

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola

**“Delimitación de la zona inundable por las crecidas de la quebrada
El Cerezo, mediante modelamiento hidráulico HEC-RAS – La Cruz -
Tumbes - 2025.”**

AUTOR:

Br. Sebastian Miguel Dioses Morán

TUMBES – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



“Delimitación de la zona inundable por las crecidas de la quebrada El Cerezo, mediante modelamiento hidráulico HEC-RAS – La Cruz - Tumbes - 2025.”

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

Br. Sebastián Miguel Dioses Morán (Autor)

Ing. Deciderio Atoche Ortiz (Asesor)
Código ORCID: 0000-0002-3300-330X

TUMBES – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



“Delimitación de la zona inundable por las crecidas de la quebrada El Cerezo, mediante modelamiento hidráulico HEC-RAS – La Cruz - Tumbes - 2025.”

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Napoleón Puño Lecarnaque (Presidente)
Código ORCID: 0000-0002-5008-8085

Dr. Eber Gines Tafur (Secretario)
Código ORCID: 0000-0003-0366-4438

Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Vocal)
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

TUMBES – PERÚ

2025



**Universidad Nacional
de Tumbes**



Facultad de Ciencias Agrarias
Programa Académico de Ingeniería Agrícola
Ex Fundo Fiscal La Cruz – Campus Universitario

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los DIECISIETE días del mes de JUNIO del dos mil veintiséis, siendo las 10:00 horas con 00 minutos, en el Campus Universitario, de la Facultad de Ciencias Agrarias en el aula 2, del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto, de forma presencial, se reunieron los miembros del Jurado Calificador designados por RESOLUCIÓN N°031-2025/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, de fecha 13 de febrero del 2025 Dr. Napoleón Puño Lecarnaque (Presidente), Dr. Eber Gines Tafur (Secretario) Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Vocal); reconociendo en la misma resolución, Ing. Deciderio Atoche Ortiz como (Asesor), se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación del informe final de la tesis, titulada: "Delimitación de la zona inundable por las crecidas de la quebrada El Cerezo, mediante modelamiento hidráulico HEC-RAS – La Cruz - Tumbes – 2025", presentado por el Br. Sebastian Dioses Moran del Programa Académico Profesional de Ingeniería Agrícola. Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, en concordancia con el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, Aprobado por Resolución N° 0714-2023/UNTUMBES-CU, con fecha 25 de mayo del 2023, declaró APROBADO, por UNANIMIDAD, con el calificativo MUY BUENO. Se le hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones realizadas si las hubiera que el jurado calificador indique.

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 TRECE horas con CINCUENTA Y SIETE minutos del mismo día, mes y año se dio por terminado el acto académico, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 47 de JUNIO del año 2026

 Dr. Napoleón Puño Lecarnaque DNI N° 00225904 CODIGO ORCID: 0000-0002-5008-8085 Presidente	 Dr. Eber Gines Tafur DNI N° 17542075 CODIGO ORCID: 0000-0003-0366-4438 Secretario
 Dr. José Modesto Carrillo Sarango DNI N° : 00223850 CODIGO ORCID: 0000-0003-0841-3064 Vocal	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)
-INTERESADO- Decanato- Archivo

Sebastian Miguel Dioses Morán

Delimitación de la zona inundable por las crecidas de la quebrada El Cerezo, mediante modelamiento hidráulico HEC-...

 Dioses Moran

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:613979468

Fecha de entrega

12 ago 2026, 19:18 GMT-5

Fecha de descarga

12 ago 2026, 19:30 GMT-5

Nombre del archivo

Tesis Dioses Morán 2026.pdf

Tamaño del archivo

7.2 MB

80 páginas

11.361 palabras

62.343 caracteres

Ing. Deciderio Atoche Ortiz (Asesor)
Código ORCID: 0000-0002-3300-330X

3% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  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.



Ing. Deciderio Atoche Ortiz (Asesor)
Código ORCID: 0000-0002-3300-330X

Fuentes principales

2%	 Fuentes de Internet
0%	 Publicaciones
2%	 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	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2026-07-02	<1%
2	Internet	repositorio.unprg.edu.pe	<1%
3	Internet	hdl.handle.net	<1%
4	Internet	ciedes.ucr.ac.cr	<1%
5	Internet	prezi.com	<1%
6	Internet	vsip.info	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Colombia on 2025-05-25	<1%
8	Trabajos del estudiante	UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología on 2024-05-04	<1%
9	Trabajos del estudiante	Ingeniería on 2026-08-11	<1%
10	Internet	dspace.unitru.edu.pe	<1%
11	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%


 Ing. Deciderio Atoche Ortiz (Asesor)
 Código ORCID: 0000-0002-3300-330X

12	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez on 2026-02-11	<1%
14	Internet	apirepositorio.unu.edu.pe	<1%
15	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%

DEDICATORIA

A mi madre quien me animó a perseverar todos los días, me recordó la importancia de tener a alguien a mi lado y me apoyó en todo momento.

A mis abuelos Graciela y Sotero, quienes siempre me apoyaron en todo momento, y me dieron los mejores consejos para seguir adelante demostrando que lo más importante es la familia.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado las fuerzas, paciencia y perseverancia necesaria para concluir esta investigación con éxito. Asimismo, por haber guiado mis pasos y dirigido en las decisiones correctas.

A la Universidad Nacional de Tumbes, por la formación académica brindada.

Gracias a mi familia por siempre apoyarme y motivarme a continuar.

Gracias a mis colegas que me brindaron el tiempo, la capacitación y la experiencia que necesitaba en el desarrollo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	9
AGRADECIMIENTO	10
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS	14
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	18
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	23
2.1. Antecedentes del Estudio	23
2.1.1. Antecedentes Internacionales	23
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	24
2.1.3. Antecedentes Locales	25
2.2. Bases Teóricas.....	27
2.2.1. Hidrología.....	27
2.2.2. Ciclo Hidrológico	28
2.2.3. Modelado Hidráulico.....	29
2.2.4. Periodo de Retorno	29
2.2.5. Análisis de precipitaciones para la estimación de caudales.....	29
2.2.6. Hidráulica fluvial y morfología.....	31
2.2.7. Modelamiento en HEC-RAS.....	32
2.2.8. Obras de protección ribereña	35
2.3. Marco Conceptual.....	36
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
3.1. Hipótesis.....	38
3.1.1. Hipótesis General.....	38
3.1.2. Hipótesis Específicas	38
3.2. Variables.....	38
3.2.1. Identificación de variables	38
3.2.2. Operacionalización de variables.....	38
3.3. Ubicación.....	41
3.3.1. Ubicación Política.....	41
3.3.2. Ubicación Geográfica	41
3.4. Diseño Metodológico.....	42
3.4.1. Enfoque de Investigación	42
3.4.2. Tipo de Investigación	42
3.4.3. Nivel de Investigación	43
3.4.4. Diseño de la Investigación.....	43
3.5. Población y Muestra	43
3.5.1. Población.....	43
3.5.2. Muestra	44

3.6. Materiales	44
3.6.1. Información.....	44
3.6.2. Software	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	45
4.1. Análisis de Información Hidrológica	45
4.2. Obtención de precipitaciones máximas	53
4.3. Elaboración del modelamiento hidrológico.....	56
4.4. Características del Modelamiento	61
4.4.1. Datos Geométricos.....	61
4.4.2. Datos Hidráulicos	65
4.4.3. Elaboración de la Modelación	66
4.4.4. Resultados de la Modelación	67
4.4.5. Refinamiento de la Malla.....	68
4.4.6. Condiciones de Contorno	72
4.5. Resultados del Modelamiento	79
4.6. Análisis y discusión de resultados	81
4.6.1. Resultados respecto al objetivo general.....	83
4.6.2. Resultados respecto a los objetivos específicos	84
4.6.3. Descripción de los hallazgos más relevante.....	85
4.6.4. Implicancias del estudio	87
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de Variables.....	44
Tabla 2. Valores minimos recomendados densidad de estaciones	49
Tabla 3. Periodos con posible saltos y tendencias para estaciones Lacruz y Puerto Pizarro.....	54
Tabla 4. Suma anual en el periodo 1993-2017 para estaciones La Cruz y Puerto Pizarro.....	55
Tabla 5. Precipitaciones maximas anuales para las estaciones	56
Tabla 6. Precipitaciones maximas máximas Tr 25, 50 y 100 años	59
Tabla 7. Numero de curva zona de estudio	62
Tabla 8. Valores para el calculo del tiempo de concetración y reatardo.....	63
Tabla 9. Caudales máximos según periodo de retorno	65
Tabla 10. Pendientes de las Condition Line.....	82
Tabla 11. Area de inundación respecto al tirante para cada peiodo de retorno...	90
Tabla 12. Area de inundación respecto a la velocidad para cada peiodo de retorno	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Inundaciones y población afectada en la región de Tumbes, 2023	21
Figura 2. Tramo en estudio, 2025	26
Figura 3. Ciclo hidrológico	32
Figura 4. Mapa conceptual de relación entre hidrología, modelamiento hidráulico y SIG	39
Figura 5. Ubicación del lugar de estudio	46
Figura 6. Precipitación diaria 1993-2017	51
Figura 7. Analisis de doble masa – Estación la Cruz.....	52
Figura 8. Analisis de doble masa – Estación el Tigre.....	53
Figura 9. Analisis de doble masa - Estación Puerto Pizarro.....	53
Figura 10. Analisis de doble masa – Estación Rica Playa.....	54
Figura 11. Valores de las distrubuciones estadísticas por la prueba Kolmogorov - Smirnov.....	58
Figura 12. Distribuciones por HYDROGNOMON..	59
Figura 13. Extracción de topografía por ALOS PALSAR.....	60
Figura 14. Delimitación de áreas aportantes a la quebrada en la zona de estudio.	61
Figura 15. Líneas de flujo de las áreas aportantes a la quebrada	61
Figura 16. Esquema topológico en HEC HMS de las cuencas de aporte del área de estudio.....	63
Figura 17. Imagen satelital Quebrada Los Cerezos..	67
Figura 18. Eje del cauce Quebrada Los Cerezos.....	68
Figura 19. Mapa de delimitación de catastro Quebrada Los Crezos.....	69
Figura 20. Configuración de la malla computacional.....	71
Figura 21. Mallado del catastro y cauce.....	72
Figura 22. Vista del catastro Quebrada Los Cerezos.....	73
Figura 23. Configuración de la malla para el catastro Quebrada Los Cerezos. ..	73
Figura 24. Configuración del mallado del cauce.....	74
Figura 25. Mallado del cauce del rio.....	74
Figura 26. Configuración del mallado de catastro.	75
Figura 27. Vista del mallado de catastro.	75
Figura 28. Configuración del Manning del Catastro.	76
Figura 29. Condition Line 1.	77
Figura 30. Condition Line 2.	78

Figura 31. Unsteady Flow Data del Condition Line.	78
Figura 32. Configuración del condition line 1 – Flow Hydrograph – Qdiseño 25 años.	79
Figura 33. Configuración del condition line 1 – Flow Hydrograph – Qdiseño 50 años.	80
Figura 34. Configuración del condition line 1 – Flow Hydrograph – Qdiseño 100 años.	81
Figura 35. Normal Depth Downstream Boundary.	82
Figura 36. Unsteady Flow Analysis.	83
Figura 37. Mapa de Pendientes.	84
Figura 38. Mapa de Tirantes máximo para Caudal de diseño de 25 años.	84
Figura 39. Mapa de Tirantes máximo para Caudal de diseño de 50 años.	85
Figura 40. Mapa de Tirantes máximo para Caudal de diseño de 100 años.	85
Figura 41. Mapa de velocidad máxima para Caudal de diseño de 25 años	86
Figura 42. Mapa de velocidad máxima para Caudal de diseño de 50 años	86
Figura 43. Mapa de velocidad máxima para Caudal de diseño de 100 años	87

RESUMEN

El presente estudio analiza y delimita las áreas vulnerables a inundaciones en el sector Los Cerezos, Tumbes, utilizando herramientas hidrológicas, hidráulicas y geoespaciales. Inicialmente, se estimaron los caudales máximos para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años empleando el software HEC HMS, obteniendo valores de 23.96 m³/s, 28.15 m³/s y 32.17 m³/s, respectivamente. Posteriormente, se realizaron simulaciones hidráulicas bidimensionales en HEC-RAS, generando mapas de tirantes y velocidades máximas que identificaron las áreas afectadas por las crecidas. Los resultados evidencian un incremento en las zonas inundables conforme aumenta el periodo de retorno: de 420 781.25 m² para 25 años a 455 156.25 m² para 100 años.

