena La Palma y Ruston La Inverna a lo largo del río Tumbes, estas inundaciones pueden ser especialmente perjudiciales debido a la interacción entre factores hidrológicos y geomorfológicos. La agricultura, como una actividad económica primordial en estas áreas, se ve particularmente afectada por estos eventos extremos, lo que subraya la importancia de identificar y evaluar las áreas agrícolas susceptibles a inundaciones causadas por caudales máximos del río.

En este contexto, esta tesis se propone abordar la problemática de la identificación de áreas agrícolas inundables por caudales máximos del río Tumbes en los sectores mencionados. El objetivo principal Identificar áreas agrícolas inundables por caudales máximos del río Tumbes, en sectores Arena - La Palma y Ruston - La Inverna., así como proporcionar una base de datos sólida para la planificación territorial y la gestión del riesgo.

Para lograr este objetivo, se plantearon 3 objetivos específicos; calcular los caudales máximos en el cauce del Río Tumbes para diferentes periodos de retorno según la distribución probabilística con mejor ajuste, cuantificar y representar las áreas agrícolas afectadas por inundación y por último proponer obras hidráulicas de tipo estructural y no estructurales que ayuden a mitigar las posibles afectaciones por inundación en los sectores Arena - La Palma y Ruston - La inverna.

Esta investigación no solo contribuirá al conocimiento científico sobre los riesgos de inundación en áreas agrícolas costeras, sino que también tendrá importantes implicaciones prácticas. Se espera que los resultados obtenidos proporcionen información crucial para la toma de decisiones en materia de planificación territorial, gestión del riesgo y desarrollo sostenible en estas comunidades agrícolas vulnerables. En última instancia, se espera que este estudio contribuya a mejorar la resiliencia de las comunidades agrícolas frente a eventos extremos y promueva un desarrollo más seguro y sostenible en la región del río Tumbes.

II. ESTADO DEL ARTE

2.1 ANTECEDENTES

El estudio de las inundaciones en zonas agrícolas ha sido objeto de atención en la investigación hidrológica y geoespacial durante décadas. Los antecedentes de esta problemática revelan la importancia de comprender la interacción entre factores hidrológicos, geomorfológicos y humanos para mitigar los riesgos asociados. En este contexto, se detallan estudios relacionados con el tema de investigación.

En el ámbito internacional. Rojas Montalvo, F. J. (2014). En su tesis “Bases de diseño hidráulico para los encauzamientos o canalizaciones de ríos”. Entre sus propósitos, ofrece protección contra inundaciones, es decir, prevenir o dificultar la inundación del territorio, la protección de las riberas, especialmente los límites del lecho del río, y proporcionar canales estables para los ríos, lo que significa que la corriente continuará fluyendo a través del canal continuamente. Realizó un análisis de granulometría y morfología de ríos para la determinación de dimensiones de cauces, obtención de caudales de diseño, curvas de descarga para corrientes líquidas y sólidas; además, se aportan las definiciones de erosión transversal, lateral y general, así como un ejercicio aplicado para el drenaje del tramo del río Monja. Finalmente obtiene un modelo y un monográfico de cálculos, con HEC-RAS obtenemos los perfiles, secciones y cauces del río Monja para protección de rocas como muros laterales y espigones.

Figuroa Montoya, Jonathan. (2019). En su tesis “Aplicación del Hec-RAS para la modelación hidráulica y determinación de zonas de inundación en las riberas del río Jipijapa”. Utilizó un método cuantitativo y de uso de suelo para determinar la precipitación con un período de retorno de 10, 25, 50 y 100 años y se utilizó Hec-HMS para estimar la cantidad de lluvia para diferentes tiempos de retorno. Posteriormente, utilizando el programa Hec-RAS y ArcGIS con la extensión Hec-GeoRAS, se seleccionaron los niveles de agua más altos y las planicies de inundación en el área de estudio

En el ámbito nacional, Palmer (2017) desarrolló una investigación orientada a identificar zonas susceptibles a inundaciones en las localidades de San Pedro y Niño Pobre, empleando herramientas como HEC-RAS y ArcGIS para estimar los caudales máximos del río Utcubamba. Menciona que, el punto de partida es disponer de una data histórica de caudales y posteriormente realizar el análisis estadístico. Concluyó que el modelo probabilístico de Gumbel tiene la mayor flexibilidad para ser aplicado al caudal pico del río Utcubamba, aunque siempre debe ser validado con medidas de bondad de ajuste. Los caudales máximos reproducidos para 10, 25 y 50 años son 633,98, 756,94 y 848,16, respectivamente. La prueba de bondad de ajuste utilizada en este estudio fue la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Olivares, G. M. G. (2018). En su tesis “Determinación de zonas inundables mediante simulación hidráulica bidimensional aplicando Hec-RAS v.5.0, en un tramo del río Huancabamba desde la quebrada Chula (Km 2.42) hasta la quebrada Lungulo (km 5.51), provincia de Huancabamba, departamento de Piura”. Señala que, en primer lugar, es necesario verificar la consistencia de los datos mediante un análisis visual-gráfico, una revisión de enfoque, para verificar patrones y brechas. Los resultados obtenidos muestran que, en un periodo de retorno de 50 años, las inundaciones afectaron 28 cultivos y tres viviendas. En cambio, para un Tr de 100 años, 5 casas y 65 campos de cultivo se verán afectados por inundaciones.

En el ámbito local, Huamán, D, (2018) en su investigación dice que “la medición del caudal de los ríos es importante para el desarrollo de la investigación de los recursos hídricos, la investigación del clima y la gestión del agua. El aumento de la población y la importancia del agua está agrandando la necesidad de información precisa y accesible sobre el caudal de los ríos, y si se elevan los caudales de Moliente y ADCP hasta la cota de 5,68 metros (los más altos registrados durante el año 2017).

Valencia y Carrillo (2019). En su 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.” Sus objetivos fueron determinar el Q_{max} para un tiempo de retorno de 50 años, el tiempo máximo posible de ocurrencia de inundaciones y proponer un diseño hidráulico de protección fluvial para mitigar eficazmente las inundaciones y controlar los posibles eventos de erosión. Para lograr el objetivo, se emplearon datos históricos de caudales para determinar el caudal máximo y definir la distribución de probabilidad que presente mejor ajuste (log normal 2P, log normal 3P, Gamma 2P, Gamma 3P) y el modelo hidrodinámico Hec - Concurso para generar diferentes simulaciones para diferentes escenarios que permitan “determinar la ubicación de la estructura propuesta tomando como referencia el punto crítico de desbordamiento del río.

Lloclla Chuyes, P. Y. en su tesis “Estimación del área agrícola vulnerable a las inundaciones, por las crecidas del río Tumbes, en el sector Pampa Grande Tumbes–2021” en simulaciones hidráulicas, el alto flujo provocó turbulencia y por lo consiguiente la inundación de muchos campos agrícolas, para los periodos de retorno 5,10,25 y 50 años en la zona afectada 206,25 ha, 210,57 ha, 213,49 ha y 214,72 ha respectivamente

2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

✓ HIDROLOGÍA

Ciencia que estudia el recurso hídrico (propiedades físicas y químicas) y su interrelación con el medio ambiente.

✓ EL CICLO HIDROLÓGICO

Es la circulación del agua por el planeta tierra en diferentes etapas: líquido, sólido y gaseoso.

✓ HIDRÁULICA

Se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos.

✓ **CAUDAL**

Cantidad de agua que circula por un canal natural o artificial, su unidad de medida es metros cúbicos por segundo (m^3/s).

✓ **CAUDAL MÁXIMO**

El caudal máximo corresponde al valor pico instantáneo registrado en el hidrograma de una corriente hídrica ante la ocurrencia de un evento hidrológico particular (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

✓ **VELOCIDAD DEL FLUJO:**

La velocidad del flujo es una magnitud vectorial que describe simultáneamente la rapidez y la dirección del desplazamiento de un fluido en un punto determinado (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

✓ **CAUCE**

Lugar por donde discurre el recurso hídrico hasta la desembocadura.

✓ **CUENCA HIDROGRÁFICA**

Es un área delimitada por la divisoria de aguas (Divortium aquarum), se caracteriza por tener una red hídrica que forma un río principal donde sus aguas son drenadas hasta la salida.

✓ **ESCURRIMIENTO**

Es el exceso de agua precipitada, la cual una parte se infiltra y otra queda en la superficie. El agua superficial circula hasta llegar a una corriente y finalmente es drenada hasta la salida de la cuenca.

✓ **FAJA MARGINAL**

Se le conoce como un bien de dominio hidráulico, porque se prohíben actividades agrícolas, industriales y/o de urbanización.

✓ **FLUJO LAMINAR**

Flujo suave y ordenado en el que las partículas de agua se mueven en capas paralelas sin turbulencia significativa.

✓ **FLUJO TURBULENTO**

Flujo caótico y desordenado en el que las partículas de agua se mezclan y se mueven en direcciones aleatorias, causando una alta disipación de energía.

✓ **PENDIENTE DEL CANAL**

La inclinación del lecho del canal o del río en relación con la horizontal, que influye en la velocidad y la dirección del flujo.

✓ **SECCIÓN TRANSVERSAL DEL FLUJO**

La forma y el tamaño de la parte del canal o río a través del cual fluye el agua, que puede variar en función de la topografía y la geometría del canal.

✓ **INUNDACIÓN**

Es un fenómeno natural que se origina cuando el nivel del agua en los ríos, lagos o mares, cubren de manera parcial o total áreas donde habitualmente están libres.

✓ **PERÍODO DE RETORNO**

Es el número de años en promedio que un evento (lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, etc.) pueda volver a repetirse con características iguales o extremas.

✓ **PRECIPITACIÓN**

Es la caída de partículas líquidas o sólidas de agua, conformando la fase de ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas.

✓ **RÍO**

Corriente natural de agua que circula continuamente con un caudal determinado hasta llegar a desembocar en un lago o en el mar.

✓ **TIEMPO DE CONCENTRACIÓN**

Según Chow et al. (1994), el tiempo de concentración representa el recorrido temporal de una gota de lluvia desde el punto más remoto hasta la salida de la cuenca, siendo determinado por factores como la pendiente, el área, la geometría, el suelo y la vegetación.

✓ **FENOMENO EL NIÑO**

SENAMHI (2014), “El Niño es una de las manifestaciones más significativas de la variabilidad interanual del clima de nuestro planeta. Hoy como ayer, es crucial para nuestro país entender y por supuesto poder predecir este fenómeno.” (p.7). Es un evento climático que se presenta cada cierto tiempo por efecto del calentamiento en el océano Pacífico, en nuestra Región Tumbes las consecuencias que se presentan son las inundaciones. Si bien es cierto, en la actualidad tenemos información en cuanto a los Recursos Hídricos.

2.3 BASES TEORICAS CIENTIFICAS

a) Inundaciones

Según Ahmed (2008), las inundaciones se producen cuando existe un incremento de las lluvias que sobrepasan la capacidad de retención e infiltración del suelo, por lo que el cauce principal se desborda e inunda a sus alrededores. Para el análisis de las inundaciones es recomendable tener data de caudales superior a los 20 años (OAS, 2020).

En el año 2017 se manifestó en la costa del Perú “El Niño Costero”, Según (Gómez, 2017), afectó desde Tumbes hasta Ica, teniendo un como consecuencia miles de personas damnificadas, carreteras e infraestructura hidráulica destruida; mayormente por activación de quebradas y desborde de ríos.” (pág. 4)

En el año 2023, se presentó en los departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque trayendo consigo activación de quebradas y registros de precipitación extraordinarios, tal es el caso de la estación Pizarro que alcanzó récord histórico con un valor de 225.1 de precipitación en 24 horas cuando en el 2017 había registrado 192.8 mm.

b) Periodo de Retorno

Se define como el intervalo de tiempo, en años, en el cual un caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años. (MTC, 2011)

c) Distribuciones Probabilísticas

El propósito del análisis de frecuencias es calcular las precipitaciones o caudales máximos para diversos períodos de retorno utilizando modelos probabilísticos, los cuales pueden presentarse en formas continuas o discretas. (Mamani, H, 2014).

Dentro de las distribuciones probabilísticas destacan las siguientes:

Distribución Gumbel

Tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Dónde:

“Parámetro de concentración. α ”

“Parámetro de localización. β ”

Según Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = x + k\sigma x$$

Dónde:

x: Valor con una probabilidad dada.

\bar{x} : Media de la serie.

k: Factor de frecuencia.

Distribución Normal

La función de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2}$$

Donde:

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

X = variable independiente

μ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x.

S= parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x.

Distribución Gamma 3p

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta\gamma(\gamma)}$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Dónde:

x_0 : origen de la variable x, parámetro de posición

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

Distribución Log Pearson tipo III

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - X_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x\beta\gamma\Gamma(\gamma)}$$

Válido para: $x_0 \leq x < \infty$

$-\infty < x_0 < \infty$

$0 < \beta < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

Dónde:

x_0 : parámetro de posición

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

d) Hydrognomon

Software para la gestión y análisis de información hidrológica, la parte esencial de este proceso involucra aplicaciones para el procesamiento de series temporales, como la agregación y regularización de intervalos de tiempo, interpolación, análisis de regresión y completado de valores faltantes. (Fuente: Hydrognomon.org)

e) Modelación hidráulica

Es una representación digital de un río u otra vía fluvial que permite visualizar el comportamiento de la misma para tomar las mejores decisiones en la realidad.

Los modelos bidimensionales se discretizan por medio de una malla, la cual es una estructura discreta que se utiliza para dividir un dominio físico en elementos más pequeños o celdas. Estos elementos pueden ser tetraedros, hexaedros, triángulos, cuadriláteros, etc., dependiendo de la dimensión y la geometría del problema a resolver.

f) HEC-RAS

HEC-RAS es un sistema de software interactivo que integra una interfaz gráfica, módulos de análisis independientes y herramientas de gestión de datos. Está concebido para ejecutar cálculos hidráulicos unidimensionales (1D) y bidimensionales (2D) en redes de canales naturales y artificiales, abarcando llanuras aluviales, zonas de desbordamiento y áreas protegidas por diques. Incorpora funciones de visualización, mapeo e informes de resultados (US Army Corps of Engineers, s.f.).

Mamani, H, (2014), “El primer paso a dar para estudiar un sistema es elaborar un modelo, el cual puede ser una representación formal de la teoría o una explicación formal de la observación empírica. Sin embargo, a menudo es una combinación de ambas”. Los propósitos de usar un modelo son los siguientes:

1. Hace posible que un investigador organice sus conocimientos teóricos y sus observaciones empíricas sobre un sistema y deduzca las consecuencias lógicas de esta organización.
2. Aprecia la necesidad del detalle y de nuevo balance.
3. Hace posible controlar más fuentes de variación que lo que permitiría el estudio directo de un sistema.
4. Suele ser menos costoso.

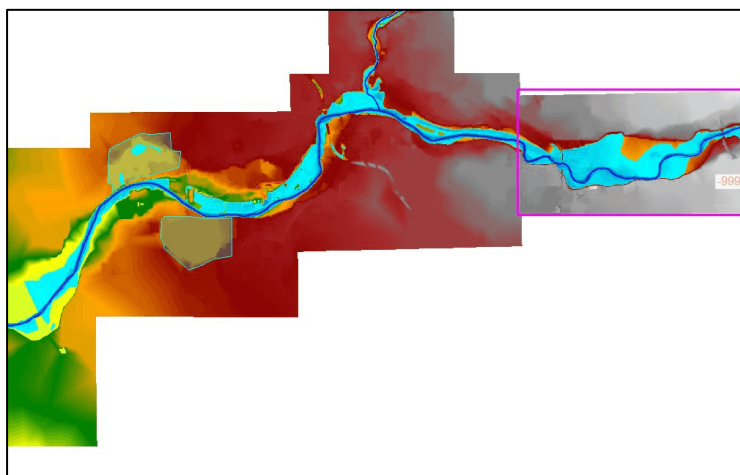


Figura 1: Modelamiento de Inundacion con Hec Ras

Algunas de las ecuaciones y modelos utilizados en HEC-RAS incluyen:

- ✓ **Ecuación de Saint-Venant**, utilizada para modelar el flujo del agua en canales abiertos, basada en dos conjuntos distintos de ecuaciones: las que rigen la continuidad del flujo y aquellas que describen la cantidad de movimiento o momentum del mismo.
- ✓ **Ecuación de continuidad:** La ecuación de continuidad, en el contexto de la hidráulica y la mecánica de fluidos, es una expresión matemática que establece que la cantidad de masa que entra en un sistema debe ser igual a la cantidad de masa que sale del mismo, para un determinado intervalo de tiempo. La ecuación de continuidad se expresa generalmente en forma diferencial como:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(A.V)}{\partial x} = Q_{in} - Q_{out}$$

Donde:

- A es el área transversal de la sección del flujo
 - V es la velocidad del flujo
 - $Q_{in}-Q_{out}$ son las tasas de flujo de entrada y salida respectivamente.
 - $\frac{\partial}{\partial t}$ y $\frac{\partial}{\partial x}$ denotan las derivadas parciales respecto al tiempo y la posición espacial respectivamente.
- ✓ **Ecuación de momentum:** También conocida como la ecuación de cantidad de movimiento, es una expresión matemática que describe cómo cambia la cantidad de movimiento de un fluido en un sistema dado en función del tiempo y la posición. En el contexto de la mecánica de fluidos, esta ecuación es esencial para comprender y predecir el comportamiento del flujo de un fluido en un medio determinado.

La forma más común de la ecuación de momentum se deriva de la segunda ley de Newton para el movimiento, y en el caso de flujo de fluidos, se expresa en forma diferencial como:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho.V) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho.V^2) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho.g.A + S_f$$

Donde:

- ρ es la densidad del fluido,
- V es la velocidad del fluido,
- p es la presión,
- g es la aceleración debido a la gravedad,
- A es el área transversal de la sección del flujo,
- S_f representa las pérdidas de carga debido a la fricción.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES E INSUMOS

a) Materiales

- ✓ Modelo de elevación digital, (*Fuente:* Landviewer).
- ✓ Registros de caudales de máximas avenidas de la estación hidrométrica El tigre de los años 1980 – 2022. (*Fuente:* Senamhi)
- ✓ Información Vectorial base, en formato shapefile. (*Fuente:* GEO GPS PERÚ). Contendrá información acerca de área agrícola, red hídrica, centros poblados, etc.
- ✓ Libreta de apuntes para recolección de información de campo.

b) Equipos

- ✓ Laptop acer (CORE i5).
- ✓ Equipo celular para el registro fotográfico de la zona
- ✓ Navegador GPS, para registro de coordenadas

c) Softwares

- ✓ QGIS 10.6, generación de mapas temáticos.
- ✓ Google Earth, ubicación del área en estudio.
- ✓ Hydrognomon, para el cálculo de caudal mediante distribuciones probabilísticas
- ✓ HEC – RAS, para la modelación hidráulica.
- ✓ Excel versión 2016 para la redacción del informe
- ✓ Word versión 2016 para memorias de calculo

3.2 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra en la zona agrícola de la margen derecha del río Tumbes, perteneciente a la Región de Tumbes, provincia de Tumbes, distrito de Pampas de hospital.

A continuación, se describe la ubicación política y geodésica de la zona correspondiente a la presente investigación.

2.3.1 UBICACIÓN POLITICA

Región : Tumbes
Provincia : Tumbes
Distrito : Pampas de Hospital
Localidad : Arena, La Palma, Ruston, La Inverna

2.3.2 UBICACIÓN GEODESICA

El tramo bajo estudio se encuentra en la ribera derecha del río Tumbes, con las siguientes coordenadas.

✓ Inicio

Este: 562379

Norte: 9586343

✓ Final

Este: 561852

Norte: 9590604

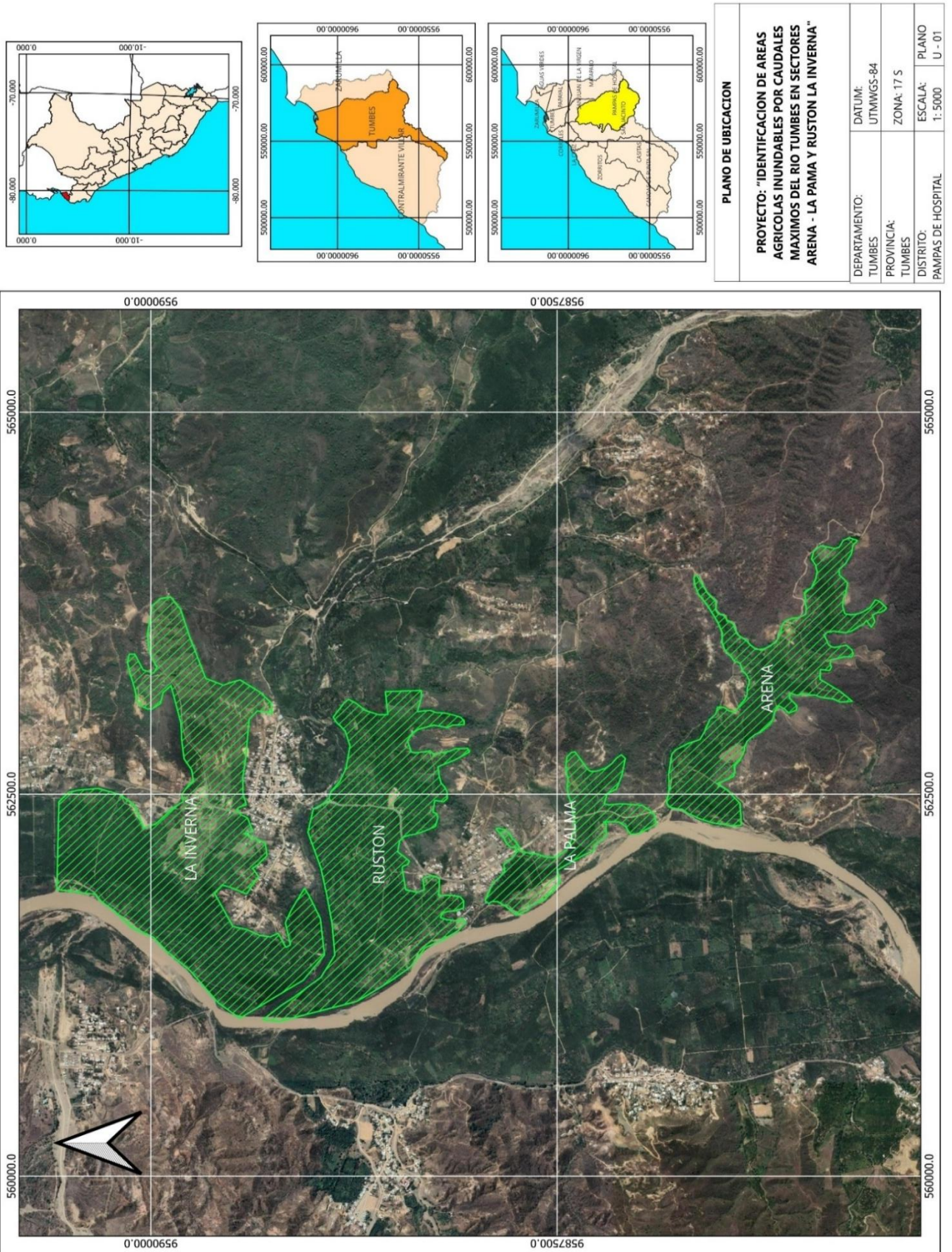


Figura 2: Ubicación Geopolítica del área en estudio

2.3.3 VIAS DE COMUNICACIÓN

El ingreso a la zona de estudio se lleva a cabo a través de la carretera que conecta Tumbes con Pampas de Hospital, continuando hacia Cabuyal y posteriormente tomando el desvío hacia el centro poblado El Limón.

Tabla 1: Accesibilidad hacia la zona de estudio

Ruta	Distancia (Km)	Tiempo (min)	Tipo de vía
Tumbes – Cabuyal	23	40	Asfaltada
Cabuyal – El Limon	2	5	Asfaltada
Total	25	45	

2.3.4 HIDROGRAFIA

El río Puyango-Tumbes abarca una extensión aproximada de 4 850 km², de los cuales 1 806 km² se ubican en territorio peruano. Su cabecera de cuenca se localiza a 3 500 msnm en territorio ecuatoriano, alimentado por el sistema de quebradas de la cordillera de Chilla y Cerro Negro. A lo largo de su trayecto, el río experimenta transiciones nominales: inicia como río Pindo, se transforma en río Puyango tras su encuentro con el río Yaguachi y se consolida como río Tumbes en la confluencia con la quebrada Cazaderos.

En Perú, los afluentes del río incluyen, en su lado derecho, las quebradas Las Peñas, Angostura, Guanábano y Garzas, y en su lado izquierdo, las quebradas Colorado, Cristales, La Jardina, Vaquería, Higuerón y Ucumares.

La zona en estudio corresponde al tramo aguas arriba del río Tumbes, tomando como referencia la desembocadura de la quebrada Cabuyal, en la margen derecha, en la que se encuentran los sectores agrícolas de Arena - La Palma y Ruston - La invernada.

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 RECONOCIMIENTO DE LA ZONA

La visita de campo corresponde a la primera fase de la metodología, en la cual se recorrió el área en estudio con la finalidad de obtener un registro fotográfico e identificar estructuras, tipo de suelo y tipo de cultivos en la parte agrícola.

En la zona se pudo apreciar la existencia de estructuras de defensa en la margen derecha, así como el tipo de suelo en el cauce y ribera siendo una arena gruesa típico de un cauce aluvial, predominando como cultivo el plátano.

El recorrido se realizó desde aguas arriba hacia aguas abajo.

Sector Agrícola La Arena

En primer lugar, se visitó el sector La Arena, en el cual observó la extracción de material granular, en la ribera del río, tal como muestra la siguiente imagen.

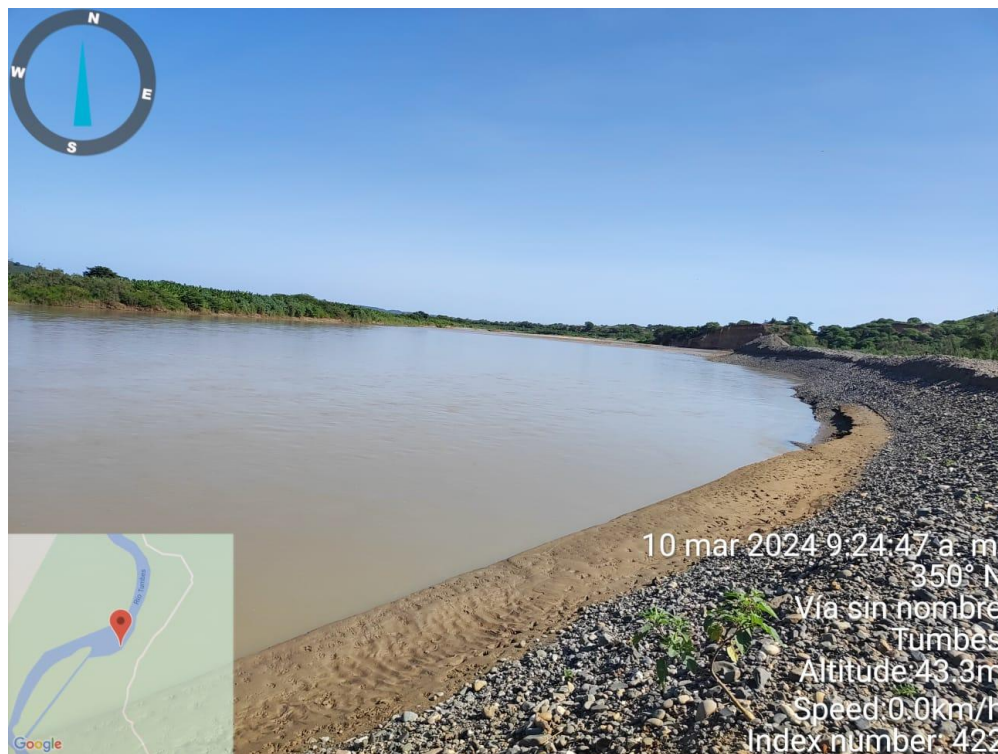


Figura 3: Sector La Arena

En dicho sector existe una caseta de bombeo perteneciente a la irrigación de la Arena la Palma.



Figura 4: Caseta de Irrigación La Palma

Precisamente en dicho sector existe también una estructura de protección la cual se encuentra cubierta por la vegetación y se ha plasmado en un mapa referencial lo encontrado en campo.



Figura 5: Imagen Satelital del Sector La Arena

Sector Agrícola la Palma

Estando en el sector agrícola La palma, nos encontramos con el señor Céspedes García Felicito, el cual nos manifiesta que, en el fenómeno del niño de 1983, todo el sector agrícola fue arrasado por el Rio Tumbes. Luego de varios años de sucedido el desastre, algunos agricultores volvieron a sembrar en aquellas zonas donde el Rio había sedimentado con suelo agrícola, pero nuevamente en el año de 1998, el Rio Tumbes terminó por llevarse las tierras agrícolas.



Figura 6: Areas agrícolas afectadas del sector La Palma

Sector Agrícola el Ruston

El sector agrícola el Ruston, además de verse afectado por el Rio Tumbes, también es inundado por la presencia de la quebrada cabuyal.

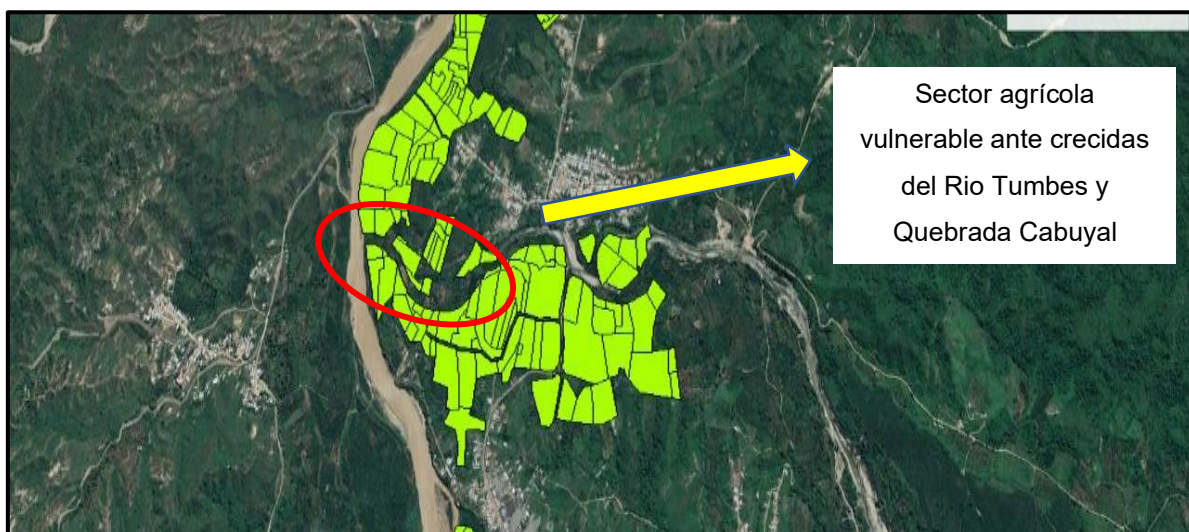


Figura 7: Areas agrícolas afectadas del sector El Ruston

En el límite con el sector la Palma se encuentra la caseta de bombeo de captación para la Irrigación Becerra Belén, tal cual se muestra a continuación.