Finalmente, los resultados se integraron en un análisis geoespacial mediante ArcGIS, generando mapas temáticos que detallan las zonas críticas. Estas herramientas permitieron identificar áreas con altos tirantes, entre 1.355 m y 11.131 m, y velocidades de flujo peligrosas, hasta 0.375 m/s. Las simulaciones destacan que la carretera que cruza la quebrada Los Cerezos podría obstruir el flujo de agua, incrementando el riesgo de inundación en eventos extremos como el Fenómeno El Niño (FEN). Este estudio subraya la necesidad de implementar medidas estructurales, como defensas ribereñas y ampliación de obras de cruce, y contribuye a la planificación territorial y la gestión del riesgo mediante el uso de modelamiento avanzado y análisis geoespacial integrado.

Palabras Clave: Inundaciones, modelamiento hidráulico, ARCGIS, HEC-RAS, mitigación de riesgos.

ABSTRACT

This study analyzes and delineates flood-prone areas in the fenced of Los Cerezos, Tumbes, using hydrological, hydraulic, and geospatial tools. Maximum discharges for 25, 50, and 100-year return periods were estimated with Hec Hms, yielding 23.96 m³/s, 28.15 m³/s y 32.17 m³/s, respectively. Subsequently, two-dimensional hydraulic simulations were conducted using HEC-RAS, generating depth and velocity maps to identify flood-affected areas. Results indicate a progressive increase in flood zones: from 420 781.25 m² for 25 years to 455 156.25 m² for 100 years.

The findings were integrated into a geospatial analysis using ArcGIS, producing thematic maps highlighting critical areas. The maps reveal high water depths (1.355 m to 11.131 m) and hazardous flow velocities (up to 0.375 m/s). Moreover, the study found that the highway crossing Los Cerezos creek could obstruct water flow, raising the risk of flooding during extreme events such as El Niño. This research highlights the need for structural mitigation measures, including riverbank defenses and improvements to hydraulic structures, and contributes to territorial planning and risk management through advanced modeling and integrated spatial analysis.

Keywords: Floods, hydraulic modeling, ARCGIS, HEC-RAS, risk mitigation.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Las inundaciones constituyen uno de los fenómenos naturales más frecuentes y devastadores, afectando a las poblaciones humanas desde tiempos antiguos. Su origen puede deberse a diversos factores, como lluvias intensas y prolongadas, desbordamiento de ríos, deficiencia en la infraestructura hidráulica o fallas en presas y diques. En las últimas décadas, estos eventos se han incrementado a nivel mundial debido al cambio climático y al uso inadecuado del suelo, generando pérdidas humanas, económicas y ambientales considerables.

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2021), las inundaciones representan aproximadamente el 44 % de los desastres naturales registrados entre los años 2000 y 2019, afectando a más de 1 600 millones de personas. En el contexto latinoamericano, países como Perú, Ecuador y Colombia presentan una alta exposición a estos eventos debido a su geografía irregular y a la influencia de fenómenos climáticos como El Niño.

En el Perú, las inundaciones han causado graves impactos en la infraestructura y los medios de vida de las poblaciones. La costa norte, particularmente, ha sido escenario de episodios recurrentes de crecidas extremas. En la región Tumbes, las intensas precipitaciones asociadas al Fenómeno El Niño (FEN) han provocado el desborde de ríos y quebradas, destruyendo viviendas, carreteras y áreas agrícolas. En 2017, el desborde del río Tumbes afectó varios distritos, mientras que, en marzo de 2023, el ciclón Yaku generó lluvias excepcionales que incrementaron significativamente los caudales, poniendo en riesgo a numerosas familias.

El distrito de La Cruz, ubicado en la provincia y departamento de Tumbes, se caracteriza por su proximidad a diversas quebradas que experimentan crecidas considerables durante la temporada de lluvias. La ocupación del territorio en zonas

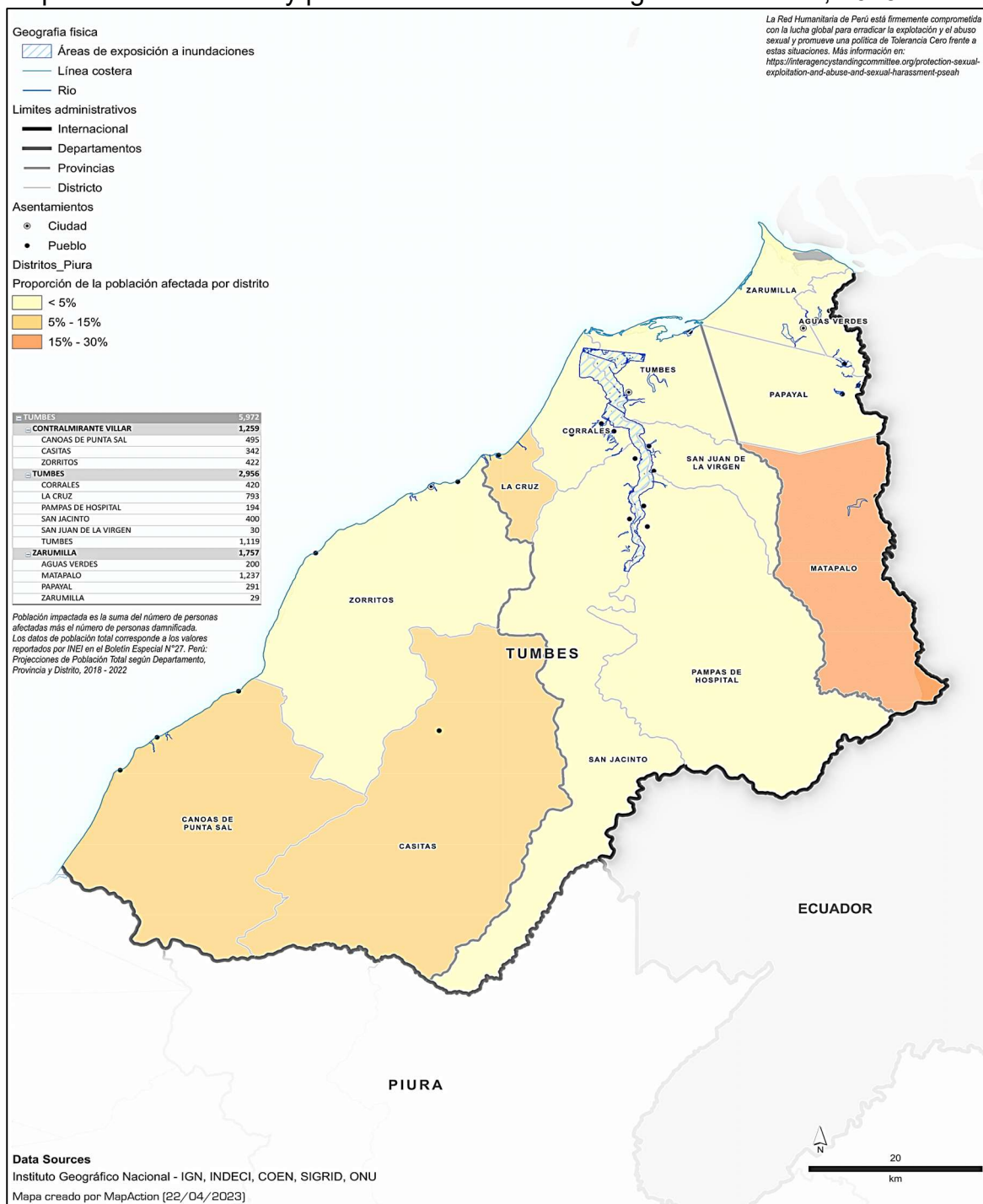
de riesgo, la deforestación de áreas ribereñas y la falta de infraestructura de drenaje han incrementado la vulnerabilidad del área. Ante ello, resulta imprescindible contar con estudios técnicos que permitan comprender la dinámica hidráulica de los cauces y delimitar las zonas inundables mediante herramientas modernas de simulación y análisis espacial.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo general delimitar las áreas susceptibles de inundación por las crecidas de la quebrada Los Cerezos, ubicada en el distrito de La Cruz, a través del uso combinado de modelamiento hidráulico bidimensional (HEC-RAS 2D) y análisis geoespacial (ArcGIS). Para ello, se estimarán los caudales máximos correspondientes a periodos de retorno de 25, 50 y 100 años utilizando el modelo hidrológico HEC-HMS, y se simularán escenarios hidráulicos que permitan identificar los sectores críticos del área de estudio.

El estudio proporcionará información esencial para la gestión del riesgo de desastres y la planificación territorial, permitiendo que las autoridades locales elaboren planes de emergencia, establezcan zonas seguras y prioricen la ejecución de obras de defensa ribereña o drenaje pluvial. Desde un punto de vista técnico y científico, el trabajo también aportará un marco metodológico reproducible para futuras investigaciones similares en otras microcuencas de la región.

El alcance del estudio comprende la delimitación de la zona inundable del sector Los Cerezos, considerando la topografía local, los caudales máximos proyectados y los patrones de escurrimiento generados por eventos de lluvia intensa. Los resultados se integrarán en un sistema de información geográfica, lo cual permitirá representar espacialmente las áreas vulnerables y evaluar el impacto potencial sobre infraestructuras como la carretera que atraviesa la quebrada.

Finalmente, el estudio busca contribuir al fortalecimiento de la resiliencia del distrito de La Cruz, promoviendo el uso de la modelación hidráulica y el análisis geoespacial como herramientas fundamentales para la toma de decisiones en la gestión del riesgo de inundaciones y la sostenibilidad del desarrollo urbano y rural.

Figura 1.**Mapa de Inundaciones y población afectada en la región de Tumbes, 2023.**

Fuente. MAP ACTION, por OCHA Oficina de Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios, ONU, 2023 .

Figura 2.

Tramo en estudio 2025



CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes del Estudio

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Vashist & Singh et al (2023) desarrollaron el estudio “Modelado HEC-RAS 2D para mapeo de inundaciones: caso del río Krishna, Maharashtra, India”, cuyo objetivo fue realizar un análisis de caudales máximos mediante hidrogramas unitarios sintéticos para evaluar el diseño de inundación en la presa Tugu. Se implementó un modelo bidimensional en HEC-RAS para la delimitación de zonas inundables, obteniéndose un área afectada total de 322 km², de los cuales el 36 % correspondía a tierras agrícolas. Los autores concluyen que la reducción de caudal disminuye proporcionalmente el área inundable y resaltan la importancia de calibrar los modelos con eventos históricos para garantizar su confiabilidad.

Este trabajo resulta relevante para la presente investigación, ya que emplea modelos hidrodinámicos similares en cuencas de características comparables, demostrando la utilidad del HEC-RAS 2D para la planificación de obras hidráulicas y gestión de riesgos.