Figura 8: Captación Becerra Belén

Sector Agrícola La Inverna

En la visita de campo realizada en el sector agrícola La Inverna, no se tiene una infraestructura de protección, dejando un largo tramo por donde ingresa las aguas del Rio (cerca a la desembocadura de la quebrada cabuyal), afectando sus plantaciones en el mencionado sector agrícola.



Figura 9: Sector La Inverna

3.3.2 INFORMACION TOPOGRAFICA

Se tiene para fines de la investigación un levantamiento topográfico proveniente del Plan Integral contra inundaciones y movimientos de masa, del cual se tiene que destacar que cuenta con información hasta 300m aguas abajo desde la desembocadura de la quebrada cabuyal, por lo que no se llega a abarcar toda la zona colindante al área agrícola de La Inverna, lo cual es una restricción para realizar el modelamiento hidráulico y debe considerarse en la cuantificación del área inundable.

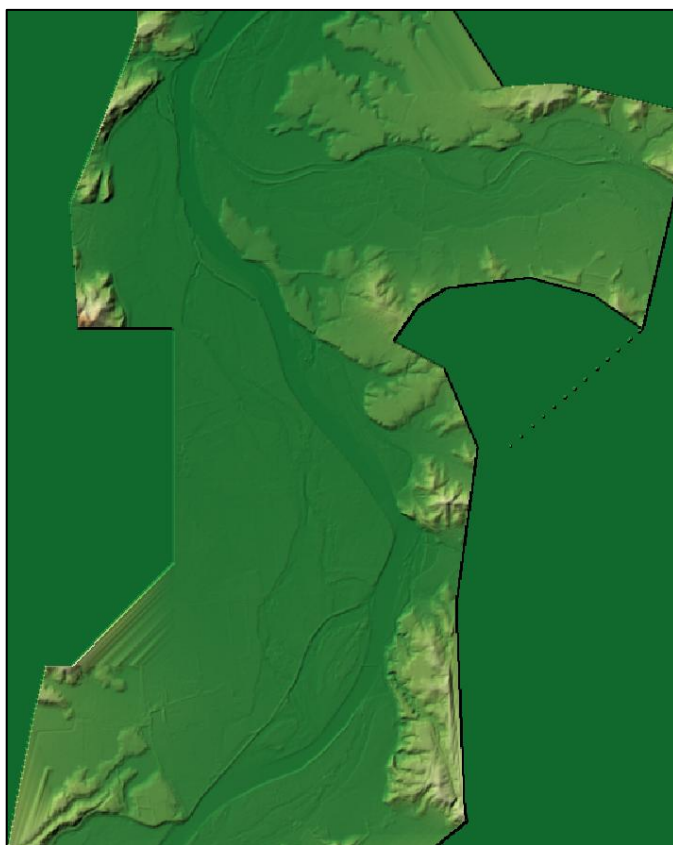


Figura 10: Modelo digital de elevación de la zona

3.3.3 RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAUDALES MÁXIMOS

Se dispone de información hidrométrica del río Tumbes en la Estación El Tigre, ubicada en el sector higuera, para este caso se necesita información de caudales máximos del cual se tiene el período 1965 - 2022. Este conjunto de datos fue suministrado por el Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes. Ver Tabla N°2.

TABLA 2: Caudales máximos instantáneos del río Tumbes – Estación el Tigre

Descargas máximas (1995 - 2022)	
AÑO	Qmax(m3/s)
1965	965
1966	534
1967	695
1968	325
1969	1100
1970	469.0
1971	1722.0
1972	1929.0
1973	1449.0
1974	455.0
1975	2074.0
1976	772.0
1977	723.0
1978	519.0
1979	689.7
1980	628.3
1981	1578.6
1982	1429.0
1983	3712.5
1984	1627.5
1985	397.8
1986	1397.4
1987	2098.5
1988	651.9
1989	1828.8
1990	513.4
1991	584.5
1992	965
1993	1918.2
1994	1222.9
1995	534.4
1996	690.3
1997	1583.3
1998	2569.9
1999	2506.2
2000	1238.1
2001	2756.2

Descargas máximas (1995 - 2022)	
AÑO	Qmax(m3/s)
2002	2646.6
2003	681.4
2004	602
2005	1012.8
2006	1583.3
2007	696.6
2008	1800
2009	1957.2
2010	1995
2011	1292.4
2012	2616.7
2013	759.9
2014	989.6
2015	1887.7
2016	1598.7
2017	1472.3
2018	613.3
2019	1347.1
2020	671.4
2021	664.8
2022	1073
Nº Datos	58
Promedio	1289.91724
Máximo	3712.5
Mínimo	325

3.3.4 PRUEBAS DE HOMEGENEIDAD

La recolección y análisis estadístico de datos hidrológicos se lleva a cabo con el propósito práctico de dimensionar con precisión las infraestructuras que utilizan recursos hídricos, como embalses, presas, captaciones, conductos, centrales hidroeléctricas, entre otros. Este proceso también busca anticipar el régimen de operación para maximizar los beneficios de estas instalaciones.

Debido a que la variable analizada (series de caudales máximos no sigue necesariamente una distribución normal, se decidió optar por

pruebas no paramétricas para comprobar la homogeneidad y la tendencia de la serie.

TEST DE HELMERT

Consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento de la serie con respecto a su media. Si una desviación es seguida por otro del mismo signo, se crea una secuencia (S), por el contrario, si una desviación es seguida por una por otra de signo contrario, se registra un cambio (C).

Si la serie es homogénea, la diferencia entre el número de secuencias (S) y el número de cambios (C) en el registro deberá ser cero, pero considerando los límites de un error probable y además la longitud del registro (n) se tendrá que la diferencia máxima para ser homogénea será:

$$-\sqrt{N-1} \leq S - C \leq \sqrt{N+1}$$

TEST DE MAN KENDALL

Para analizar la tendencia, se empleó la prueba no paramétrico de Mann-Kendall, una herramienta comúnmente utilizada en la detección de tendencias en datos hidrometeorológicos y ambientales, con una amplia aplicación en investigaciones similares.

- Se listan los valores de las variables (precipitación, por ejemplo), de forma ordenada (x_1, x_2, \dots, x_n)
- Se obtiene el signo de la diferencia de cada par de valores al comparar sus magnitudes $(x_j - x_k)$ con $(j > k)$, de acuerdo con lo siguiente

$$\text{signo}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{si } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{si } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

- Obtención del estadístico S de Mann Kendall, mediante la ecuación:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{signo}(x_j - x_k)$$

Si S es positivo se infiere de forma subjetiva que la tendencia es creciente, cuando S es negativo se infiere que hay tendencia decreciente.

En base a los indicadores se estima una varianza para el estadístico S de Mann Kendall, que considera el $(\text{signo } x_j - x_k = 0)$

$$\text{Var}[S] = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{q=1}^g t_q(t_q-1)(2t_q+5) \right]$$

- Cálculo del estadístico ZMK mediante:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

A partir del estadístico Z se evalúa la hipótesis de interés con el nivel de significancia requerido, para este caso sera del 5%

TABLA 3: Descripción de la significancia del test Mann – Kendall $\alpha=5\%$

SIGNIFICANCIA	SIMBOLOGÍA	Z
Sin tendencia	ST	0
Tendencia significativa creciente	TSC	$> + 1,96$
Tendencia significativa decreciente	TSD	$< - 1,96$
Tendencia no significativa creciente	TNSC	$< + 1,96$
Tendencia no significativa decreciente	TNSD	$> - 1,96$

3.3.5 CAUDAL MÁXIMO CON MODELOS PROBABILÍSTICOS

Disponer de registros de caudales máximos para determinar la crecida más intensa plantea la necesidad de emplear técnicas estadísticas de análisis de crecidas. Estas técnicas permiten abordar el desafío de calcular la probabilidad de que un caudal supere un valor específico al menos una vez durante un período determinado, como un siglo o un milenio.

El flujo máximo anual, que se define como el caudal más alto registrado durante el año, puede ser tratado adecuadamente como una variable aleatoria continua e infinita, lo que permite explorar su distribución estadística.

El análisis se llevará a cabo mediante el software Hydrognomon, seleccionando la distribución de probabilidad óptima a través del test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. Esta herramienta es idónea para el tratamiento de distribuciones continuas independientemente del volumen de datos (Pizarro y col., 1986).

El estadístico Kolmogorov-Smirnov, denotado como D , Para que la prueba sea considerada válida, se necesita que el valor D_n calculado a partir de la expresión mencionada sea menor al valor tabulado.

3.3.6 RUGOSIDAD DEL TRAMO EN ESTUDIO

Los modelos hidráulicos, entre ellos HEC-RAS, incorporan en sus ecuaciones numéricas un componente que simboliza la resistencia al flujo en los canales. En el contexto de la ecuación de Manning, el parámetro n , conocido como coeficiente de rugosidad, se utiliza para describir las condiciones de fricción en la sección transversal. Este coeficiente está influenciado por varios factores, como la rugosidad inherente de los materiales en el lecho y los bancos del cauce, las irregularidades presentes, la presencia de obstrucciones y vegetación, así como los regímenes de transporte de sedimentos y de flujo.

Se han desarrollado varias técnicas para calcular el coeficiente de Manning en un cauce natural. Estas metodologías coinciden en calcular un valor base de "n" que depende de la rugosidad absoluta o de la granulometría de los materiales presentes en el lecho del cauce.

3.3.7 MODELACIÓN HIDRÁULICA

Se optó por utilizar el software HEC-RAS. Las características específicas del modelo, su base hidráulica y los métodos numéricos de solución se describen detalladamente en el documento USACE (2010), el cual se puede utilizar como referencia para comprender el enfoque hidráulico del software.

El software HEC-RAS utiliza varios conjuntos de datos como entrada para su modelado hidráulico. Esto incluye la geometría del cauce, que comprende perfiles y secciones transversales obtenidos a partir de levantamientos topográficos. También se utilizan los coeficientes de rugosidad estimados para cada tramo del cauce, los cuales se basan en observaciones realizadas en el lugar. Además, se ingresan las condiciones de frontera específicas para cada caso, tanto aguas arriba como aguas abajo del tramo en estudio.

El procedimiento para realizar la modelación con HEC – RAS, es la siguiente.

✓ **Creación del Proyecto.**

Se debe crear el proyecto y guardarlo en la carpeta de trabajo, considerando las unidades del Sistema Internacional

✓ **Ingreso del DEM a HEC - RAS**

Se crea un nuevo proyecto en HEC – RAS, sistema internacional (sistema métrico).

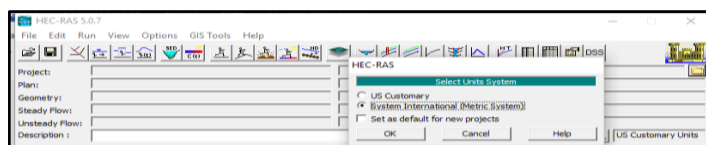


Figura 11: Sistema Unidades del Proyecto en Hec Ras

La generación del terreno se realizó con la herramienta “Terrain” la cual se encuentra dentro Ras Mapper. El procedimiento consistió en la importar el terreno para integrar el DEM al entorno de modelado de HEC-RAS.

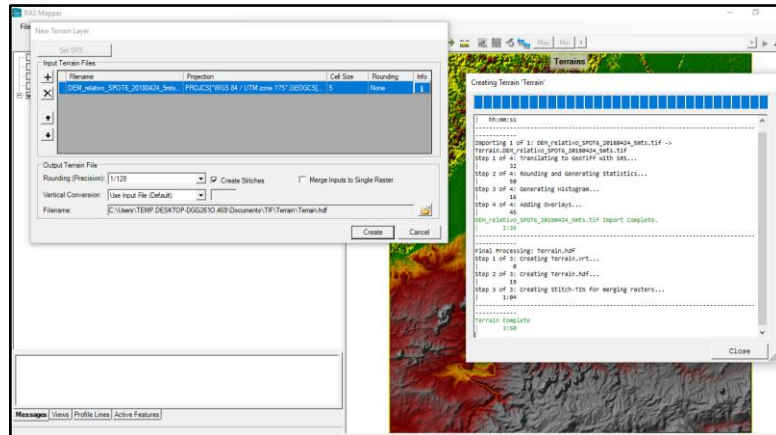


Figura 12: MDE exportado a Hec Ras

✓ **Ingreso de la Rugosidad al modelo**

Por medio de LANDCOVER, se realiza la inserción del mapa de rugosidad en formato Shapefile, el cual será convertido a raster por el mismo programa, por ello se debe elegir el tamaño de píxel, tal como se muestra en la siguiente Imagen.

✓ **Creación de la Geometría 2D**

Para realizar la Geometría nos dirigimos a RASS MAPPER elegimos “Add New Geometry Data” de la opción “Geometries”, posteriormente “2D Flow Areas” y en “Perimetres” se delimita la malla computacional con un tamaño de celda de 10x10 metros en la malla (Figura 41).

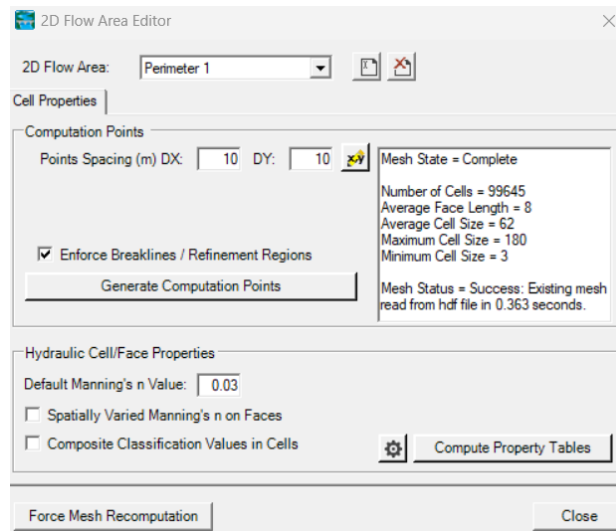


Figura 13: Creación de la Malla Computacional

Las celdas de 10 x10m son homogéneas, excepto en el cauce principal, donde se crea un breakline cuyo tamaño es (3x3m) para obtener un mejor detalle en la modelación.

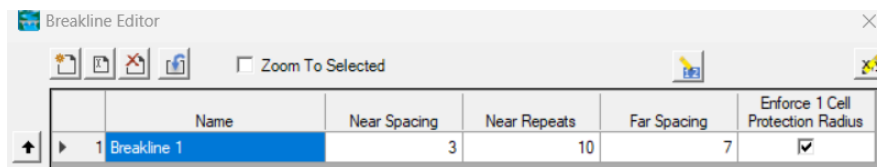


Figura 14: Refinamiento de la Malla Computacional

✓ **Condiciones de contorno**

Antes de crear las condiciones de borde, es necesario delinear los bordes de la malla geométrica. Esto se realiza en la ventana de Datos Geométricos de la geometría en 2D utilizando la herramienta SA/2D Area BC Lines (Figura 44). Esta herramienta permite trazar líneas alrededor del contorno de la malla y definir los bordes aguas arriba y aguas abajo.