Al-Hussein et al (2022) realizaron el estudio “Análisis de inundaciones usando HEC-RAS y HEC-HMS: caso del río Khazir (Irak)”, cuyo propósito fue simular los niveles de agua y la extensión de las llanuras de inundación para periodos de retorno de 2 a 100 años. Los resultados mostraron que el incremento del caudal produce un aumento proporcional en el área inundada, la profundidad y la velocidad del flujo. Los investigadores concluyeron que la topografía llana y los suelos impermeables aumentan la vulnerabilidad del área. Este antecedente respalda la metodología de la presente tesis, al combinar modelos hidrológicos e hidráulicos para evaluar el riesgo de inundación con base en escenarios de retorno.

Martínez (2022), en su tesis *“Estudio sobre las inundaciones del río Badiel mediante HEC-RAS”* (España), aplicó un modelo hidrometeorológico para eventos de precipitación máxima anual, evaluando su impacto en la permeabilidad del terreno y la magnitud de la inundación. Concluyó que el modelo calibrado reproduce adecuadamente los caudales instantáneos y permite identificar las zonas urbanas vulnerables. Este antecedente refuerza la importancia de la calibración hidrológica y del análisis del comportamiento hidráulico urbano, elementos considerados en la quebrada Los Cerezos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Santos (2022) analizó el comportamiento hidráulico del río Huancachupa en Huánuco, empleando modelación en HEC-RAS para identificar zonas de inundación. Determinó que las áreas más afectadas corresponden a terrenos agrícolas y vías de comunicación. Su estudio confirma que los modelos bidimensionales son herramientas confiables para caracterizar zonas vulnerables, conclusión que orienta el enfoque metodológico de esta investigación.

Álvarez y Moreno (2021) desarrollaron el estudio *“Modelación hidráulica del control de inundaciones en áreas urbanas del río Piura utilizando HEC-RAS 2D”*. Simularon eventos con periodos de retorno de hasta 200 años, concluyendo que el modelo reproduce con una precisión del 75 % los eventos históricos registrados. Este antecedente demuestra la aplicabilidad del HEC-RAS para escenarios urbanos, semejantes a los del sector Los Cerezos, donde la infraestructura vial incide en la propagación de las crecidas.

Muñoz y Quinde (2021) aplicaron HEC-HMS y HEC-RAS en el río San Ildefonso (Trujillo), determinando zonas propensas a inundación y generando mapas de riesgo a partir de un modelo digital de elevación (DEM) de 12,5 m de resolución.

Su metodología, basada en el uso combinado de información topográfica, pluviométrica e hidrológica, coincide con la estrategia adoptada en esta tesis.

Olivares (2018) en su artículo “Determinación de zonas de inundación en el tramo del río Huancabamba desde el río Chula (2,42 km) hasta el río Lungulo (5,51 km) mediante simulación hidráulica bidimensional utilizando HEC-RAS 5.0”, determinó zonas de inundación, concluyendo que la precisión del modelo depende de la intervalo de tiempo de cálculo, calculado a partir del número de Courant, esto permitió incorporar suficiente tiempo de cálculo para garantizar la convergencia y estabilidad del modelo numérico. Este estudio se alinea con la metodología empleada del modelo numérico de esta tesis y la precisión que se busca en sus resultados.

2.1.3. Antecedentes Locales

Chavarry y Villanueva (2022) estudiaron el comportamiento del río Tumbes mediante modelación hidráulica considerando los efectos del cambio climático. Determinaron que las zonas agrícolas cercanas al cauce son las más afectadas, identificando 34 km² como áreas de alto riesgo. Su trabajo evidencia la relevancia de integrar la hidrología con la planificación territorial para mitigar impactos socioeconómicos, principio aplicado en el análisis del sector Los Cerezos.

Bernardo y Castro (2021) abordaron la problemática de las “lluvias persistentes en el curso superior del río Tumbes” en su trabajo “Herramientas geográficas para el control de inundaciones y zonas de evacuación en el río Puyango-Tumbes”, realizado en Tumbes, Perú., lo que resulta en un aumento del flujo. El 5 de marzo de 2021, el río superó el umbral de alerta roja y alcanzó los 1.432 metros cúbicos por segundo, provocando desbordamiento en varios puntos importantes, afectando principalmente la cosecha de banano y ocasionando enormes pérdidas económicas, destruyendo viviendas en zonas cercanas, dejando intacta la salud física. y grupos vulnerables de

la población. El objetivo principal del estudio es integrar herramientas de información geográfica, como información satelital, registros catastrales y modelación hidráulica, para elaborar planes de emergencia e identificar zonas de evacuación en caso de inundación del río Puyango-Tumbes. Este estudio respalda la utilidad del SIG como complemento del modelamiento hidráulico, técnica fundamental en el presente trabajo.

Oyola y Medina (2019) discutieron “el impacto de la precipitación de las montañas” en su artículo “Aplicación del modelo hidrológico HEC-RAS para la estimación de caudal máximo con fines de inundaciones, caso del río Zarumilla – 2018”, realizado en Tumbes, Perú. La región de los tramos superiores de los ríos Puyango-Tumbe y Zarumilla se ve afectada por las lluvias. El caudal de estos dos ríos supera los 800 metros cúbicos por segundo y los 300 metros cúbicos por segundo, respectivamente. El resultado son daños como pérdida de cultivos y ganado, así como el deterioro de la infraestructura vial y hídrica. El objetivo principal del estudio es utilizar el modelo HEC-RAS y el software ArcGIS para identificar los lugares de riesgo de inundación con tiempos de retorno variables. La metodología empleada fue cuantitativa, descriptiva, explicativa y no experimental. Los resultados indican que 8,9 hectáreas, 13,5 hectáreas, 31,3 hectáreas y 58,7 hectáreas, respectivamente, son las zonas afectadas por inundaciones con periodos de retorno de dos, cinco, diez, veinticinco, cincuenta y cien años. tanto 167,6 como 97,6 hectáreas. La principal conclusión es que las zonas más vulnerables a las inundaciones son las llanuras de ambos lados, donde existen zonas agrícolas y centros densamente poblados como La Palma, Los Olivos, Papallar y La Coja, donde la probabilidad de inundaciones es mayor. Los plazos de devolución indicados varían según la región.

Su metodología de análisis bidimensional es comparable con la que se implementa para la quebrada Los Cerezos, permitiendo validar la consistencia del procedimiento adoptado.

En conjunto, los antecedentes revisados demuestran la efectividad de la modelación hidráulica y del análisis geoespacial para identificar y gestionar zonas inundables. No obstante, la mayoría de los estudios se enfocan en grandes ríos, existiendo escasa información sobre quebradas de menor escala, como Los Cerezos, donde la relación entre la topografía local, la pendiente y la infraestructura vial define la magnitud del riesgo. Esta investigación busca cubrir dicho vacío mediante un enfoque integrado entre hidrología, hidráulica y SIG.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Hidrología

La hidrología es la ciencia que estudia el agua, su distribución, circulación y propiedades sobre y bajo la superficie terrestre. De acuerdo con Breña y Jacobo (2006), esta ciencia analiza la interacción entre la precipitación, la infiltración, la evapotranspiración y la escorrentía, lo que permite determinar la disponibilidad y el comportamiento del recurso hídrico.

En el contexto de la investigación, la hidrología resulta fundamental para caracterizar la cuenca Los Cerezos y comprender cómo las lluvias intensas pueden generar caudales de crecida capaces de desbordar el cauce natural. La determinación de los caudales máximos mediante métodos estadísticos constituye un insumo esencial para el modelamiento hidráulico posterior.

2.2.2. Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es el movimiento constante del agua por la atmósfera, la superficie terrestre y el subsuelo. Según Vélez Upegui (2013), este ciclo comprende procesos interrelacionados de evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía, los cuales varían de acuerdo con las condiciones climáticas y fisiográficas de cada cuenca.

En el caso de la quebrada Los Cerezos, el análisis del ciclo hidrológico permite entender que los periodos de lluvia intensa concentran la mayor escorrentía superficial, debido a la baja capacidad de infiltración del suelo y la reducción de la cobertura vegetal. Estos factores explican el rápido incremento del caudal y la susceptibilidad de la zona a sufrir inundaciones.

Figura 3.

Ciclo hidrológico



Fuente. Servicio Geológico de Estados Unidos

2.2.3. Modelado Hidráulico

El modelado hidráulico es una técnica que simula cómo fluye el agua en ríos o canales usando ecuaciones de masa y energía. Según Villón Béjar (2011), la modelación hidráulica posibilita analizar distintos escenarios de caudal, geometría y rugosidad del canal, lo que contribuye a determinar las zonas de desborde y los niveles de inundación.

En esta investigación, el modelado hidráulico se utiliza para reproducir las crecidas de la quebrada Los Cerezos bajo distintos periodos de retorno, evaluando el impacto de la morfología del cauce y del relieve sobre la propagación del flujo. La interpretación de los resultados facilita la identificación de los sectores críticos y de la extensión potencial de las áreas afectadas.

2.2.4. Periodo de Retorno

El periodo de retorno es el tiempo promedio en que un evento hidrológico de cierta magnitud puede volver a ocurrir. Segura (2018) explica que el periodo de retorno permite cuantificar la probabilidad de ocurrencia de una lluvia o caudal extremo dentro de un intervalo determinado.

Para este estudio, se consideraron los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, siguiendo la metodología del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2019), lo que permitió estimar escenarios de crecida representativos de diferente frecuencia e intensidad, reflejando condiciones de peligro bajo, medio y alto.

2.2.5. Análisis de precipitaciones para la estimación de caudales

La estimación de caudales de crecida en una cuenca depende directamente del análisis de la precipitación y de su transformación en escorrentía superficial. De acuerdo con Vélez Upegui (2013), la lluvia constituye el insumo principal de los

modelos hidrológicos, por lo que su estudio permite comprender la respuesta temporal y espacial del sistema ante eventos intensos.

En los estudios de delimitación de zonas inundables, el análisis de las lluvias de diseño es fundamental para determinar los caudales máximos de ingreso al cauce. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2019) señala que la caracterización de las precipitaciones extremas se realiza mediante las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF), las cuales permiten estimar la magnitud probable de la lluvia para distintos periodos de retorno.

A partir de estas curvas, los modelos hidrológicos transforman la precipitación en caudal utilizando relaciones físicas y empíricas. Entre ellos destaca el método del Número de Curva (CN) propuesto por el Soil Conservation Service (SCS), que considera factores como el tipo de suelo, la cobertura vegetal y las condiciones de humedad antecedente. Este procedimiento permite calcular la precipitación efectiva, es decir, aquella porción de la lluvia que se convierte en escorrentía superficial.

El modelo HEC-HMS aplica estos principios para generar hidrogramas de salida que representan el caudal instantáneo en función del tiempo, a partir de una lluvia de diseño. Su uso resulta especialmente adecuado en cuencas donde no existen registros continuos de caudal, ya que permite estimar de forma teórica el comportamiento hidrológico del sistema ante eventos extremos.

En el caso de la quebrada Los Cerezos, este enfoque teórico sustenta la elección del método hidrológico empleado, pues la disponibilidad limitada de información de aforos obliga a basar la estimación de crecidas en el análisis de precipitaciones de diseño y su transformación hidrológica. Así, el estudio combina fundamentos empíricos y físicos para obtener caudales representativos de los escenarios de inundación.

2.2.6. Hidráulica fluvial y morfología

La hidráulica fluvial es una herramienta clave para describir las características de los ríos, ya que éstos tienen una amplia gama de funciones dependiendo de su morfología. Esta disciplina permite evaluar la estabilidad del flujo, lo que permite diseñar estructuras civiles que mantengan el cauce en óptimas condiciones. Además, facilita la determinación del comportamiento hidrológico en las cuencas, la evaluación de los caudales en los puntos de salida, el análisis del transporte de sedimentos y sus implicaciones en la morfología y el régimen del río (Rocha, 2003).