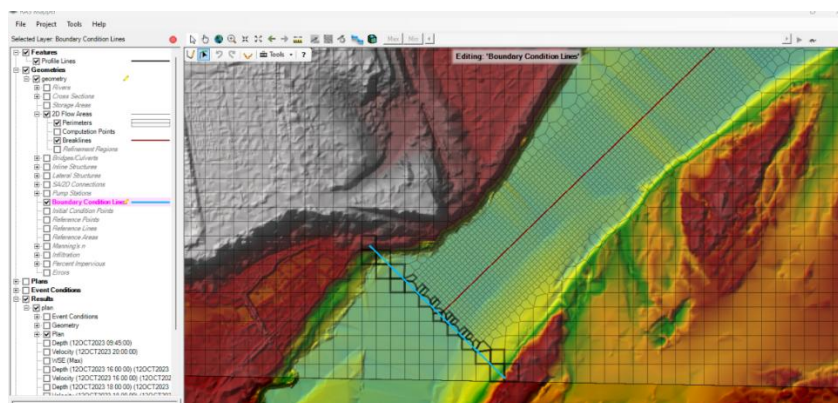


Figura 15: Creación de las condiciones de contorno

En cada borde se puede ingresar distintas condiciones, para este caso aguas arriba se considerará el hidrograma de flujo (caudal) y aguas abajo la pendiente normal (0.007)

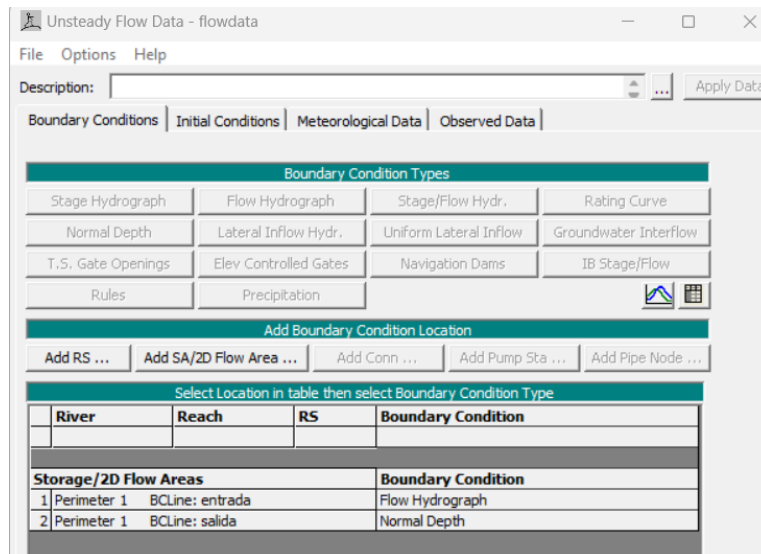


Figura 16: Ingreso de Hidrograma y pendiente

✓ **Creación del Plan.**

Para llevar a cabo la simulación hidráulica, se definió un plan de análisis que integra el procesamiento de la geometría y el cálculo de flujo inestable el post procesador y el mapeo de llanura de inundación (Figura 49). Además, para la obtención del intervalo de tiempo se usó las ecuaciones del Coeficiente de Courant (tamaño de celda y velocidad del flujo en movimiento) obtenido del manual para usuario para modelos en 2D de HEC-RAS (Brunner, 2016b).

La ecuación esta definida de la siguiente manera:

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

Donde:

ΔT = Etapa de tiempo computacional

ΔX = Tamaño medio de la celda

V = Velocidad del flujo

C = Número de Courant

De la expresión anterior, dio como resultado un intervalo de tiempo de 5 segundos

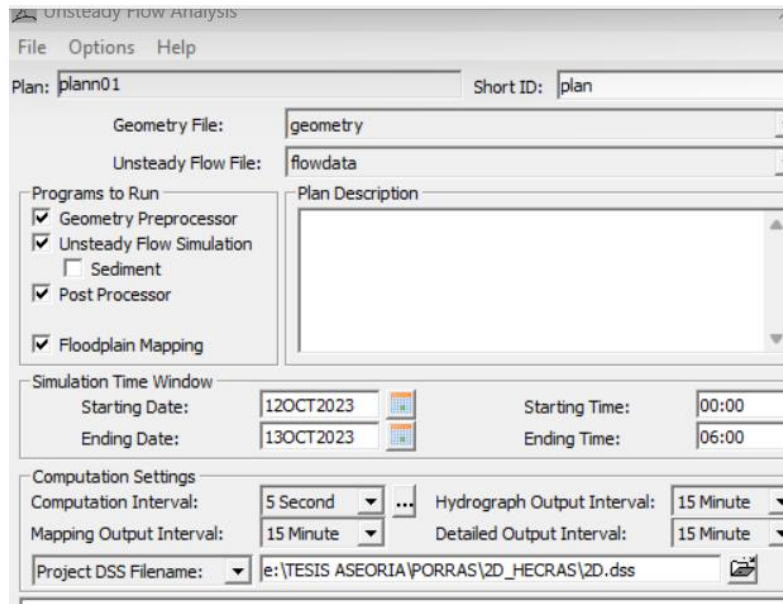


Figura 17: Cómputo del modelo

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

El gráfico de la serie temporal de los caudales máximos registrados en la Estación El Tigre, permiten definir el régimen de descargas muy marcado. Se observa que el máximo valor registrado es de 3712.5 m³/s correspondiente al año 1983, en el cual se debe al Fenómeno el Niño de ese periodo.

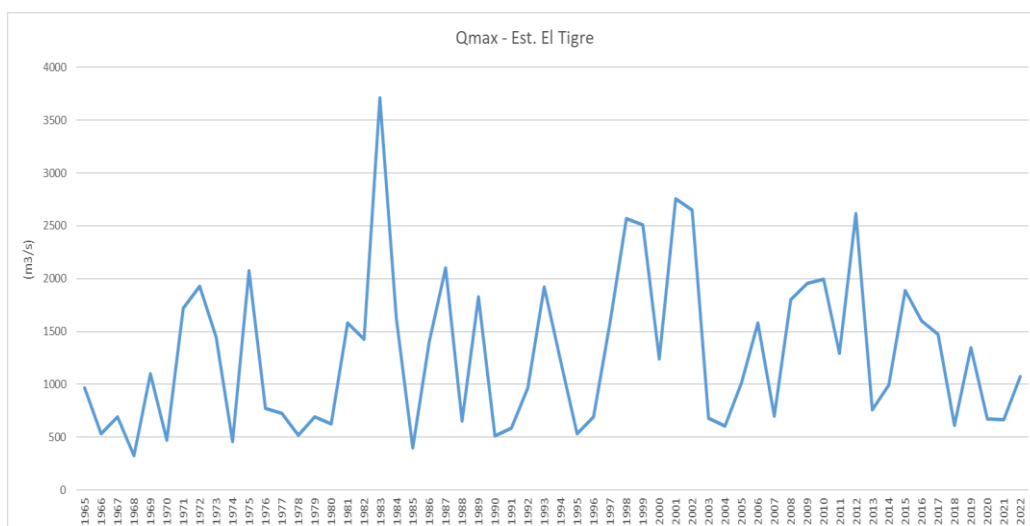


Figura 18: Hidrograma del Rio Tumbes 1965-2022

Respecto al análisis de homogeneidad y tendencia, se aplicaron el test de Helmer y Man Kendall, para analizar estadísticamente la serie, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 4: Resultado del Test de Helmer

Qmax Promedio=	1289.92
S=	33
C=	24
S-C	9
$\sqrt{n-1}$	7.55
$-\sqrt{n-1} \leq S-C$	OK
$S-C \leq \sqrt{n-1}$	NO CUMPLE
SERIE NO HOMOGenea	

Esta primera prueba tiene como objetivo identificar posibles discrepancias significativas entre los datos, ya sea debido a la presencia de valores atípicos o errores. Es evidente que se necesitará una revisión más detallada para determinar si ha habido fallos durante la toma de medidas o su transcripción, y en caso afirmativo, corregirlos. En general, puede suceder que la prueba de Helmert o la de las Secuencias muestran falta de homogeneidad, pues se trata de datos máximos y más aun cuando hay un exceso de secuencias, por lo que se recomienda señalar la serie como “oscila poco”. (Campos-Aranda, D. F. (2015).

Tabla 5: Resultado del Test de Man Kendall

I=	1651	
T=	1651	
S=	0	
Z	-0.0067	
Zcrit=	1.96	-1.96
α=	5%	
TENDENCIA NO SIGNIFICATIVA DECRECIENTE		

Los resultados del Test de Man Kendall, indican que existe una tendencia decreciente, pero no es significativa, ya que el z calculado es prácticamente cero.

4.1.2. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS CON MODELOS PROBABILISTICOS

La finalidad es determinar las precipitaciones, intensidades o caudales máximos para diferentes periodos de retorno. Se ha utilizado el software Hydrognomon, y el test de Kolmogorv Smirnov para encontrar la distribución de probabilidad que tenga un mejor ajuste a los datos de caudales máximos, cuyos resultados se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 6: Resultados del test de Kolmogrov Smirnov

Kolmogorov-Smirnov test for:All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	15.48%	0.1485
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	13.28%	0.15289
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	13.31%	0.15284
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	24.25%	0.13481
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9.82%	0.16119
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	59.18%	0.10125
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	32.66%	0.12484
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	30.12%	0.12763
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	36.60%	0.12077
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	21.57%	0.13851
EV2-Max	REJECT	REJECT	REJECT	0.01%	0.29787
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	REJECT	REJECT	3.66%	0.18574
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	41.45%	0.11613
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	23.15%	0.13629
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	44.03%	0.11381
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.41%	0.08685
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.72%	0.12924
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	53.63%	0.10568
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	26.85%	0.13149
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	8.09%	0.16628
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	4.28%	0.18205
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	38.82%	0.1186
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	79.43%	0.08516
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.62%	0.17548
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	10.46%	0.1595
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.56%	0.12943
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9.36%	0.16246

Según la pruebas de bondad y ajuste de Kolmogorov-Smirnov , se determinó que la función a tomar en cuenta es la distribución Pareto (L-Moments), la cual obtuvo el mejor ajuste y menor delta calculado, tal cual se muestran en las siguientes graficas.

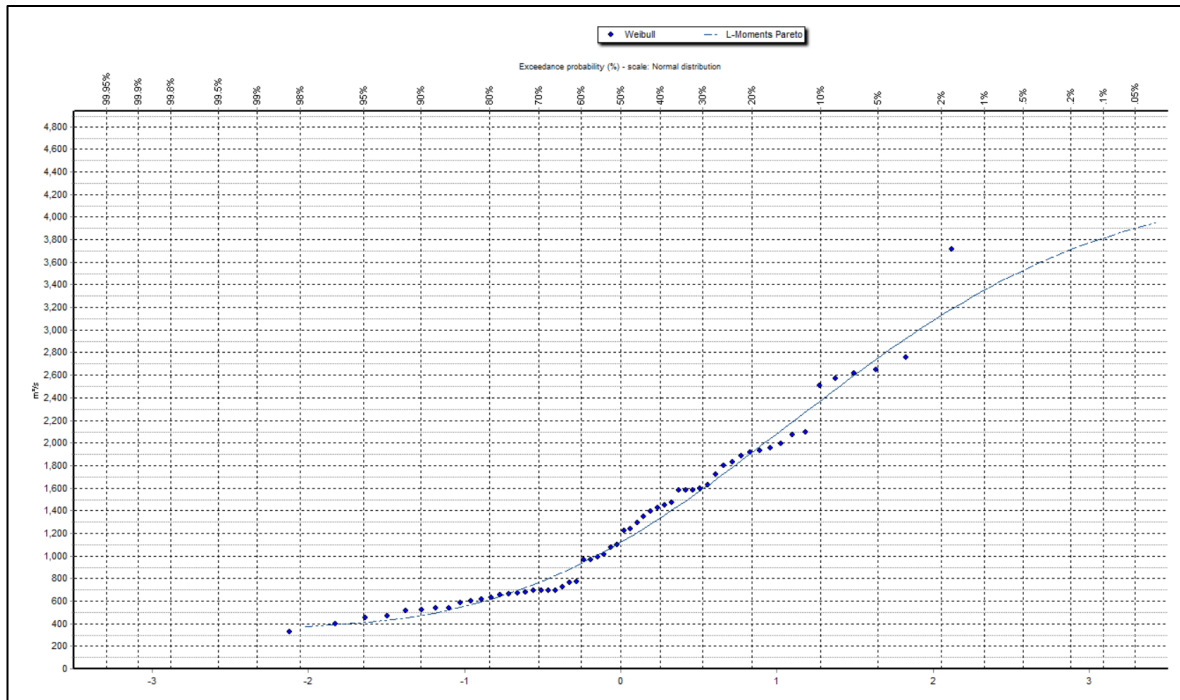


Figura 19: Curva de la distribución Pareto (L-moments)

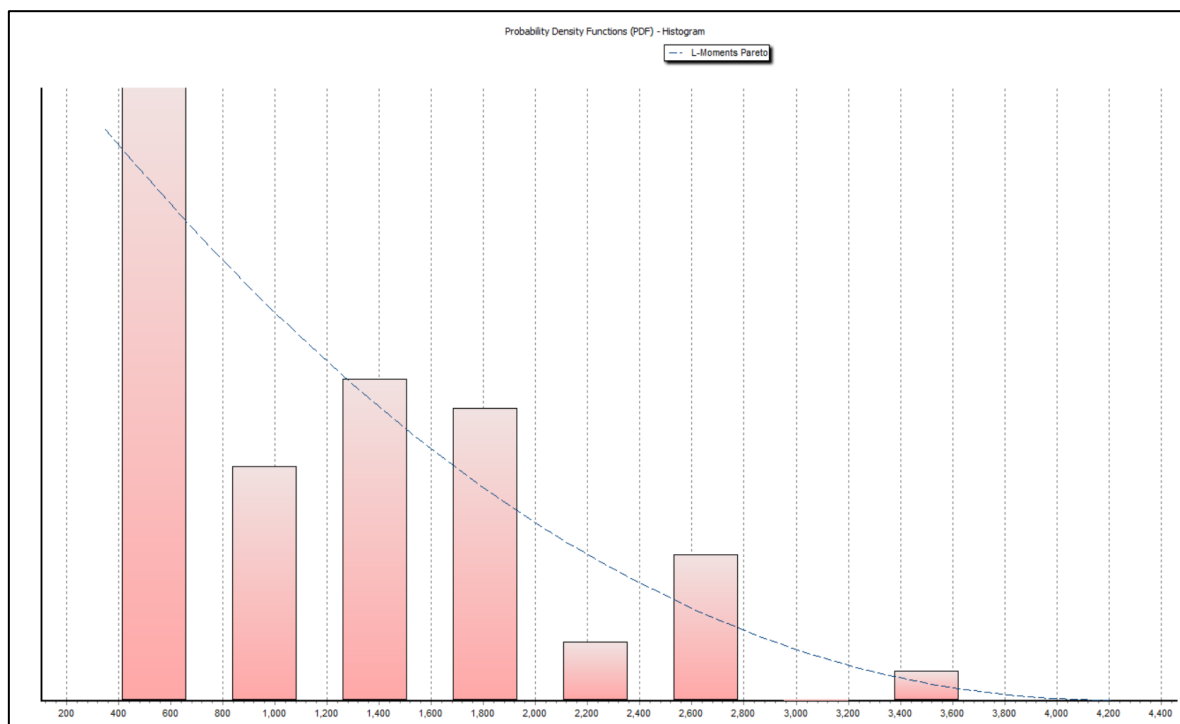


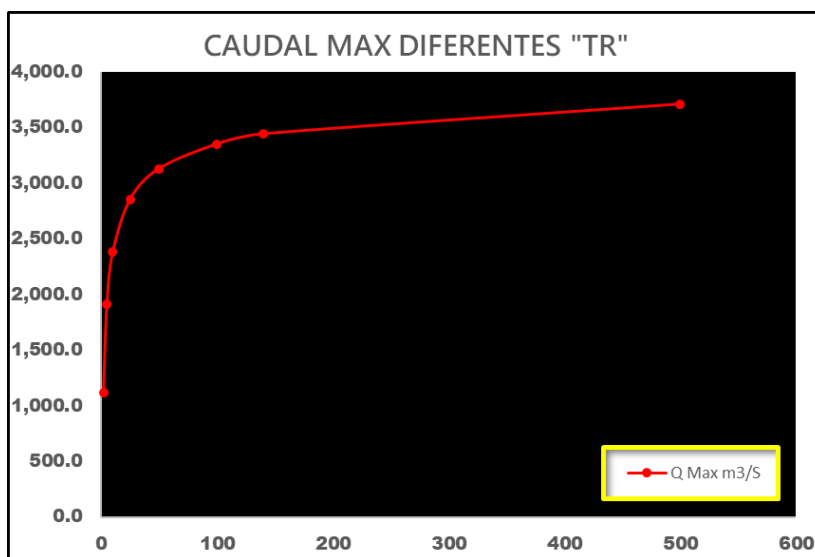
Figura 20: Histograma de la distribución Pareto (L-moments)

Elegida la distribución probabilística se procede a calcular los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, tal cual se muestra en la Tabla N° 6

Tabla 7: Caudales máximos según distribución Pareto (L-Moments)

Periodo de Retorno	Pareto (L-Moments)	Probabilidad de no excedencia P
T (años)	Qmax (mm)	
2	1120.350	0.500000
5	1915.290	0.800000
10	2379.030	0.900000
25	2853.220	0.960000
50	3129.850	0.980000
100	3351.290	0.990000
140	3442.260	0.992857
500	3709.820	0.998000

Figura 21: Caudal vs Periodo de Retorno



4.1.3. MAPA DE RUGOSIDAD PARA EL TRAMO EN ESTUDIO

Para la elaboración del mapa de rugosidad (Coeficiente de Manning), se requiere de procesar los datos de visitas a campo y del apoyo de imágenes satelitales en un programa GIS, que para la presente investigación se trata de QGIS. A continuación, se muestra el mapa obtenido con los diferentes valores de “n” para el tramo en estudio.