La hidráulica fluvial no solo busca aprovechar los recursos naturales de los ríos, sino que también tiene como objetivo mitigar los efectos de eventos críticos, como las avenidas de agua. A diferencia de las estructuras hidráulicas como canales, el río mantiene una relación dinámica con los parámetros ambientales en los que se encuentra (García, 2010).

En la quebrada Los Cerezos, la morfología del cauce presenta secciones irregulares con pendientes variables, lo que genera cambios en la energía específica y favorece la presencia de zonas críticas. La modelación hidráulica permite cuantificar estos fenómenos y proponer medidas de control.

2.2.6.1. Hidrodinámica

El estudio del comportamiento de los fluidos en movimiento es el principal objetivo del campo de la hidráulica y la física de la hidrodinámica. Para ello se analizan diversos factores, como el caudal, la presión y la velocidad. La predicción del comportamiento de los ríos es una tarea importante en los proyectos hidráulicos, ya que permite la construcción eficaz de estructuras hidráulicas, garantizando la máxima seguridad al menor coste factible (Álvarez & Moreno, 2022).

En este ámbito, se considera las siguientes características mediante un flujo uniforme. La profundidad, velocidad, caudal y el área mojada de a cada apartado del canal permanentes inmóviles.

2.2.6.2. Rugosidad

Según Álvarez & Moreno (2021), la rugosidad de los canales es un factor clave que depende del material con el que se construye el canal, ya que influye en la resistencia al flujo en dicho canal. La rugosidad es un parámetro que expresa la resistencia que ofrece el cauce al movimiento del agua. Según Felices (1998), el coeficiente de Manning (n) depende del material del lecho, la vegetación y las irregularidades del canal.

En el presente estudio, los valores de rugosidad se asignaron de acuerdo con las características físicas del terreno en la quebrada Los Cerezos, lo que permitió una simulación más realista.

2.2.7. Modelamiento en HEC-RAS

El Sistema de Análisis de Ríos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (HEC-RAS) es una herramienta para realizar simulaciones de flujo constante 1D, análisis de flujo inestable 1D y 2D, así como para calcular el transporte de sedimentos y modelar la calidad y temperatura del agua en lechos móviles (Álvarez & Moreno, 2021).

Con la incorporación de la capacidad para realizar enrutamientos hidrodinámicos bidimensionales en el análisis de flujo inestable de HEC-RAS, los usuarios ahora tienen la posibilidad de generar modelos bidimensionales no estacionarios y combinar enrutamientos de flujo inestable en 1D y 2D.

El diseño y la proyección de un modelo para un sistema o recurso dinámico requieren experimentación, con el propósito de comprender los procesos a los que está sometido. En particular, se busca evaluar diferentes estrategias para la operación y acción del sistema (Bardales, 2008).

En la presente investigación, el modelo HEC-RAS se aplicó en su versión bidimensional (2D), lo que posibilitó simular la propagación lateral del flujo y obtener mapas de inundación con mayor precisión. Su uso combinado con datos hidrológicos y topográficos permitió definir los sectores críticos del cauce Los Cerezos.

2.2.8. Obras de protección ribereña

Las obras de protección ribereña son estructuras diseñadas para reducir la erosión y el desborde de los cauces. Estas obras pueden ser de tipo estructural (enrocados, muros de contención) o no estructural (reforestación y estabilización de márgenes). Para frenar y atenuar los problemas causados por la erosión hídrica, se han puesto en marcha una serie de soluciones. Las medidas agronómicas y estructurales son las dos categorías principales en las que se encuadran estas medidas. La construcción de obras de protección de las riberas -estructuras destinadas a regular y detener la erosión del agua en las tierras de cultivo y otras zonas susceptibles- es el principal objetivo de las medidas estructurales. Para construir estas estructuras se utilizan materiales como gaviones, ciclópeos, rocas y hormigón armado (Álvarez & Moreno, 2021).

Algunas de las principales medidas estructurales incluyen:

- **Diques enrocados:** Son estructuras formadas por material de río dispuesto en una forma trapezoidal y revestido con roca pesada en su cara húmeda.

Estos pueden ser continuos o segmentados en tramos priorizados, especialmente donde los flujos de agua actúan con gran poder erosivo.

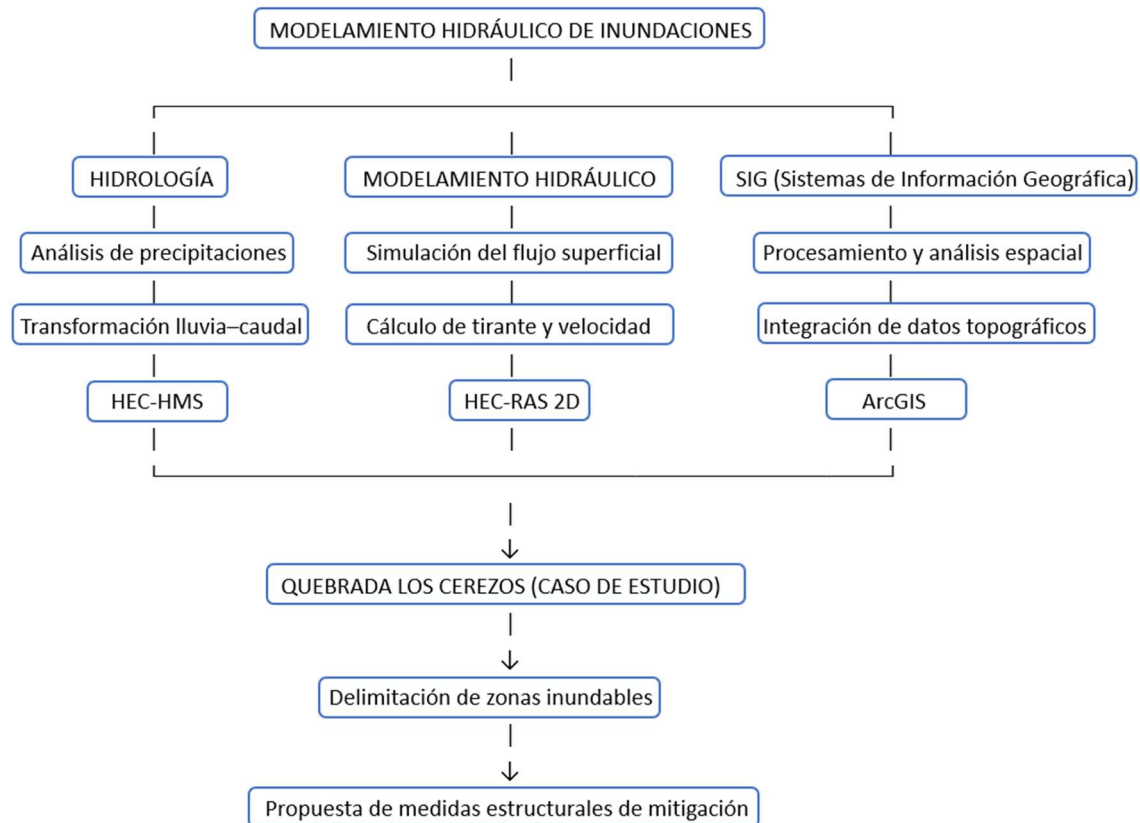
- **Enrocado con roca al volteo:** En esta estructura, la roca pesada se coloca de manera directa por volquetes, sin un patrón específico. Puede revestir solo la cara húmeda o el sistema completo (uña y cara húmeda). Aunque el volumen de roca utilizado es mayor, su talud no es tan estable, lo que puede comprometer su efectividad a largo plazo.
- **Enrocado con roca colocada:** En este caso, la roca es colocada de manera controlada mediante maquinaria como cargadores frontales, excavadoras o palas mecánicas, tanto en la uña como en la cara húmeda del terraplén. Se utiliza menos roca en comparación con el enrocado al volteo, pero el talud resultante es más estable y cumple con las especificaciones de diseño.
- **Estructuras de concreto:** Estas obras son construidas con concreto armado y se utilizan principalmente para proteger los ríos de la erosión. Entre las estructuras más comunes están los muros de encauzamiento, que permiten controlar el flujo de agua y reducir su impacto erosivo.

En la quebrada Los Cerezos, los resultados del modelamiento permitirán determinar las zonas donde es necesario implementar medidas de protección, priorizando la infraestructura vial y las viviendas ubicadas en las zonas más vulnerables. Estas medidas estructurales son fundamentales para proteger las zonas ribereñas y asegurar la estabilidad de los ecosistemas fluviales frente a la erosión causada por el agua.

2.2.9. Relación entre hidrología, modelamiento hidráulico y SIG en el caso los Cerezos

Figura 4.

Mapa conceptual de relación entre hidrología, modelamiento hidráulico y SIG



La hidrología constituye el punto de partida, donde se analizan las precipitaciones máximas y se transforman en caudales de diseño mediante el modelo HEC-HMS. Estos caudales sirven como insumo para el modelamiento hidráulico en HEC-RAS 2D, que permite determinar el tirante máximo, la velocidad del flujo y la extensión de las áreas inundables.

Posteriormente, los resultados del modelamiento hidráulico se integran en un entorno SIG (ArcGIS), donde se procesan los datos espaciales y topográficos que facilitan la delimitación precisa de las zonas afectadas por inundación.

La articulación de estos tres componentes metodológicos hidrología, hidráulica y SIG permite representar con rigor el comportamiento del flujo en la quebrada Los Cerezos, delimitar las zonas inundables y evaluar el riesgo para la infraestructura vial y urbana del sector. A partir de esta información, se plantea la propuesta de medidas estructurales de mitigación, orientadas a reducir los impactos de las crecidas y fortalecer la gestión del riesgo en la zona de estudio.

2.3. Marco Conceptual

- Cuenca hidrográfica: Unidad territorial delimitada por divisorias topográficas que drena sus aguas hacia un punto común.
- Escorrentía: Porción de la precipitación que fluye superficialmente hacia el cauce principal.
- Caudal máximo: Flujo instantáneo máximo registrado o estimado durante un evento de lluvia.
- Periodo de retorno: Intervalo de tiempo promedio en que un evento de magnitud igual o mayor puede repetirse.
- Rugosidad: Parámetro que expresa la resistencia del cauce al flujo, representado por el coeficiente de Manning (n).
- Modelo HEC-RAS: Programa de simulación hidráulica empleado para calcular tirantes, velocidades y extensión de inundación.
- HEC-HMS: Modelo hidrológico utilizado para la obtención de caudales máximos de entrada en el modelo hidráulico.
- SIG (Sistema de Información Geográfica): Conjunto de herramientas que permiten procesar, analizar y representar espacialmente la información.

- Zona inundable: Área que puede ser cubierta por el agua durante una crecida, según los resultados del modelamiento hidráulico.
- Gestión del riesgo: Conjunto de acciones que buscan reducir la vulnerabilidad de la población y las infraestructuras frente a eventos naturales adversos.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

La delimitación de las zonas susceptibles de inundación, mediante el análisis de las máximas avenidas de la quebrada Los Cerezos y el uso de técnicas de modelamiento hidráulico, permitirá determinar si la carretera ubicada en el sector Los Cerezos se encuentra en riesgo de inundación ante eventos extremos previstos para el año 2025.

3.1.2. Hipótesis Específicas

1. El uso del software HEC-HMS permitirá determinar con precisión los caudales máximos correspondientes a los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, proporcionando datos confiables para el análisis hidráulico.

2. El modelo bidimensional de simulación hidráulica implementado en HEC-RAS permitirá identificar las áreas con mayor susceptibilidad a inundación, expresadas en superficie (m^2) y tirantes máximos (m), por los caudales máximos de 25, 50 y 100 años de periodo de retorno.

3. La integración de los resultados del modelamiento hidráulico en el software ArcGIS permitirá generar un mapa temático detallado que identifique las zonas críticas de inundación en el sector Los Cerezos y precisar si la carretera se encuentra dentro del área afectada.

3.2. Variables

3.2.1. Identificación de variables

3.2.1.1. *Variable independiente*

Modelamiento hidráulico.

3.2.1.2. *Variable dependiente*

Zonas inundables, operativizadas en función de:

- Área inundada (m^2)
- Tirante máximo (m)
- Velocidad del flujo (m/s)

3.2.2. Operacionalización de variables

Tabla 1.
Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO / TÉCNICA	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente (VI): Modelamiento hidráulico	El modelamiento hidráulico es la simulación del comportamiento del flujo de agua en cauces naturales o artificiales mediante ecuaciones que representan la conservación de masa y energía, con el fin de analizar la capacidad hidráulica, niveles de agua y posibles desbordamientos.	En esta investigación, el modelamiento hidráulico se desarrollará utilizando el software HEC-RAS 2D, con los caudales generados por el modelo hidrológico HEC-HMS y la información topográfica obtenida de imágenes satelitales y del modelo digital de elevación (DEM), a fin de reproducir las condiciones del flujo en la quebrada Los Cerezos.	Dimensión 1: Comportamiento del flujo	Caudal máximo de ingreso (m^3/s)	Simulación hidrológica en HEC-HMS	Cuantitativa
			Dimensión 2: Geometría hidráulica	Pendiente del cauce y forma del terreno (m)	Análisis de terreno DEM	Cuantitativa
			Dimensión 3: Resistencia hidráulica	Coefficiente de rugosidad (n de Manning)	Asignación de valores en HEC-RAS según cobertura observada	Cuantitativa
Variable Dependiente (VD): Área inundada, tirante máximo y velocidad del flujo	Representan los parámetros hidráulicos que permiten cuantificar la magnitud de una inundación. El área inundada describe la extensión superficial afectada, el tirante máximo expresa la profundidad del agua, y la velocidad indica la intensidad del flujo en movimiento.	En esta investigación, estos parámetros serán determinados mediante el modelo HEC-RAS 2D, empleando como insumo los caudales simulados por HEC-HMS y los datos topográficos del DEM. Los resultados serán procesados y representados espacialmente en ArcGIS para identificar las zonas críticas en el sector Los Cerezos.	Dimensión 1: Extensión de la inundación	Área total inundada (m^2)	Resultados del modelamiento hidráulico HEC-RAS 2D y análisis SIG	Cuantitativa
			Dimensión 2: Profundidad del flujo	Tirante máximo del agua (m)	Resultados de HEC-RAS 2D	Cuantitativa
			Dimensión 3: Dinámica del flujo	Velocidad media del flujo (m/s)	Resultados de HEC-RAS 2D	Cuantitativa

3.3. Ubicación

3.3.1. Ubicación Política

Se enmarca el presente trabajo en la zona Los Cerezos en el distrito de La Cruz, departamento y provincia de Tumbes

Región	Provincia	Distrito	Localidad / Sector
Tumbes	Tumbes	La Cruz	Los Cerezos

3.3.2. Ubicación Geodésica

Se sitúa como ubicación del área del estudio geográficamente en la quebrada Los Cerezos, se encuentra entre las coordenadas Este 548 135.61 y coordenada Norte 9 599 135.82

COORDENADAS U.T.M (m)		DATUM GEODESICO	ZONA / BANDA	ALTITUD (m.s.n.m)
N	E			
9 599 135.82	548 324.61	WGS 84	17 S / M	10

Figura 5.**Ubicación del lugar de estudio**

Fuente. Google Earth

3.4. Diseño Metodológico

3.4.1. Enfoque de Investigación

3.4.2. Tipo de Investigación

El estudio correspondió a una investigación del tipo Aplicada, ya que se buscó delimitar el área inundable con el software HEC-RAS y ArcGIS, con el fin de mitigar problemas de inundaciones por la quebrada Los Cerezos.

3.4.3. Nivel de Investigación

3.4.4. Diseño de la Investigación

El diseño metodológico se fundamentó en la necesidad de representar numéricamente el comportamiento hidráulico de la quebrada Los Cerezos ante eventos de crecida, considerando la limitada disponibilidad de registros hidrométricos en la zona.

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, porque los fenómenos se analizan mediante datos medibles (caudales, tirantes, velocidades) y modelos matemáticos que simulan procesos físicos. El diseño es no experimental, transversal y descriptivo–explicativo:

- No experimental, porque las variables no se manipulan; los modelos reproducen condiciones reales a partir de datos existentes.
- Transversal, porque se analiza un periodo representativo (proyección al año 2025) y no series temporales prolongadas.
- Descriptivo–explicativo, ya que describe las características hidráulicas del cauce y explica las causas y efectos de las inundaciones sobre la infraestructura vial y las áreas adyacentes.

3.5. Población y Muestra

3.5.1. Población

El universo población estuvo constituido por las zonas que son perjudicadas por las inundaciones por las diferentes quebradas o ríos que se encuentran en Tumbes.

3.5.2. Muestra

Se tomó como estudio la zona del sector Los Cerezos del distrito de La Cruz perjudicado por la quebrada Los Cerezos.

3.6. Materiales

3.6.1. Información

- Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenido de la Alaska Satellite Facility (ASF).
- Registros históricos 4 estaciones meteorológicas (La Cruz, El Tigre, Puerto Pizarro, Rica Playa) en el periodo del año 1993 al 2017 (25 años).

3.6.2. Software

- QGIS 3.34
- ArcGIS 10.5
- Microsoft Excel 2019
- Hec - Hms
- Hec - Ras 5.0.3

El modelo hidrodinámico 2D se construye utilizando el software HEC-RAS 5.0.3, que incorpora la herramienta Ras Mapper, la cual da inicio al proceso de modelización bidimensional. Este es un software de uso comercial ampliamente utilizado en el análisis hidráulico y fluvial.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Análisis de Información Hidrológica

El presente estudio hidrológico de la Quebrada Los Cerezos desarrollado en el marco de un proyecto de tesis, tuvo como objetivo principal determinar los máximos caudales para períodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Estos valores son fundamentales para evaluar la vulnerabilidad del tramo de estudio en el proyecto mencionado.

Un desafío recurrente en el contexto nacional es la escasez de datos pluviométricos e hidrométricos, ya que muchas cuencas hidrográficas no cuentan con una instrumentación adecuada. Por este motivo, en numerosos casos es necesario recurrir a métodos indirectos para la estimación de máximos caudales.

Para garantizar la fiabilidad de un estudio hidrológico en la predicción de eventos futuros, se recomienda disponer de al menos 20 años de datos históricos (Organización Meteorológica Mundial, 2009).

La cobertura entre estaciones es un criterio importante para el análisis hidrológico, se toma un área mínima entre estaciones para la costa y zonas montañosas como en la Tabla 2.

Tabla 2.

Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones

Unidad Fisiográfica	Precipitación	
	No registradoras (km ²)	Registradoras (km ²)
Costa	900	9 000
Montaña	250	2 500

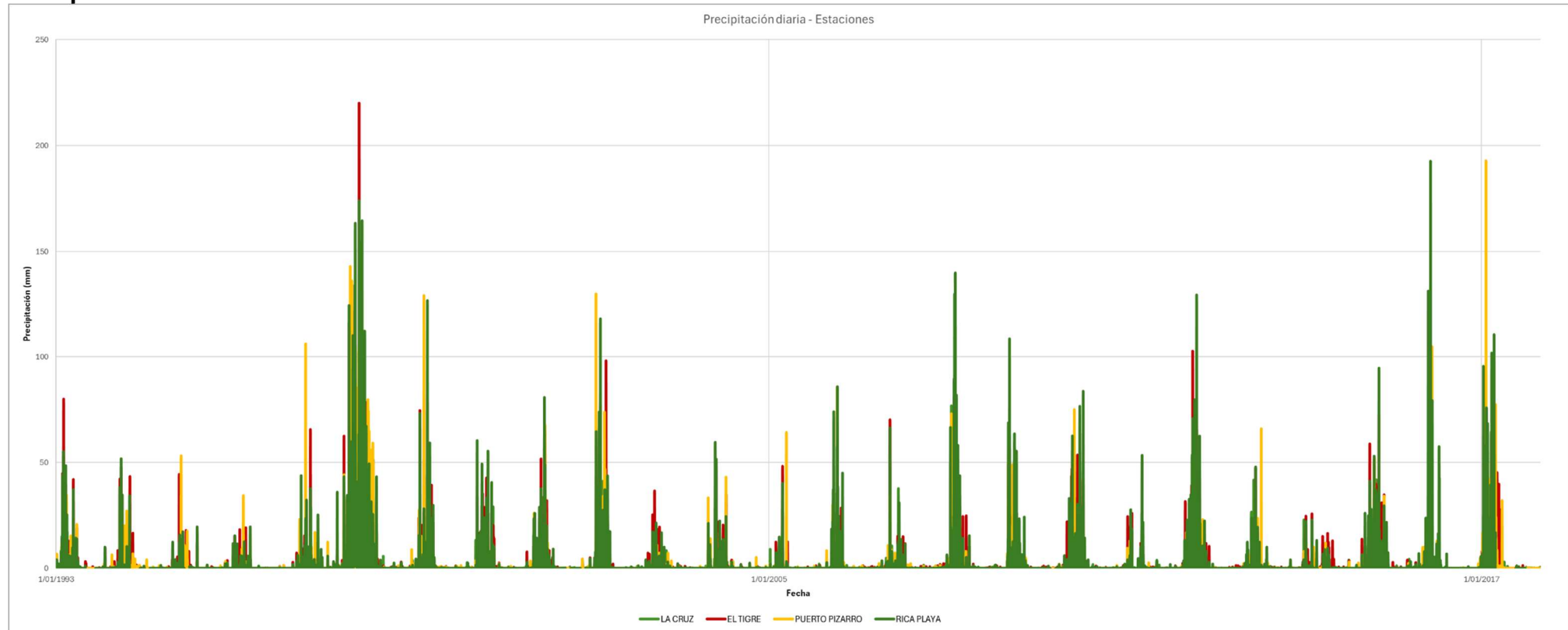
Fuente. Organización Meteorológica Mundial (2020)

Según la Organización Meteorológica Mundial (2017), la cantidad de datos mínimos de precipitación debe ser 75% para que se puede validar el mes.

Con estos criterios se reduce a 4 estaciones meteorológicas en el periodo del año 1993 al 2017 (25 años) con data diaria que se visualiza en la Figura 6.

Figura 6.

Precipitación diaria 1993 - 2017



Se visualiza en la figura 6. que existe sobresaltos en periodos exactos, estos periodos son:

- Enero y febrero del 1997
- Febrero del año 2016
- Enero del año 2017

Estos datos atípicos no se deben eliminar ya que son periodos extraordinarios visibles en el entorno como lo es el fenómeno del niño que mayormente afecta el norte del Perú y que fue publicado en revistas y periódicos nacionales.

Tenemos una data libre de valores atípicos y/o datos erróneos. A partir de ellos, se realizará un análisis de consistencia para ello primero se realizará el análisis de doble masa para las 4 estaciones, se visualiza que las figuras: Figura 7, y Figura 9. existen cambios bruscos que requiere un análisis de saltos y tendencias.

Figura 7.