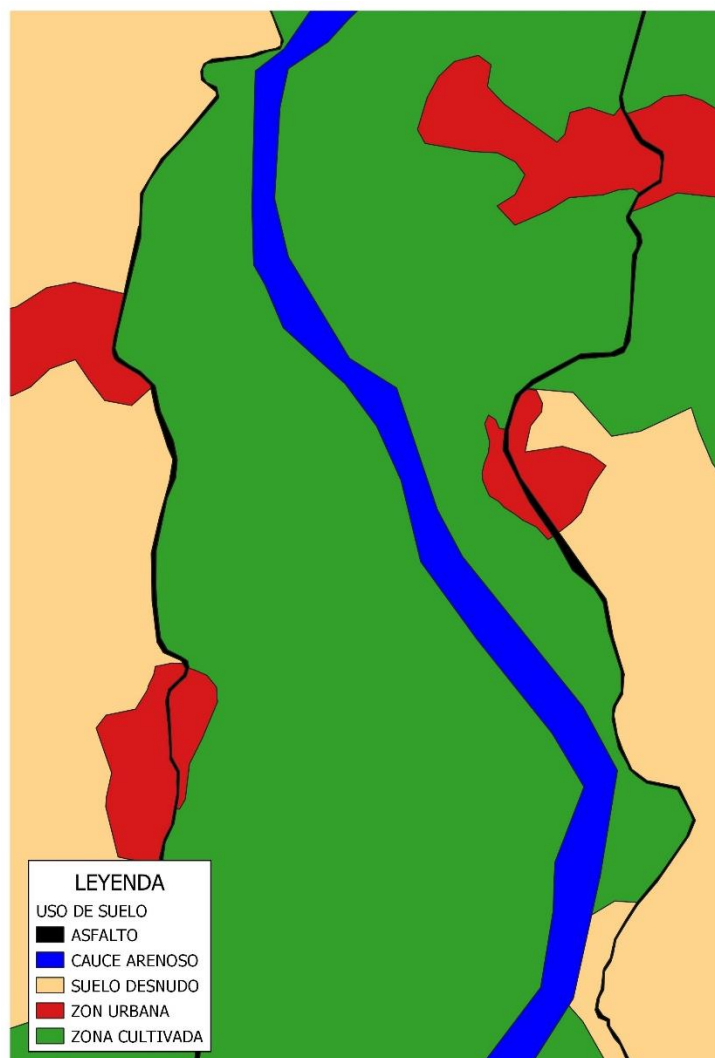


Figura 22: Mapa de Rugosidad de la zona de estudio

Tabla 8: Tipo de suelo y valor de manning

Tipo de suelo	Coefficiente de Manning
Asfalto	0.015
Cauce arenoso	0.035
Suelo desnudo	0.023
Zona urbana	0.02
Zona cultivada	0.03

4.1.4. MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

Las áreas de inundación y velocidades generadas en el modelo HEC-RAS para cada periodo de retorno en el tramo del río Tumbes correspondiente a los sectores Arena - La Palma y Ruston - La Inverna se muestran en las siguientes figuras.

MAPA DE TIRANTES

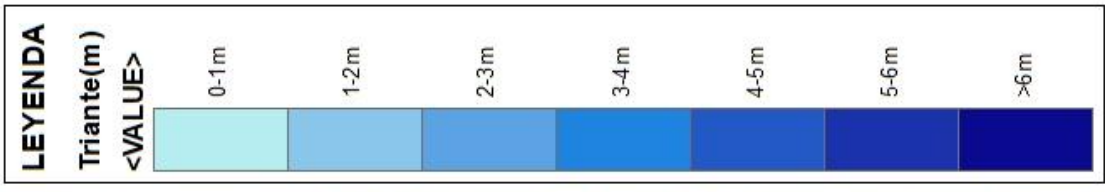
TR 25



TR 50



TR 100



Source: Esri, Maxar, Earthstar
Geographics, and the © 2018 User
Community

Source: Esri, Maxar, Earthstar
Geographics, and the © 2018 User
Community

Source: Esri, Maxar, Earthstar
Geographics, and the © 2018 User
Community

MAPA DE VELOCIDADES

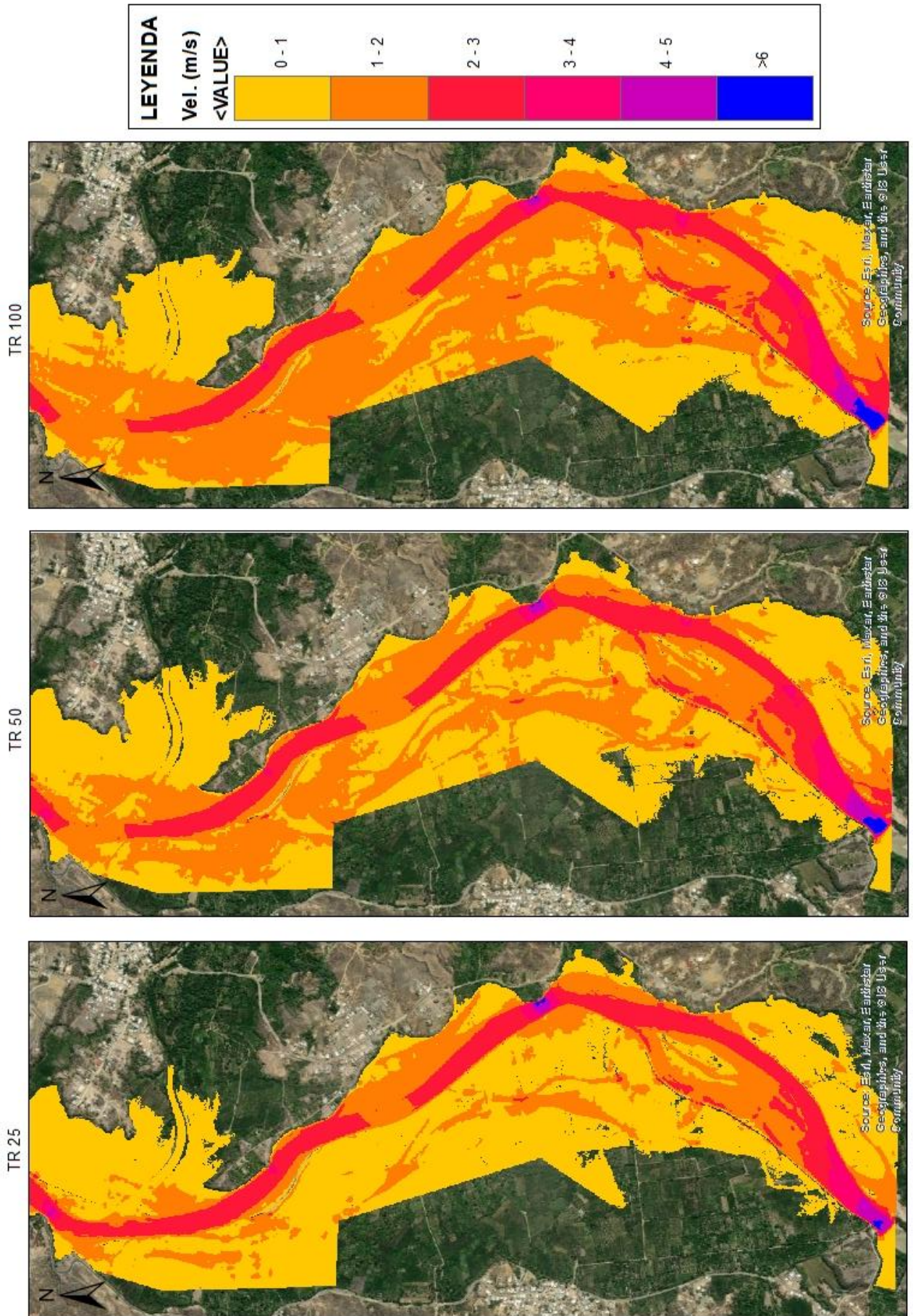


Figura 24: Mapa de Velocidades por periodo de retorno

a) Escenario de avenida para 25 años de Periodo de Retorno

Este escenario considera la simulación hidráulica bidimensional de una avenida para un periodo de retorno de 25 años. El caudal máximo simulado bordea los 2850 m³/s, obteniendo tirantes máximos de 6.04m una velocidad máxima de 6m/s. Según los resultados del modelado, se estima que la inundación afecta un área agrícola de 74.111 hectáreas.

b) Escenario de avenida para un periodo de retorno de 50 años.

Este escenario considera la simulación hidráulica bidimensional de una avenida para un periodo de retorno de 50 años. El caudal máximo simulado bordea los 3130 m³/s, obteniendo tirantes máximos de 7.11 m una velocidad máxima de 6.01 m/s. Las áreas agrícolas afectadas por inundación son de 89.80 Has según el modelamiento realizado.

c) Escenario de avenida para 100 años de Periodo de Retorno

Este escenario considera la simulación hidráulica bidimensional de una avenida para un periodo de retorno de 100 años. El caudal máximo simulado bordea los 3350 m³/s, obteniendo tirantes máximos de 7.97 m una velocidad máxima de 6.60 m/s. Las áreas agrícolas afectadas por la inundación son de 99.90 Has según el modelamiento realizado.

Un resumen de las afectaciones por periodo de retorno se presenta en la siguiente Tabla 9

Tabla 9: Cálculo de Áreas agrícolas afectadas

SECTOR	AREA (Has)		
	TR25	TR50	TR100
ARENA	5.25	5.78	6.31
LA PALMA	15.37	16.16	16.77
RUSTON	16.19	26.33	34.48
LA INVERNA	37.30	41.53	42.33
Total	74.11	89.80	99.91

4.1.5. PROPUESTAS DE MITIGACIÓN

Para mitigar los daños ocasionados por las inundaciones mostradas en el ítem anterior, se realizan propuestas del tipo estructural y no estructural las que se detallan a continuación.

Las técnicas más usuales para proteger las riberas de los ríos, especialmente las ubicadas en el exterior de las curvas, incluyen el uso de espigones, revestimientos y diques marginales, en este estudio se ha decidió proponer un dique como medida de protección en la ribera, para ello se realizan cálculos hidráulicos y estructurales.

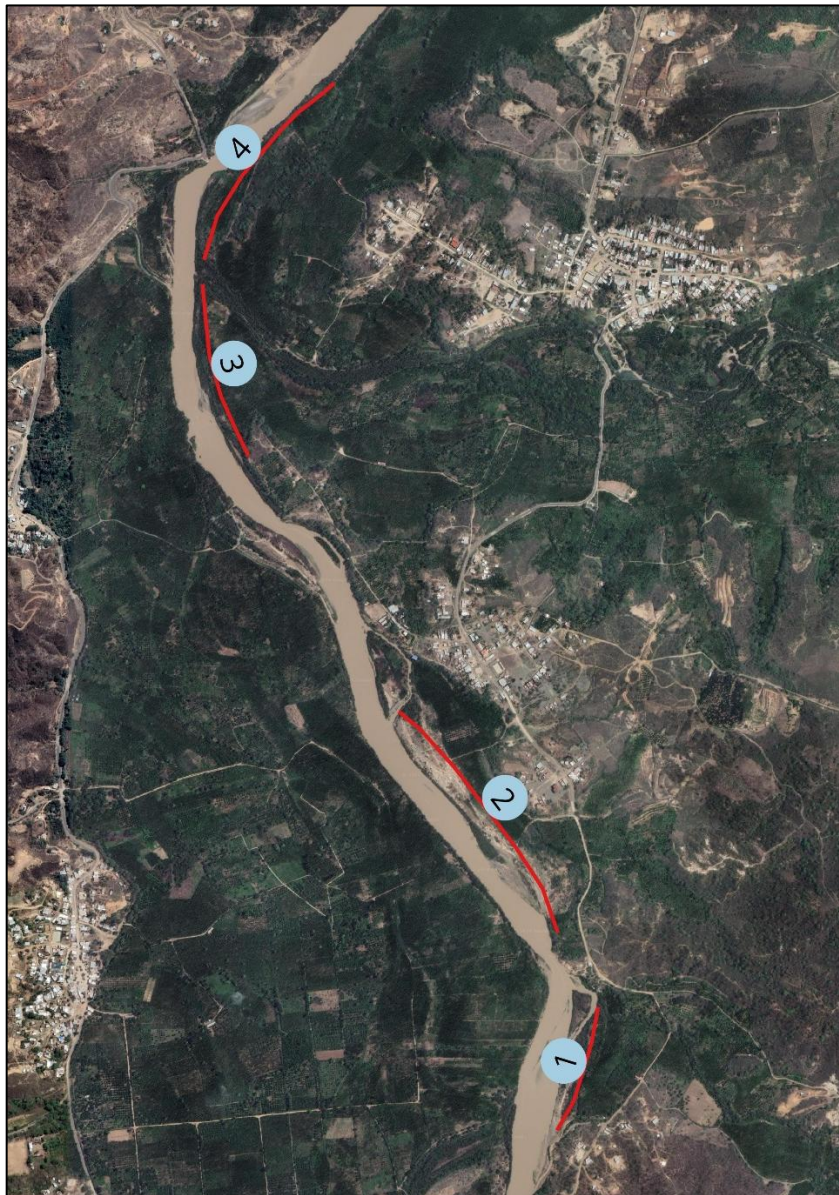


Figura 25: Propuesta de protección en 4 tramos

Tabla 10: Tramos propuestos para protección

TRAMOS	LONGITUD (m)	INICIO		FINAL	
		ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
1	435	562276.37	9586335.7	562412.38	9586743.7
2	925	562274.09	9587008.9	561739.97	9587752
3	600	561221.15	9588631.4	561067.79	9589205.6
4	750	561074.18	9589300.8	561510.97	9589892

a) CALCULOS HIDRÁULICOS

✓ Ancho de la sección estable

El ancho estable de un río se define como aquel que permite el paso del caudal máximo sin ocasionar erosión ni sedimentación, representando así un estado de equilibrio hidráulico. Por ende, conocer este ancho nos proporciona la base para dimensionar adecuadamente las estructuras hidráulicas de protección apropiadas. Se ha calculado tomando en cuenta 4 formulaciones.