Análisis de doble masa – Estación La Cruz

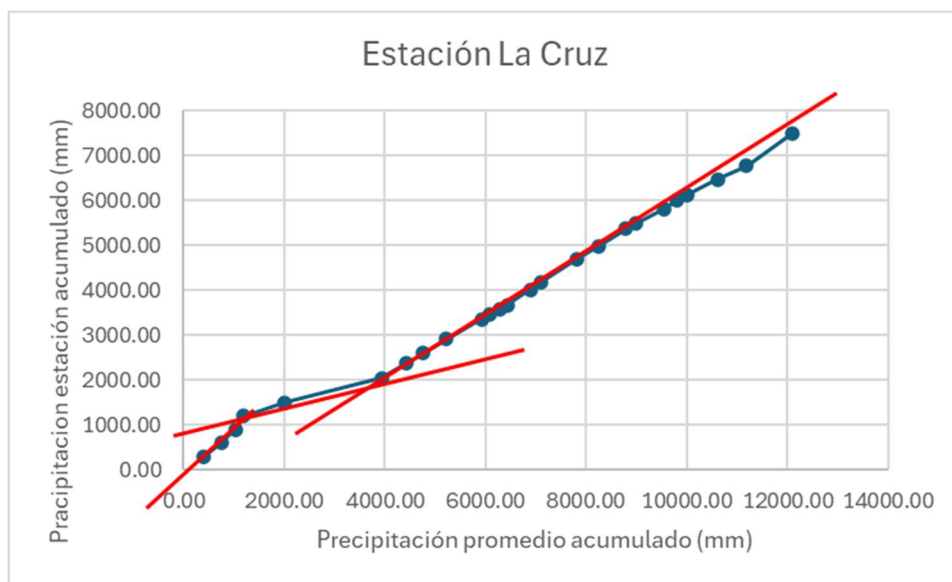
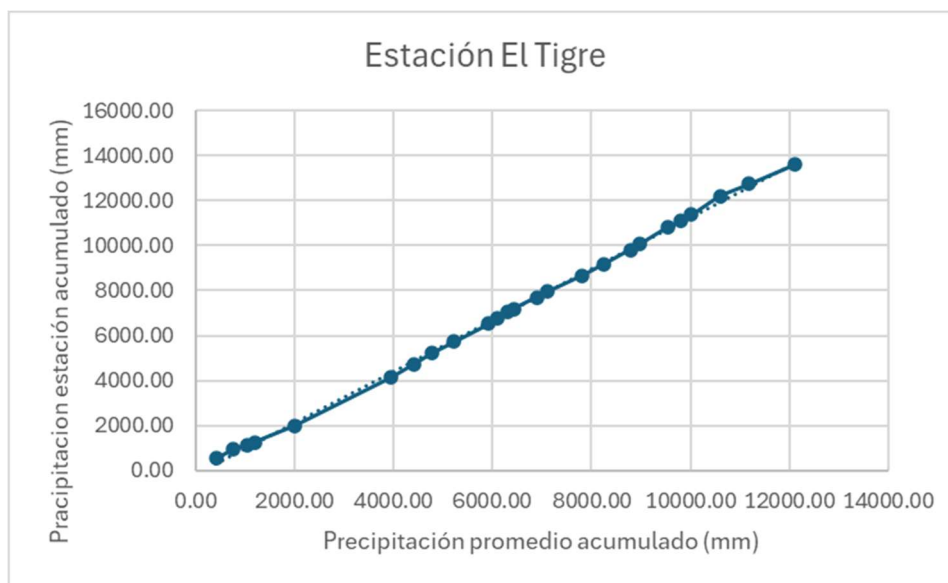


Figura 8.

Análisis de doble masa – Estación El Tigre

**Figura 9.**

Análisis de doble masa – Estación Puerto Pizarro

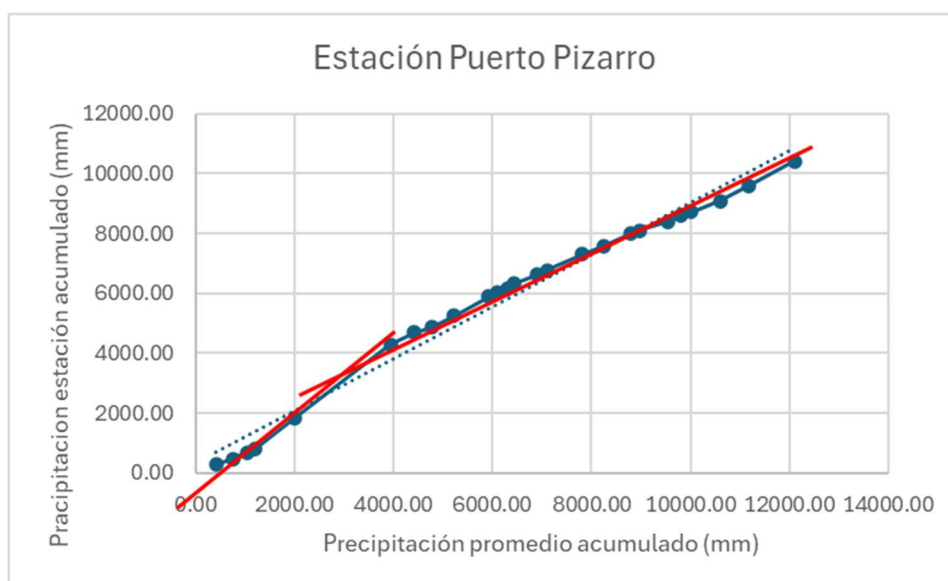
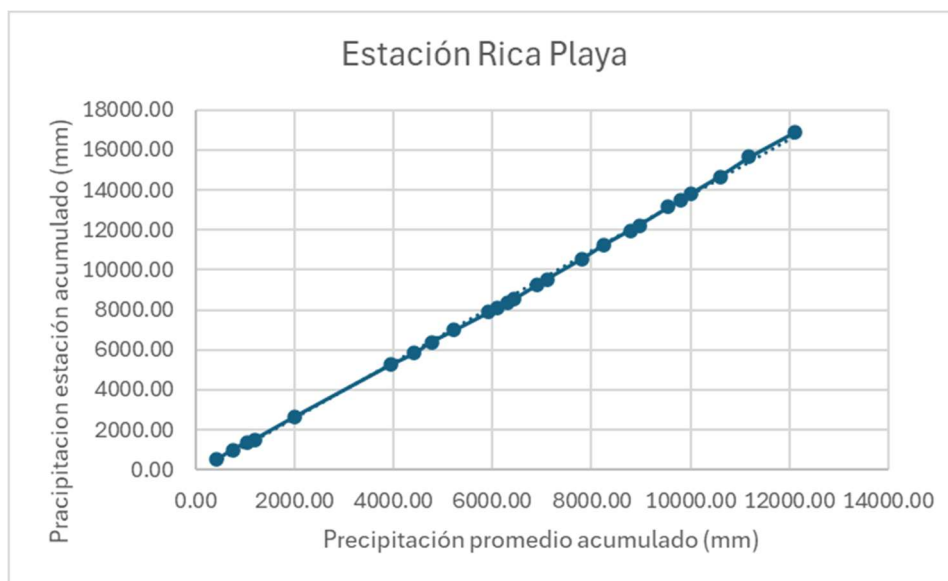


Figura 10.

Análisis de doble masa – Estación Rica Playa



Se visualiza que los periodos donde podría tener saltos se muestran en la Tabla 3.

Para el análisis de saltos se completó en los meses faltantes con el promedio mensual multianual y se sumó de manera anual como se visualiza en la Tabla 4.

Tabla 3.

Periodos con posibles saltos y tendencias para las estaciones La Cruz y Puerto Pizarro

N°	Periodos	
	Estación La Cruz	Estación Puerto Pizarro
1	1993-1996	1993-1997
2	1997-1998	1998-2017
3	1999-2017	

Tabla 4.

Suma anual en el periodo 1993 – 2017 para las estaciones La Cruz y Puerto Pizarro

Año	Estación La Cruz	Estación Puerto Pizarro
1993	299.80	290.90
1994	299.80	191.40
1995	299.80	213.36
1996	299.80	104.50
1997	299.80	1054.70
1998	546.29	2433.60
1999	326.40	401.40
2000	222.80	174.20
2001	325.40	383.30
2002	439.90	650.80
2003	95.90	131.80
2004	131.00	147.60
2005	81.10	132.30
2006	340.10	315.20
2007	173.70	146.90
2008	522.00	533.80
2009	285.80	275.70
2010	372.70	408.63
2011	125.50	110.50
2012	319.90	293.10
2013	199.30	222.00

2014	114.20	90.30
2015	344.30	380.66
2016	300.84	500.57
2017	728.90	817.00

Con un valor significativo de 0.05, se obtuvo que, no existe saltos en la media ni saltos en la varianza para los periodos de la Tabla 4.

Para la generación de caudales para el modelamiento hidráulico con HEC RAS, se tomará los valores mensuales máximos de las 4 estaciones como se visualiza en la Tabla 5.

Tabla 5.
Precipitaciones máximas anuales de las estaciones

Año	La Cruz	El Tigre	Puerto Pizarro	Rica Playa	Máximas anuales
1993		79.6	34.5	54.5	79.6
1994		47.7	36.2	51.8	51.8
1995		44.4	53.2	19.6	53.2
1996		19.2	34.4	19.6	34.4
1997		116	143	124.5	143
1998	51.2	220	131.1	174	220
1999	80.8	111.8	129.2	126.9	129.2
2000	31	42.7	24.8	59.4	59.4
2001	64.2	68.5	67.6	78.7	78.7
2002	59.4	98.1	130	118.3	130
2003	13.2	36.5	33.3	21.2	36.5

2004	28.2	48.2	43.1	59.5	59.5
2005	14	48.2	64.2	40	64.2
2006	67.7	61.2	85.5	85.8	85.8
2007	37.7	70.2	34.4	66.3	70.2
2008	76.8	80.7	73	139.5	139.5
2009	57.1	56.2	55.7	108.4	108.4
2010	69.5	65.2	75	83.7	83.7
2011	20.1	50.2	13.2	53.4	53.4
2012	46.2	102.6	34	129.4	129.4
2013	41.7	46.5	66	47.6	66
2014	22.9	25.4	12	22.6	25.4
2015	41.8	72.4	52	94.6	94.6
2016	1.3	0	104	192.6	192.6
2017	82.2	75.5	192.8	110.4	192.8

Con esta información de precipitaciones anuales libres de saltos, tendencias y valores atípicos, se ingresará al software HYDROGNOMON de tal forma que se obtendrá las máximas precipitaciones para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

4.2. Obtención de precipitaciones máximas

Con el uso de la prueba de Kolmogorov – Smirnov, se usará la mejor distribución y la más común, se visualiza en la Figura 11. y en la Figura 12.

Figura 11.

Valores de las distribuciones estadísticas por la prueba Kolmogorov - Smirnov

Statistics					
File Edit View Options Forecasts P&C Intervals Parameters MLE Tests					
Distribution functions plots Histogram - Density functions plots Parameter values - Forecasts					
Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	55.5485%	0.14861
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	54.8764%	0.14943
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	86.3311%	0.11015
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.9858%	0.09396
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	82.6408%	0.11543
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.2011%	0.10208
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.7007%	0.08531
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.8263%	0.08859
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93.5224%	0.09741
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.0988%	0.09090
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	31.9119%	0.18137
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	15.0288%	0.21750
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.0105%	0.09631
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.5423%	0.09249
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.6211%	0.08074
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.3090%	0.08687
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	92.0648%	0.10043
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.0397%	0.08381
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.5363%	0.08598
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	53.9129%	0.15062
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	15.7336%	0.21548
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93.8004%	0.09679
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.0024%	0.09119
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	74.8068%	0.12553
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	33.6119%	0.17861
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	86.7056%	0.10958
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	33.3139%	0.17908

Select distributions to display.
Use shift and/or ctrl key or
drag to select many at once:

- Normal
- LogNormal
- Galton
- Exponential
- Gamma
- PearsonIII
- LogPearsonIII
- Gumbel Max
- EV2-Max
- Gumbel Min
- Weibull
- GEV Max
- GEV Min
- Pareto
- L-Moments Normal
- L-Moments Exponential
- L-Moments EV1-Max
- L-Moments EV2-Max
- L-Moments EV1-Min
- L-Moments EV3-Min
- L-Moments GEV Max
- L-Moments GEV Min
- L-Moments Pareto
- GEV-Max (k spec.)
- GEV-Min (k spec.)
- L-Moments GEV-Max (k spec.)