Tabla 11: Calculo del ancho estable

SECCIÓN ESTABLE O AMPLITUD DE CAUCE (B)								
Q DISEÑO (m ³ /seg)	MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON			MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING			MÉTODO DE BLENCH	
	B = K ₁ Q ^{1/2}			B = (Q ^{1/2} /S ^{1/5}) (n K ^{5/3}) ^{3/(3+5m)}			B = 1.81(Q F _b /F _s) ^{1/2}	
3,350.00	Condiciones de Fondo de río	K ₁	B (m)	Valores rugosidad de Manning (n)		B (m)	Factores	
Pendiente Zona del Proyecto (m/m)	Fondo y orillas de grava	2.9	167.85	Descripción	n		298.60	Factor de Fondo
				Cauces de río con acarreo irregular = 0.030 - 0.029		0.03		Material Grueso
0.00090	MÉTODO DE PETTIS			Descripción	K	298.60	Factor de Orilla	
	B = 4.44 Q ^{0.5}			Material aluvial = 8 a 12	12		Materiales ligeramente cohesivos	0.2
	B (m)			Coeficiente de Tipo de Río				
	256.98			Descripción	m			
				Para cauces aluviales				
RESUMEN :								
							MÉTODO	B (m)
							MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON	167.85
							MÉTODO DE PETTIS	256.98
							MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING	298.60
							MÉTODO DE BLENCH	256.61
							RECOMENDACIÓN PRACTICA	200.00
=====> PROMEDIO B :								236.01
=====> SE ADOPTA B :								230.00
<i>Se elige este ancho por adaptarse a la zona de estudio.</i>								

✓ **Tirante Hidráulico**

Para determinar el tirante hidráulico se utilizará la fórmula de Maning Strickler

Tabla 12: Calculo del tirante

CALCULO DEL TIRANTE MÉTODO DE MANNING - STRICKLER (B > 30 M) $t = ((Q / (Ks * B * S^{1/2}))^{3/5}$			t
Valores para Ks para Cauces Naturales (Inversa de n)		(m)	
Descripción	Ks	5.02	
Cauces de río con acarreo irregular = 33 - 35	33		
Caudal de Diseño (m³/seg)			
Q = 3,350.00			
Ancho Estable - Plantilla (m)			
B = 230.00			
Pendiente del Tramo de estudio			
S = 0.00090			

✓ **Velocidad media**

Tabla 13: Calculo del tirante

Formula de Manning : Velocidad Media (m/s) >>>>> $V = R^{2/3} * S^{1/2} / n$			
Radio Hidráulico >>> R = A / P >>>>>>>		R :	Pendiente de Fondo >>> S
Tirante medio (y)	Taluz de Borde (Z)	4.79	S = 0.00090
y = 5.02	Z = 1.5		Coefficiente de Rugosidad de Manning
Ancho de Equilibrio (B)			Descripción
B = 230.00			n
Área (m²)	Perimetro (m)		Cauces de río con acarreo irregular = 0.030 - 0.029
A = 1116.8	P = 233.04		0.030
>>>>>>>		V = 2.84	m/seg

✓ **Numero de Froude**

Tabla 14: Cálculo del Numero de Froude

Numero de Froude : $F = V / (g * y)^{1/2}$			
Velocidad media de la corriente (m/s)	Aceleración de la Gravedad	Profundidad Hidráulica Media = Área Mojada / Ancho Superficial:	Froude (F)
V = 2.84	g = 9.81	y = A / B >>> y = 4.86	0.41
		Tipo de Flujo :	FLUJO SUBCRITICO

✓ **Borde Libre**

El espacio entre la elevación de la corona de una estructura y la superficie del agua se conoce como "libreboard", se utiliza como un margen de seguridad en el diseño hidráulico.

Tabla 15: Calculo del borde libre

Bordo Libre (BL) = ϕe					
Caudal máximo m ³ /s		ϕ	ϕ	$e = V^2/2g$	BL
3000.00	4000.00	2	2	0.41	0.82
2000.00	3000.00	1.7			
1000.00	2000.00	1.4			
500.00	1000.00	1.2			
100.00	500.00	1.1			

✓ **Altura de dique**

Corresponde a la suma del tirante hidráulico más el borde libre.

Tabla 16: Cálculo de la altura del dique

ALTURA DE MURO (H _D)	
$H_M = y + BL$	
y : Tirante de diseño (m)	
y =	5.02
>>>>>> H _M =	5.84
Por Procesos Constructivos	
>>>>>> H _M =	6.00

✓ **Profundidad de Socavación**

La profundidad de socavación indica el nivel hasta el cual el río excavaría, determinando así la profundidad necesaria de las cimentaciones de las estructuras, la cual está condicionada por las características del suelo.

Teniendo como sustento los estudios previos de Prado (2019), el lecho del río Tumbes en la zona de interés está compuesto por arenas. Para el presente análisis, se utilizó un D50 de 2 mm como valor representativo de los sedimentos de fondo. (p. 101).

Tabla 17: Cálculo de la profundidad de socavación

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV										
Suelos Granulares - No Cohesivos										
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$(1)										
Suelos Cohesivos										
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.60 \gamma_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)}$(2)										
Donde:										
t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)										
t = Tirante sin socavacion (m)										
$t = 5.02$ m										
D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)										
$D_m = 2$ mm										
γ_s = Peso Especifico suelo (Kg/m ³)										
μ = Coeficiente de Contraccion										
α = Coeficiente >>>>>										
$\alpha = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$										
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	α						
$t_m = 4.86$	3,350.00	$\mu = 1.00$	B = 230.00	1.05						
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :										
X : Exponente que depende de : D _m para suelos Granulares No Cohesivos y γ_s para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03		Coeficiente por Tiempo de Retorno : β (Tabla N° 04)	TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES - NO COHESIVOS							
X (Tabla N° 03)	1/x+1	$\beta = 1.00$	$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$							
x = 0.39	0.72		$t_s = 8.27$ m							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H_s</td> <td>= t_s - t</td> </tr> <tr> <td>H_s</td> <td>= 3.25 m</td> </tr> </tbody> </table>					PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)		H _s	= t _s - t	H _s	= 3.25 m
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
H _s	= t _s - t									
H _s	= 3.25 m									

La profundidad de la uña se puede calcular con la expresión anterior, multiplicado por un factor de seguridad.

Tabla 18: Cálculo de la profundidad de uña

Profundidad de Socavacion (H _s)	=	3.25	=====>	Profundidad de Uña (P _{UÑA})	=	FS * H _s
				FS	=	1.1
				P _{UÑA}	=	3.57

Por lo tanto, elegimos un valor de 3.5m como profundidad de uña

La propuesta de diseño de dique va de acuerdo con las tecnologías que hoy en día son utilizadas, con el fin de garantizar un diseño armonioso entre lo estructural, arquitectónico y económico. Se han considerado experiencias similares de la constitución mencionada de los diques, en obras construidas en los ríos Piura y Zarumilla, los cuales tienen características similares al Río Tumbes.

El diseño propuesto consiste la construcción de diques en ambas márgenes, los cuales contarán con relleno de material propio y protegidos en su cara húmeda mediante la colocación de geosintéticos del tipo “Geoceldas” instaladas encima de una geomalla, que se apoya sobre un geotextil no tejido y este directamente sobre el talud perfilado del dique.



Figura 26: Imagen referencial del proceso constructivo de dique con geo bolsa

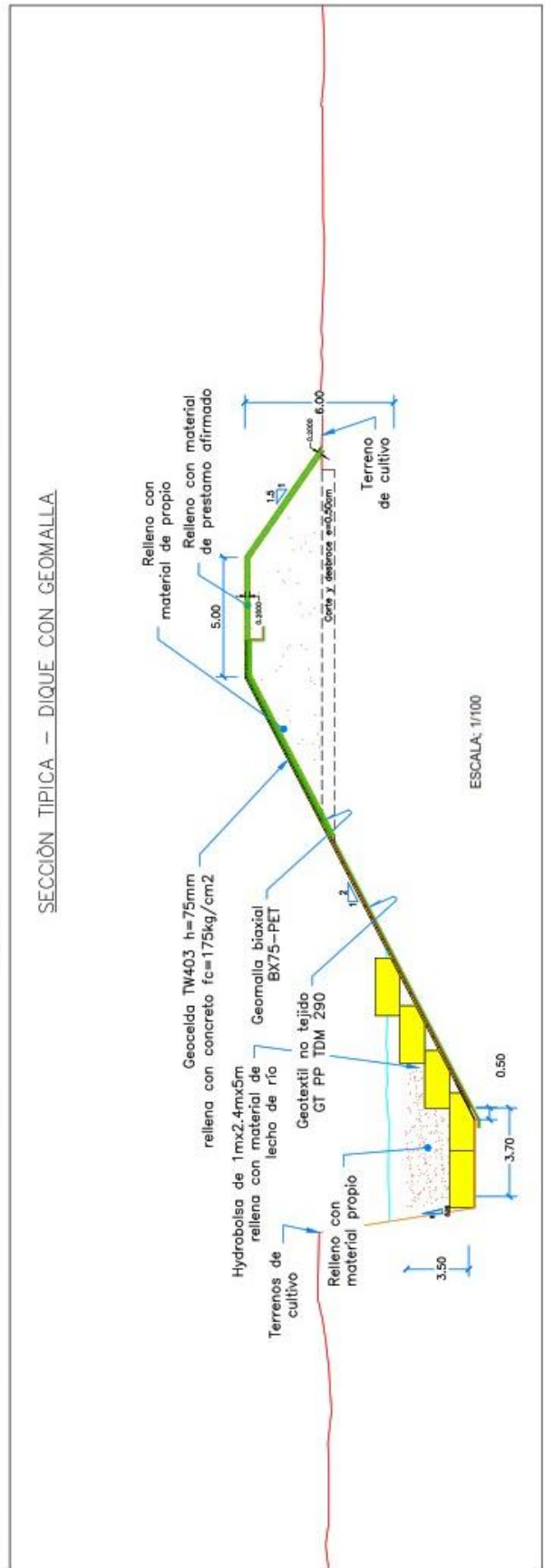


Figura 27: Detalle típico de propuesta

4.2. DISCUSIÓN

Según la presente investigación se ha realizado el análisis de consistencia mediante pruebas no paramétricas de la información hidrométrica, siendo esta favorable. En su investigación (Lloclla, 2021) también analizó los datos usando el test de Fisher y student, para ambas pruebas existe consistencia, además de pasar el test de datos dudosos según la Prueba Water Resources Council.

Según (Sanchez y Atoche, 2021) determina que la distribución LogNormal 2p tiene el mejor ajuste con la data de caudales máximos, obteniendo con dicha distribución un Q_{max} de 3592.2 m³/s para un tiempo de retorno de 50 años, difiriendo con los calculado en la presente investigación donde se obtiene para el mismo periodo de retorno un caudal máximo de 3129.85 m³/s. Cabe destacar que el ajuste a las distribuciones probabilísticas se ha realizado con el software Hydrognomon, el cual cuenta con mayor cantidad de distribuciones en su catálogo que el software Hidroesta para el ajuste de datos.

Para el dimensionamiento de estructuras el periodo de retorno para zonas agrícolas la Autoridad Nacional del Agua en su estudio e “tratamiento de cauce del río Tumbes para el control inundación y erosión fluvial”, considera pertinente 50 años, sin embargo, por tratarse de zonas agrícolas además de cercanía a viviendas se ha considerado en la presente investigación el periodo de retorno de 100 años.

Las alturas de socavación calculada fueron de 3.5 m altura, la cual esta directamente relacionado con el $Q_{diseño}$ y el diámetro del diseño, tomando como referencia de (Prado, 2019); en el Plan Integral de Control de Inundaciones de la cuenca del río Tumbes, las profundidades de empotramiento de los diques varían entre 3.00 y 4.00 m en la orilla derecha, mientras que en la orilla izquierda oscilan entre 2.50 y 5.00 m.

V. CONCLUSIONES

- ✓ La información hidrométrica utilizada corresponde a la Estación El tigre abarcando un periodo de 58 años (1965-2022), determinando que es consistente al pasar las pruebas estadísticas no paramétricas.
- ✓ Para el análisis probabilístico se utilizó el software hydrognomon. Siendo la distribución Pareto (L-Moments) la que mejor ajuste muestra respecto a los datos según la prueba de kolmogorov smirnov con un delta de 0.085.
- ✓ Los caudales obtenidos con la distribución Pareto (L-Moments) son de 2853.220 m³/s, 3129.85 m³/s y 3351.29 m³/s, para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años respectivamente.
- ✓ De acuerdo con lo demostrado en el modelamiento para un periodo de retorno de 100 años el tirante máximo es de 7.97 m y la velocidad de 6.60 m/s.
- ✓ Las áreas agrícolas afectadas en los sectores Arena, La Palma, Ruston y la Inverna suman un total de 99.1 Ha para un periodo de retorno de 100 años con un Q de 3351.29 m³/s.
- ✓ La estructura propuesta como alternativa está de acuerdo a cálculos hidráulicos y geométricos descritos, para el control de inundación y erosión en los sectores de estudio.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe tomar conciencia por parte de la población en no realizar agricultura en zonas vulnerables, pues supone un riesgo constante de inundación en estas áreas agrícolas.
- ✓ El modelo hidráulico debe estar sujeto a una calibración y adecuadas condiciones de ingreso y salida, considerando también las quebradas aportantes.
- ✓ Se recomienda el desarrollo de obras hidráulicas (Diques) en toda la longitud del río considerando una altura de diseño de acorde a los caudales máximos, además de habilitar los aliviaderos naturales.
- ✓ Colocar estaciones hidrométricas que permitan medir el nivel del río Tumbes, en puntos críticos a lo largo del río.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, (1992) Informe técnico preliminar-dragado del Río Tumbes y limpieza de los cauces Naturales de alivio.
- ANA, (2015). Plan de gestión de los recursos Hídricos de la cuenca Tumbes. Lima-Peru.
- Araya, A., González, V., & Jiménez, M. (2018). Análisis de la variación del coeficiente de rugosidad de Manning con respecto a la pendiente del canal en tubería de PVC de 315 mm de diámetro. *Revista INGENIERÍA UC*, 25(1), 43-49.
- Arias Herrera, D. Y. (2020). El cambio climático y el derecho al agua en Colombia: retos y perspectivas.
- Autoridad Nacional del Agua. (2014). TRATAMIENTO DE CAUCE DEL RIO TUMBES PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES. LIMA.
- Carrillo, J. y Valencia, J. (2019). *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 de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes].
- Fenómeno el Niño en el Perú en 1578 y el pago de impuestos. Lima, Perú.
- Gobierno regional de tumbes. (2011). “instalación de los servicios de protección de la margen derecha del río tumbes sector la inverna – distrito de Pampas de Hospital, provincia y Región de tumbes”. Estudio de pre-inversión a nivel de perfil.
- Jimenez, A. (2014). Determinación de Zonas Vulnerables a la Inundación Por las Crecidas del Rio Camaná Propuesta de mitigación. Puno-Peru: UNA-PUNO. Lima: UNALM

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

PMGRH. (2012). ANEXO 20, morfología y dinamica fluvial del río tumbes.

ROCHA FELICES, A. (s.f.). Fenomeno el Niño en el Perú en 1578 y el pago de impuestos.

Rocha, A. (1998). Introduccion a la Hidraulica Fluvial. Lima-Perú: UNI.

Rocha, A. (1998). Introducción a la Hidráulica Fluvial. Lima-Perú: UNI.

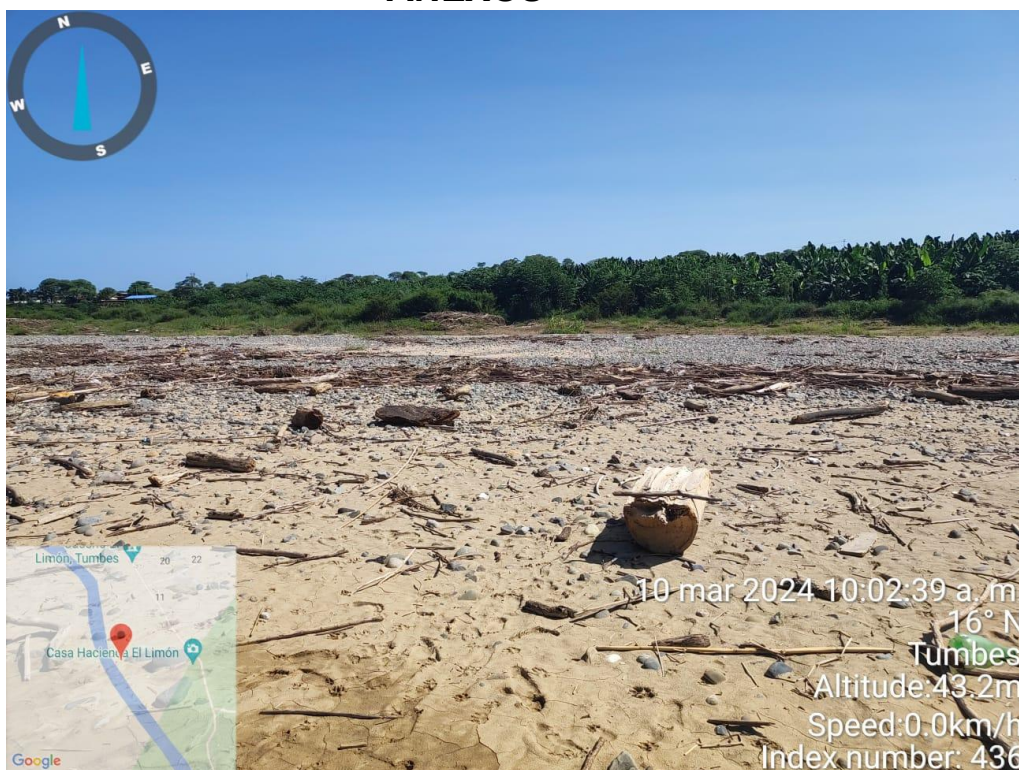
Rodas Quiroz, M. D. (2018). Plan de Gestión de Riesgos de Desastres Naturales para la Institución Educativa N° 10177 “El Puente”, Distrito de Olmos, Provincia y Región Lambayeque, 2017-2018.

Sandoval, W. (29 de marzo de 2015). Desborde del río Tumbes inunda más de 7.500 hectáreas.

US Army Corps of Engineers. (s.f.). *Manual del usuario de HEC-RAS: Introducción a HEC-RAS.* HEC.
<https://hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasum/6.5/introduction-to-hec-ras>

Vásquez, A. V. (2016). Manejo y gestión de cuencas Hidrográficas.

ANEXOS



Llanura de inundación en el sector Arena



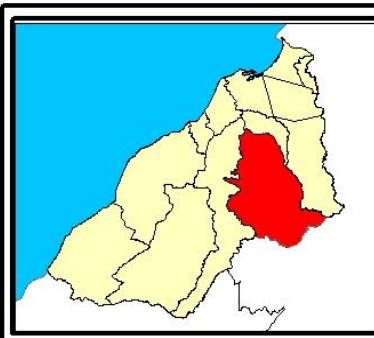
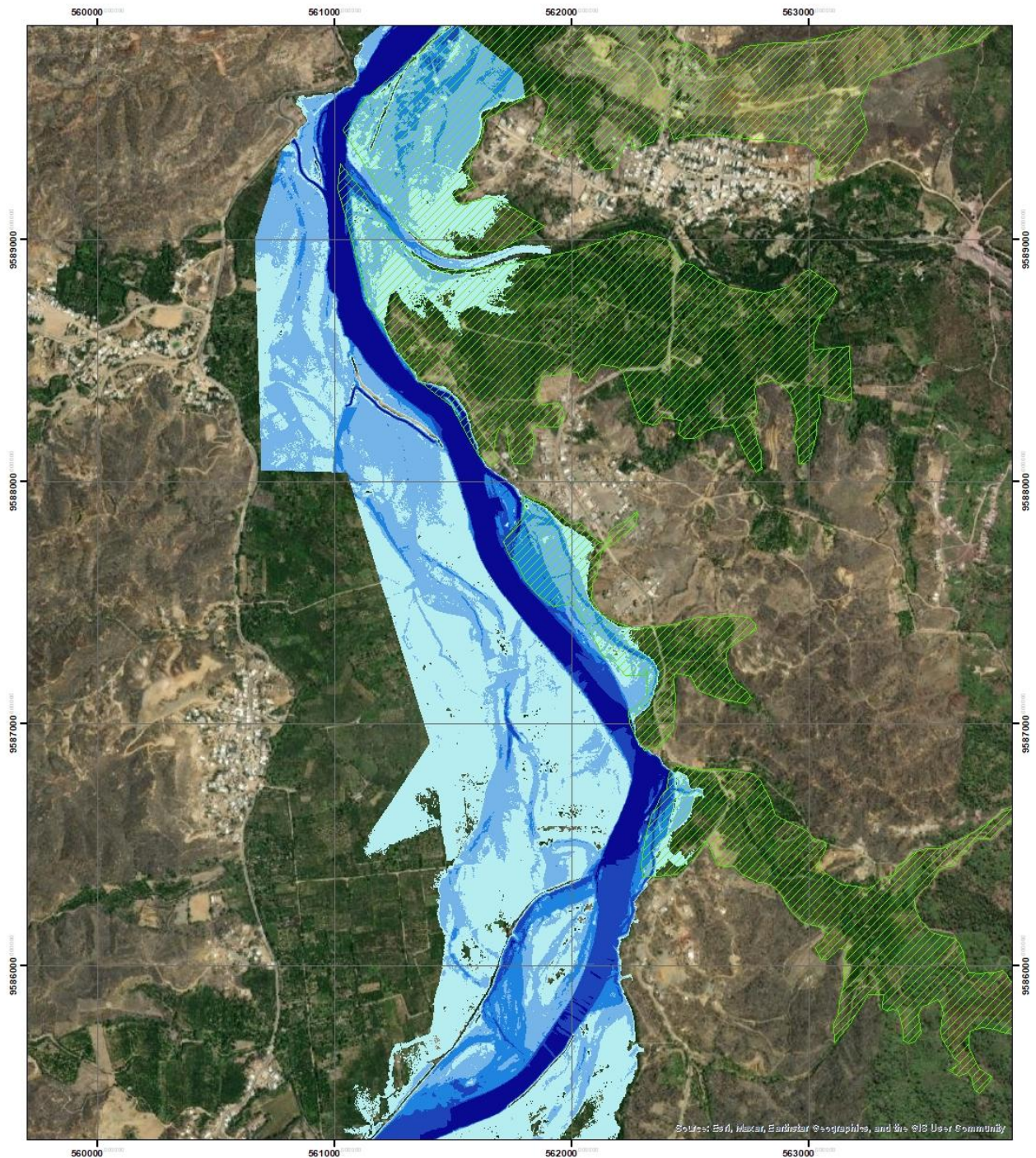
Sector de la Irrigación La Palma



Confluencia de la quebrada Cabuyal y el Rio Tumbes



Sector Ruston La Inverna



MAPA DE UBICACION

LEYENDA

Area agricola

Tirante (m) TR 25

<VALUE>

0.1 - 1.0

1.0 - 2.0

2.0 - 3.0

3.0 - 4.0

4.0 - 6.05

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA

Proyecto de Tesis:
Identificación de áreas agrícolas inundables por caudales máximos
del río Tumbes en sectores Arena - La Palma y
Ruston - La inverna - 2023

Mapa de Tirantes Maximos 25 años

Elaborado:
Porras Preciado, Luigi

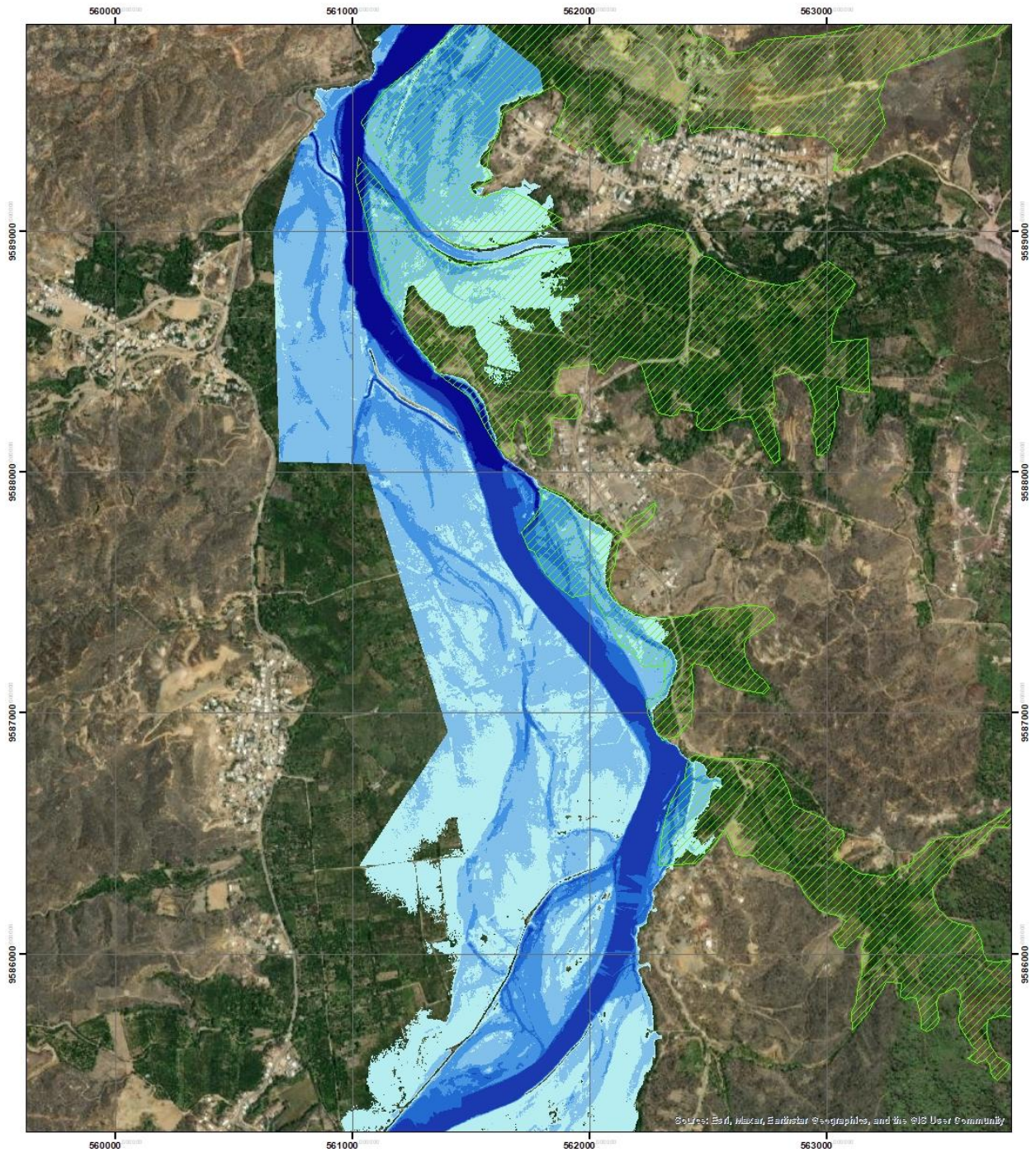
Departamento: Tumbes
Provincia: Tumbes
Distrito: Pampas de Hosp.

Escala:
1/15000

Asesores (Ing):
Maceda Nicolini, Enrique
More Medrano Henry

Sist. Coord. WGS84
UTM 17S

MP 01



MAPA DE UBICACION

LEYENDA

Area agricola

Tirante (m) TR50

<VALUE>

- 0.0009 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- 3.0 - 4.0
- 4.0 - 5.0
- 5.0 - 7.11

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA**

Proyecto de Tesis:
Identificación de áreas agrícolas inundables por caudales máximos del río Tumbes en sectores Arena - La Palma y Ruston - La invernada - 2023

Mapa de Tirantes Maximos 50 años

Elaborado:
Porras Preciado, Luigi

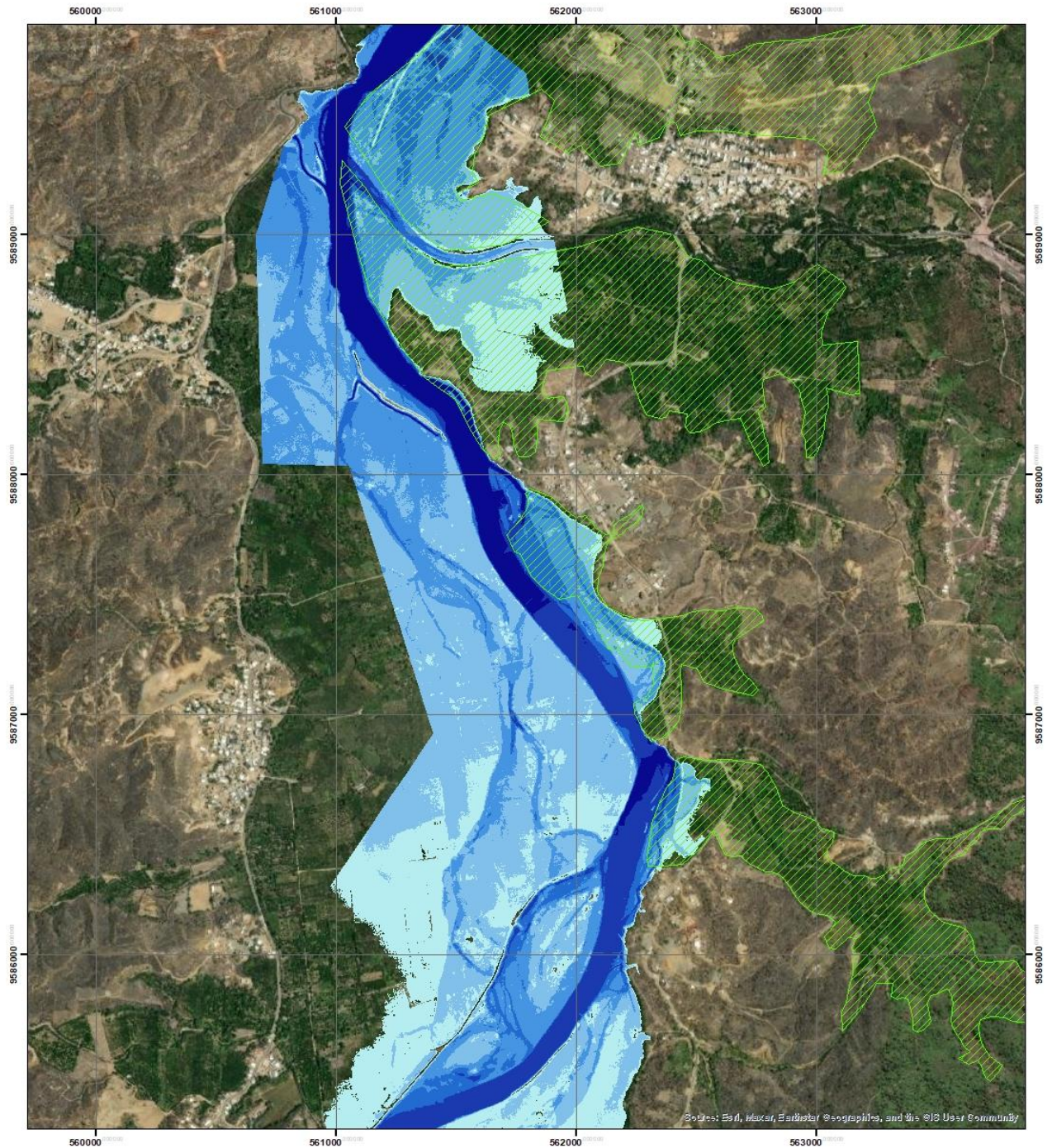
Departamento: Tumbes
Provincia: Tumbes
Distrito: Pampas de Hosp.