Reset

Empirical Distributions

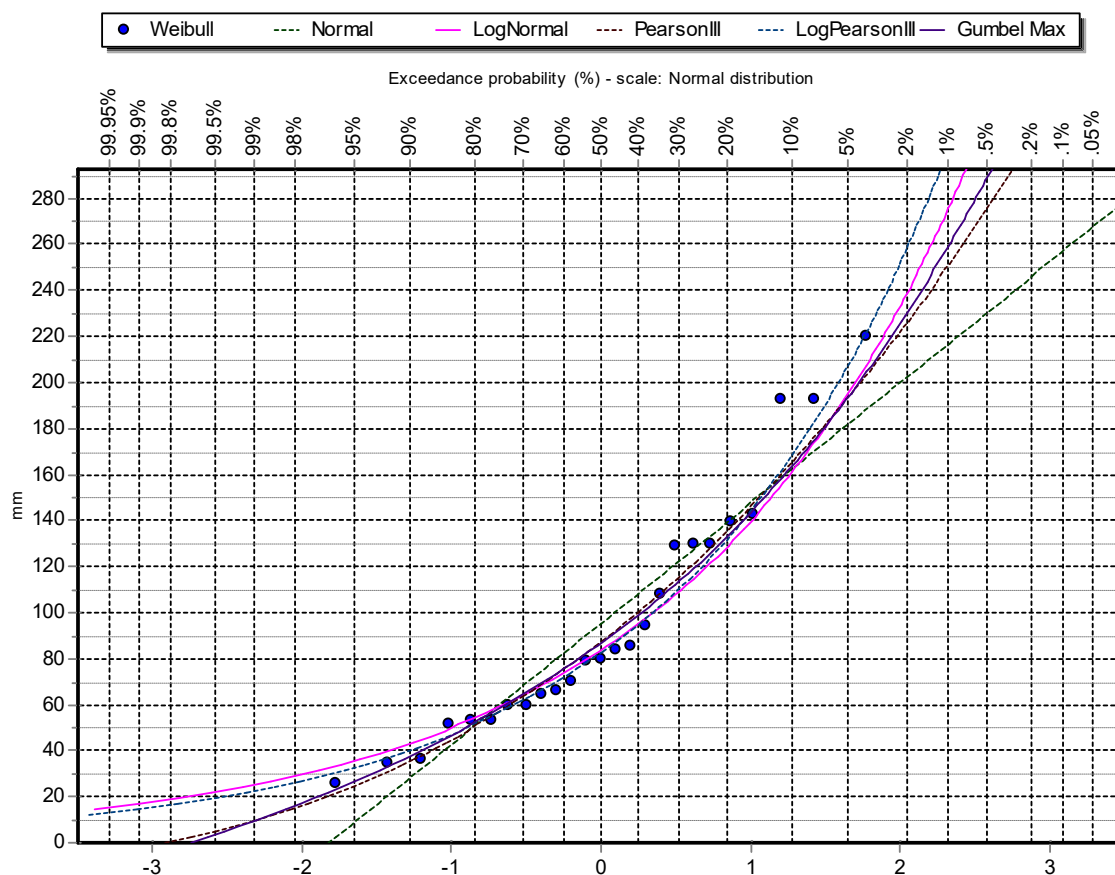
- ☒ Weibull Points
- ☐ Blom Points
- ☐ Cunnane Points
- ☐ Gringorten Points

☐ Logarithmic

Fuente. Elaboración propia con el uso del software HYDROGNOMON

Figura 12.

Distribuciones estadísticas por HYDROGNOMON



Fuente. Elaboración propia con el uso del software HYDROGNOMON

Se visualiza que la distribución estadística con mayor cercanía es Pearson III, con ello se pedirá al software los valores para los años de retorno de 25, 50 y 100 años, se obtiene en la Tabla 6.

Tabla 6.

Precipitaciones máximas para Tr 25, 50 y 100 años

Medida	Periodos de retorno		
	25 años	50 años	100 años
Precipitaciones máximas	201.231	226.629	250.983

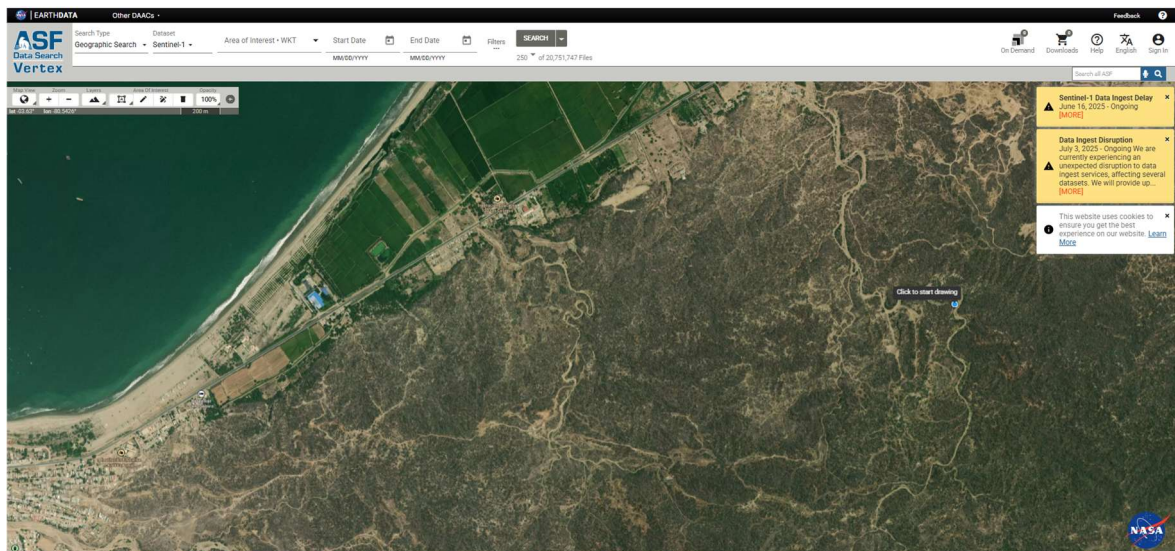
4.3. Elaboración del modelamiento hidrológico

Con estos datos de máximas precipitaciones, se hará un modelo hidrológico en HEC HMS utilizando el método SCS, con la ayuda de QGIS se calculará las áreas, longitudes, curvas números, pendientes, cotas máximas y mínimas, de las áreas y líneas de flujo.

Se extraerá la topografía del lugar con la página ALOS PALSAR como se muestra en la Figura 13.

Figura 13.

Extracción de topografía por ALOS PALSAR

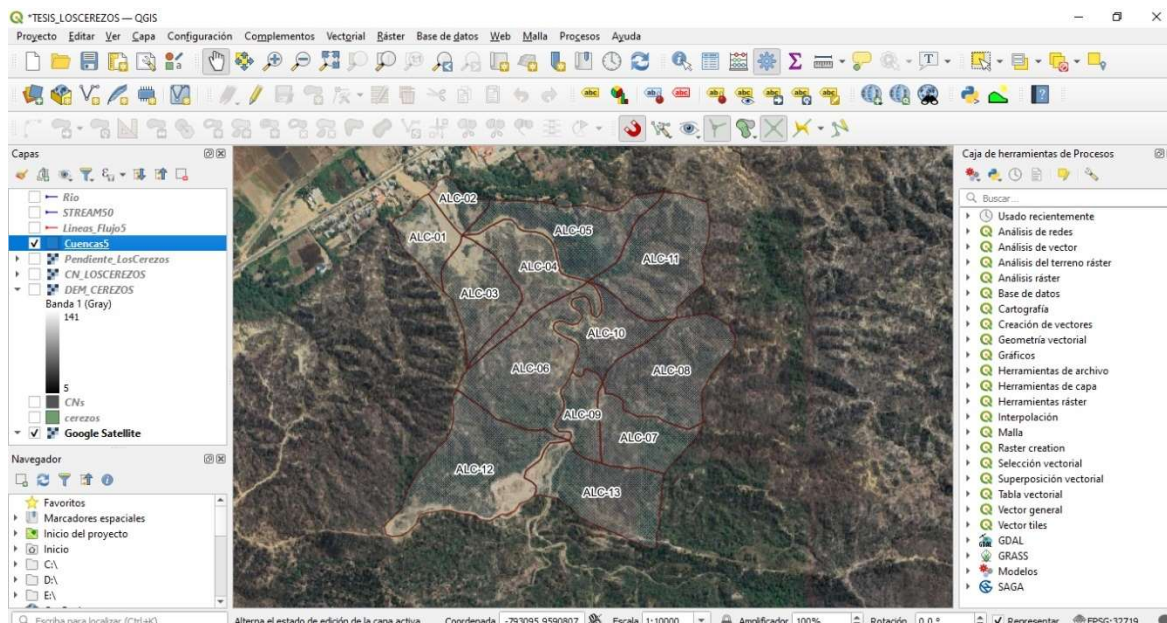


Fuente. Página web ALOS PALSAR

Con el uso de la topografía se delimitará las cuencas aportes al río y se nombrará cada una de ellas, se muestra en la Figura 14.

Figura 14.

Delimitación de áreas aportantes a la quebrada en la zona de estudio

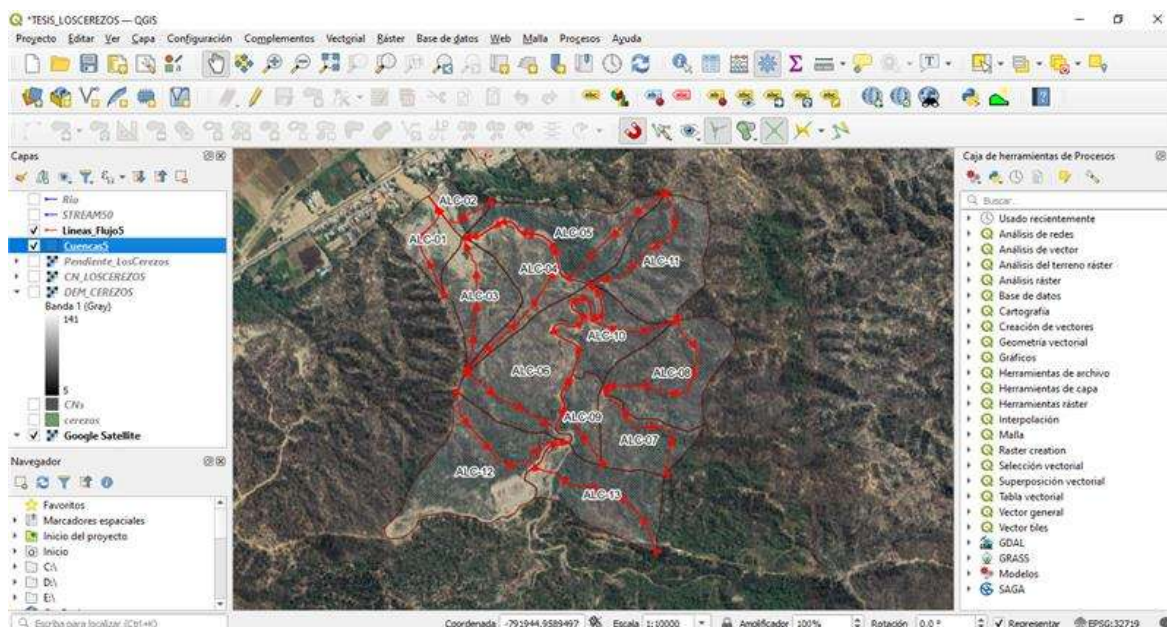


Fuente. Elaboración propia en QGIS

Se dibujará las líneas de flujo para cada área aportante, se visualiza en la

Figura 15.