Escala:
1/15000

Asesores (Ing):
Maceda Nicolini, Enrique
More Medrano Henry

Sist. Coord. WGS84
UTM 17S

MP 02



MAPA DE UBICACION

LEYENDA

Area agricola

Tirante (m) TR100
<VALUE>

- 0.0009 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- 3.0 - 4.0
- 4.0 - 5.0
- 5.0 - 7.97

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA

Proyecto de Tesis:
Identificación de áreas agrícolas inundables por caudales máximos del río Tumbes en sectores Arena - La Palma y Ruston - La invernada - 2023

Mapa de Tirantes Maximos 100 años

Elaborado:
Porras Preciado, Luigi

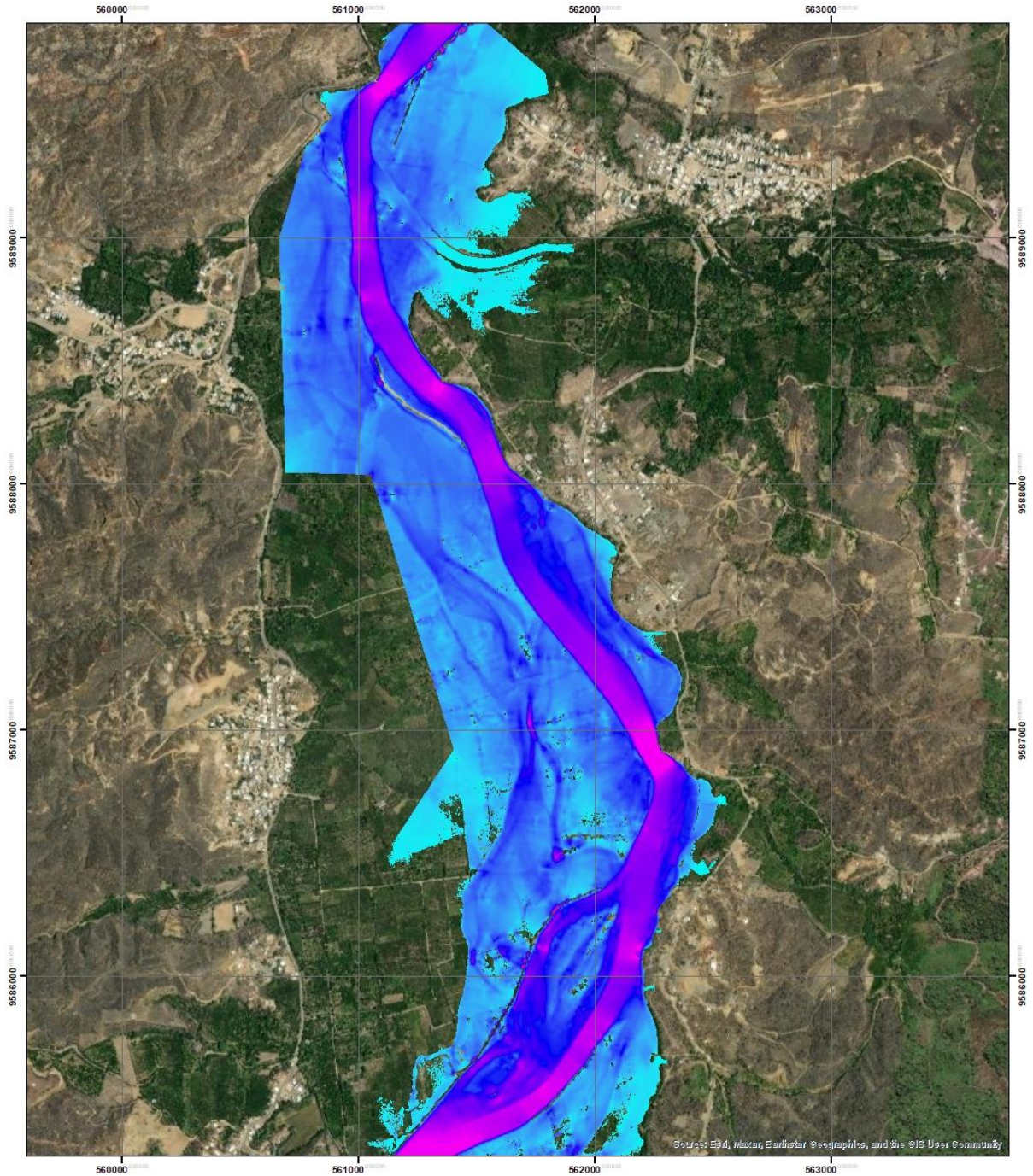
Departamento: Tumbes
Provincia: Tumbes
Distrito: Pampas de Hosp.

Escala:
1/15000

Asesores (Ing):
Maceda Nicolini, Enrique
More Medrano Henry

Sist. Coord. WGS84
UTM 17S

MP 03

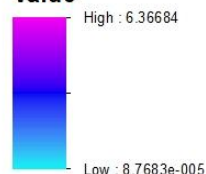


MAPA DE UBICACION

LEYENDA

Vel. (m/s) TR25

Value



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA

Proyecto de Tesis:
Identificación de áreas agrícolas inundables por caudales máximos
del río Tumbes en sectores Arena - La Palma y
Ruston - La Inverna - 2023

Mapa de Velocidades TR25 años

Elaborado:
Porras Preciado, Luigi

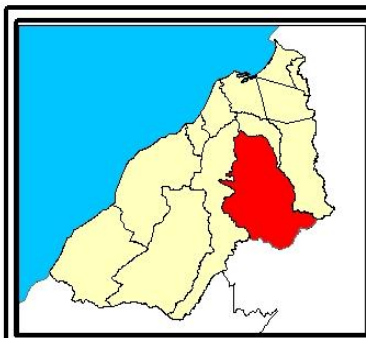
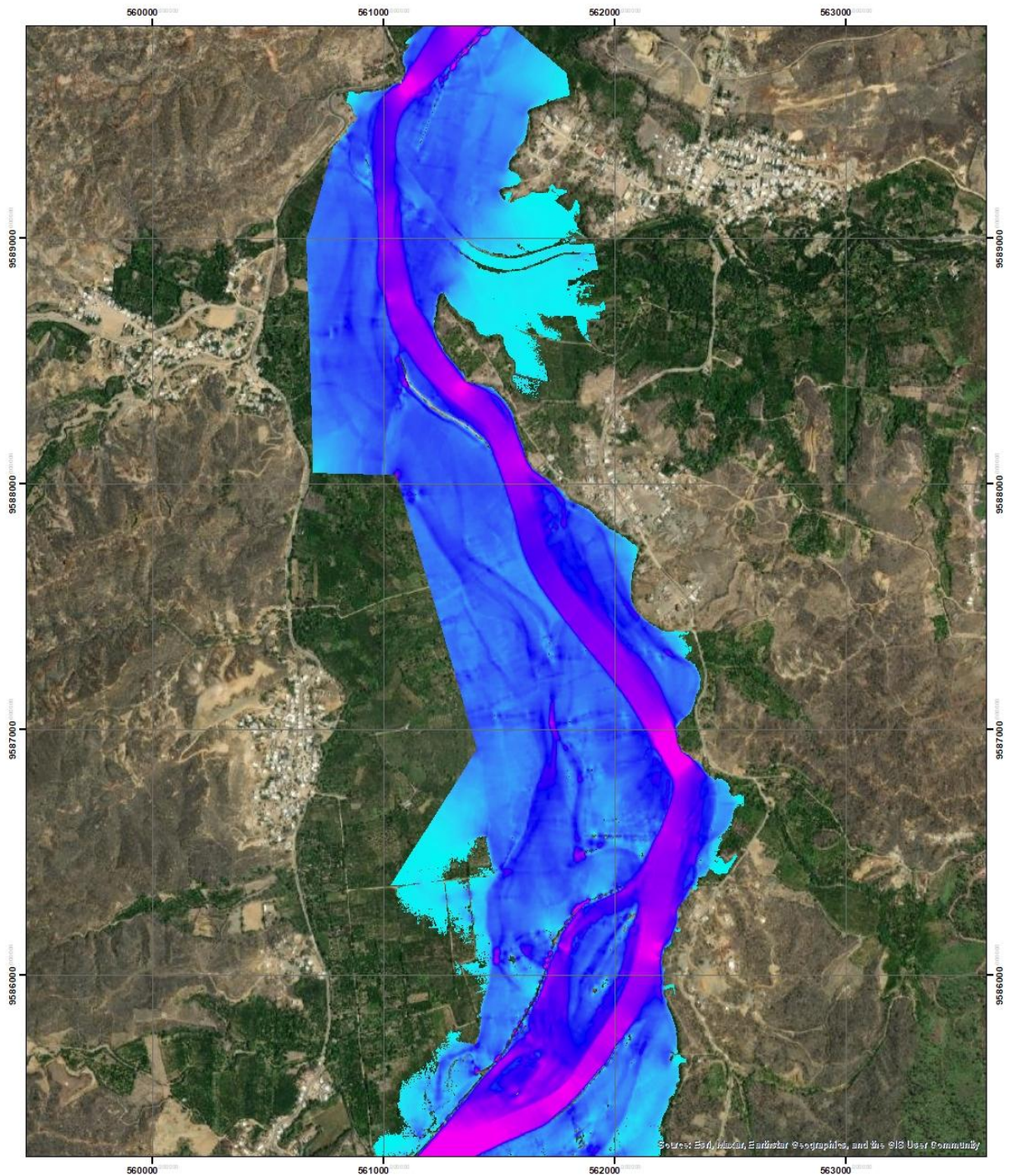
Departamento: Tumbes
Provincia: Tumbes
Distrito: Pampas de Hosp.

Escala:
1/15000

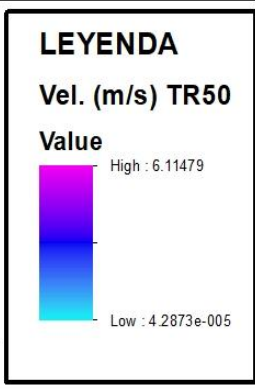
Asesores (Ing):
Maceda Nicolini, Enrique
More Medrano Henry

Sist. Coord. WGS84
UTM 17S

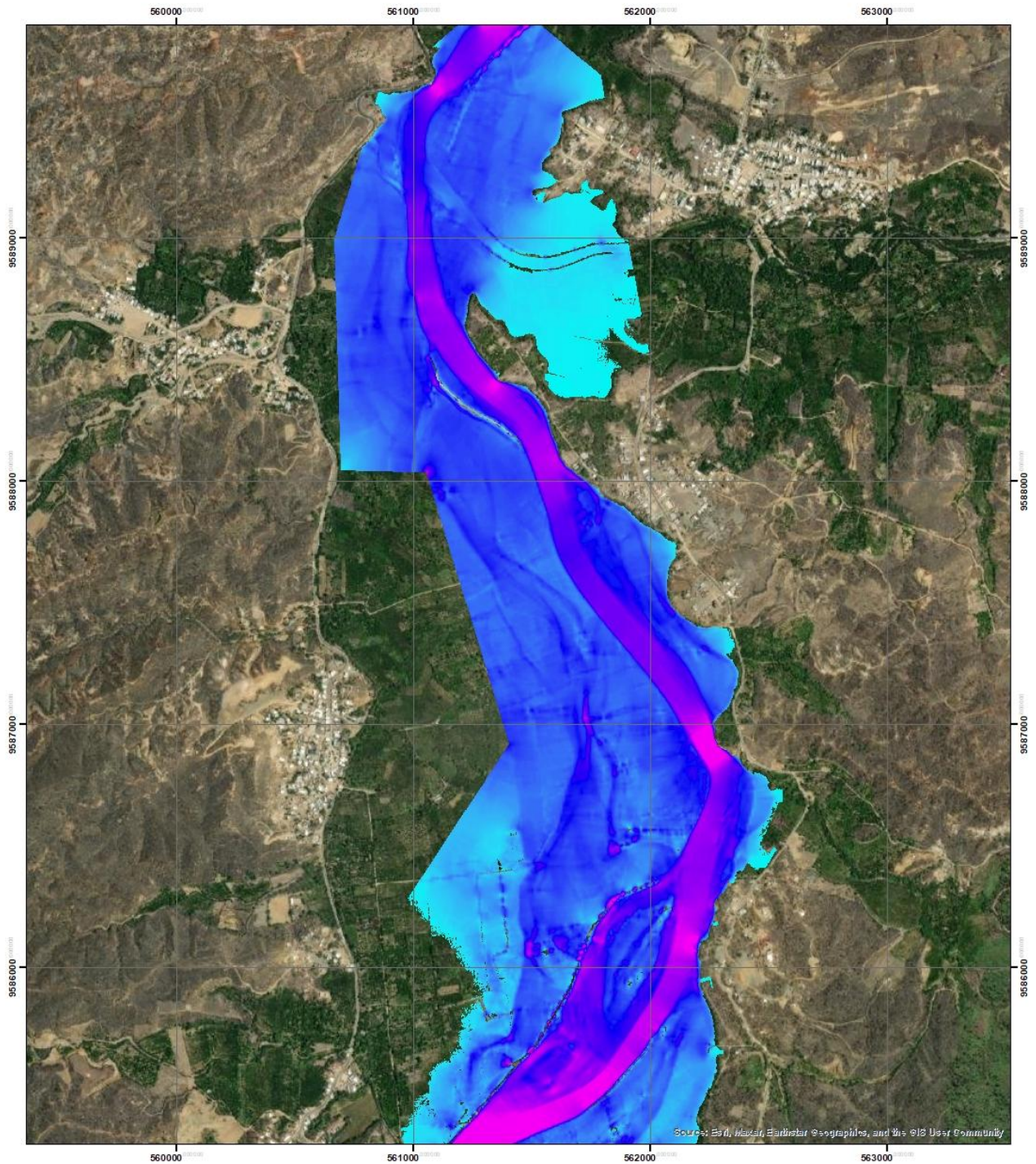
MP 04



MAPA DE UBICACION



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA</p>		
<p>Proyecto de Tesis: Identificación de áreas agrícolas inundables por caudales máximos del río Tumbes en sectores Arena - La Palma y Ruston - La invernada - 2023</p>		
<p>Mapa de Velocidades TR50 años</p>		
<p>Elaborado: Porras Preciado, Luigi</p>	<p>Departamento: Tumbes Provincia: Tumbes Distrito: Pampas de Hosp.</p>	<p>Escala: 1/15000</p>
<p>Asesores (Ing): Maceda Nicolini, Enrique More Medrano Henry</p>	<p>Sist. Coord. WGS84 UTM 17S</p>	<p>MP 05</p>



	<p>LEYENDA</p> <p>Vel. (m/s) TR100</p> <p>Value</p> <p>High : 6.64383</p> <p>Low : 2.28712e-005</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA</p>	
<p>Proyecto de Tesis: Identificación de áreas agrícolas inundables por caudales máximos del río Tumbes en sectores Arena - La Palma y Ruston - La invernada - 2023</p>			
<p>Mapa de Velocidades TR100 años</p>			
<p>Elaborado: Porras Preciado, Luigi</p>	<p>Departamento: Tumbes Provincia: Tumbes Distrito: Pampas de Hosp.</p>	<p>Escala: 1/15000</p>	
<p>Asesores (Ing): Maceda Nicolini, Enrique More Medrano Henry</p>	<p>Sist. Coord. WGS84 UTM 17S</p>	<p>MP 06</p>	
<p>MAPA DE UBICACION</p>			