Líneas de flujo de las áreas aportantes a la quebrada.



Fuente. Elaboración propia en QGIS

Se tomará las curvas números del manual TR-55 (1986) para bosques y áreas urbanas con moderada infiltración (grupo B), como se visualiza en la Tabla 7.

Tabla 7.*Números curva en la zona de estudio*

Descripción2	Numero Curva
Bosque (moderada gestión)	60
Bosque (buena gestión)	55
Áreas urbanas	86

Con el uso de las herramientas de QGIS se calculará el área, las pendientes, el numero curva promedio para las áreas aportantes, además de calcular las longitudes, las cotas máximas y mínimas de las líneas de flujo dibujadas, para realizar el cálculo del tiempo de concentración y retardo en el Excel, se describe los valores de los parámetros y el cálculo en la Tabla 8.

Tabla 8.

Valores para el cálculo del tiempo de concentración y retardo

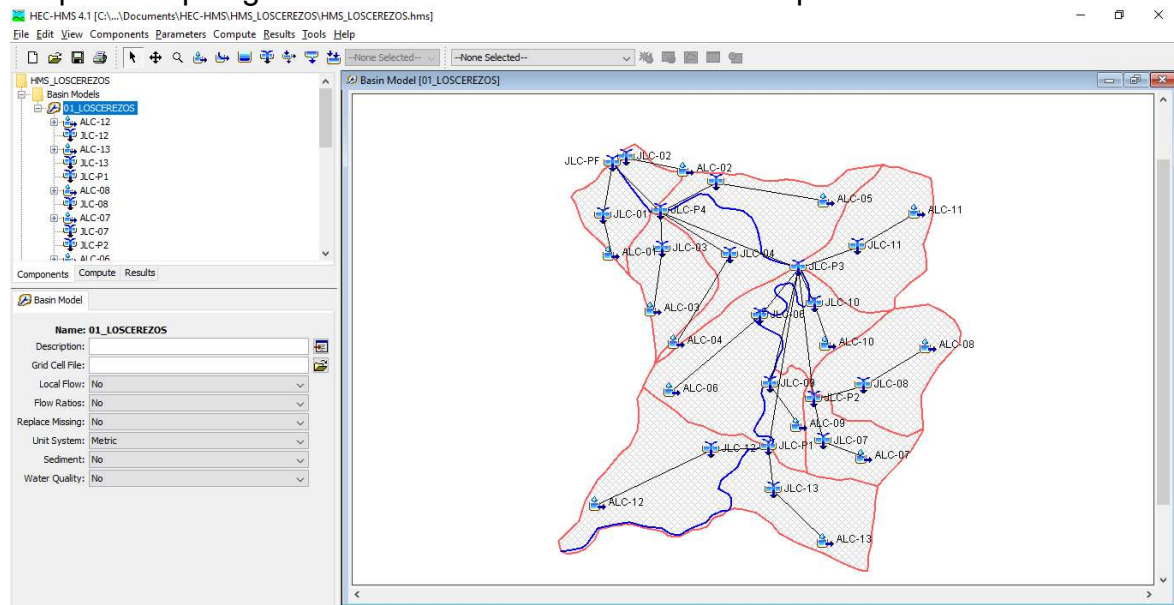
Cuenca	Área		CN			Longitud	Flujo		Desnivel	Pendiente	Cuenca	Tiempo de	Tiempo de
			Seca	Normal	Húmeda		Cota máxima	Cota mínima			Pendiente	concentración	retardo
ID	m ²	km ²	-	-	-	m	msnm	msnm	m	m/m	%	min	min
ALC-01	30207	0.0302	37	59	77	340	85.0	20.0	65.0	0.1911	25.6	7.6	4.6
ALC-02	15557	0.0156	34	55	74	249	44.0	20.0	24.0	0.0964	14.1	8.7	5.2
ALC-03	51320	0.0513	38	60	77	420	123.0	26.0	97.0	0.2309	29.6	8.2	4.9
ALC-04	51099	0.0511	38	59	77	800	123.0	26.0	97.0	0.1212	22.9	15.7	9.4
ALC-05	67189	0.0672	35	56	74	821	93.0	26.0	67.0	0.0817	17.1	20.1	12.0
ALC-06	92994	0.0930	37	59	77	1116	123.0	45.0	78.0	0.0699	23.7	20.4	12.2
ALC-07	44724	0.0447	36	58	76	407	92.0	62.0	30.0	0.0737	13.7	12.3	7.4
ALC-08	83804	0.0838	38	60	77	521	91.0	62.0	29.0	0.0557	12.7	14.9	8.9
ALC-09	26680	0.0267	36	57	75	323	86.0	50.0	36.0	0.1116	17.6	9.1	5.4
ALC-10	43286	0.0433	39	60	78	600	91.0	46.0	45.0	0.0750	17.6	14.0	8.4
ALC-11	85176	0.0852	38	59	77	444	93.0	46.0	47.0	0.1059	15.8	11.8	7.1
ALC-12	105521	0.1055	35	56	74	503	116.0	65.0	51.0	0.1013	16.6	13.7	8.2
ALC-13	73802	0.0738	36	57	76	634	104.0	66.0	38.0	0.0599	14.1	17.4	10.4

Es muy importante encontrar el sentido físico al tiempo de concentración con el área delimitada anteriormente, debe tener congruencia.

Se usará los tiempos de retardo en la modelación con el software HEC HMS, para ello se creará los Subbasin's y los Junction's, luego se conectarán que llegarán al punto final que es el área urbanizada, como se muestra en la Figura 16.

Figura 16.

Esquema topológico en HEC HMS de las cuencas de aporte del área de estudio



Fuente. Elaboración propia en HEC HMS

Se ingresará los modelos meteorológicos con el método de tormenta tipo 3, debido a que el departamento es una zona cálida. Además, en la sección de especificaciones de control se modelará para un tiempo de 36 horas.

Se tiene como resultados los caudales para los tiempos de retorno de 25, 50 y 100 años, se visualiza en la Tabla 9.

Tabla 9.

Caudales Máximos según su periodo de retorno.

Medida	Periodos de retorno		
	25 años	50 años	100 años
Caudales máximos (Junction: JLC- PF)	23.9636 m ³ /s	28.1480 m ³ /s	32.1722 m ³ /s

4.4. Características del Modelamiento

En esta sección se describen los aspectos clave relacionados con el modelamiento hidráulico de la quebrada Los Cerezos. El análisis se realizará mediante un modelo hidrodinámico enfocado en una simulación a corto plazo, ya que se abordarán escenarios específicos. Esto incluye tanto la evaluación de caudales extremos hipotéticos como la recreación de eventos extremos pasados que permitirán validar el modelo y garantizar su precisión.

4.4.1. Datos Geométricos

4.4.1.1. Levantamiento de Información Digital del Terreno

Para obtener información digital se utilizó un Modelo de Elevación Digital (DEM) en formato ráster, el cual está formado por una cuadrícula de celdas o píxeles. Cada celda contiene valores que representan características del terreno u otros fenómenos reales, como la elevación o la temperatura, permitiendo analizar información de forma continua o discreta. (ESRI, 2016).

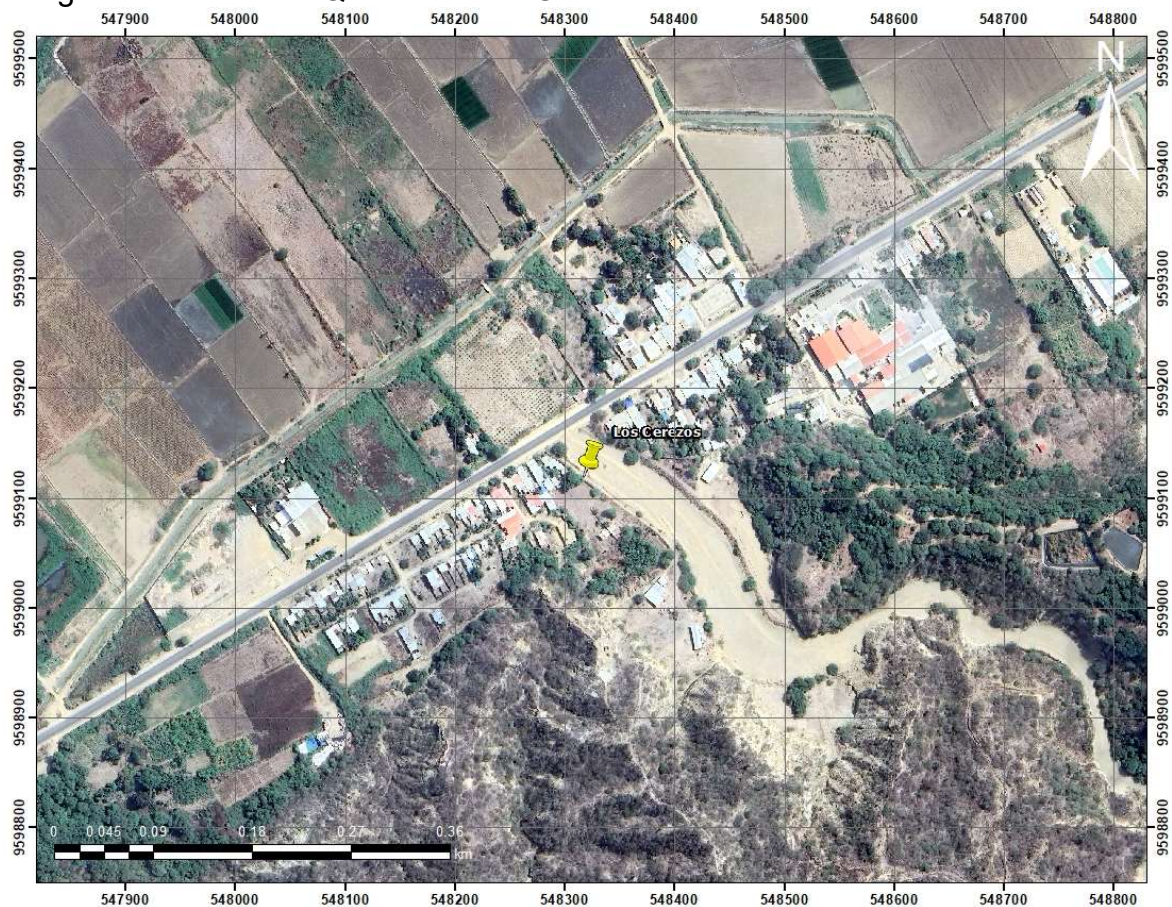
Para el estudio de la quebrada Los Cerezos, se utilizó un Modelo de Elevación Digital (DEM) obtenido de la Alaska Satellite Facility (ASF). Este DEM cuenta con una resolución de 12.5 metros, lo cual es ideal para análisis de topografía y modelamiento de fenómenos hidrológicos en la zona. La elección de este producto permitió captar con suficiente detalle la morfología del terreno, facilitando la correcta representación de la superficie y apoyando el desarrollo del modelamiento hidráulico en el área de estudio.

4.4.1.2. Importación de la Imagen Satelital

Para obtener una imagen satelital, se utilizó SASPlanet como fuente para obtener imágenes de alta resolución de la zona de estudio. Este software permitió la descarga de imágenes satelitales detalladas de múltiples proveedores, lo que facilitó la identificación y visualización precisa del entorno. Posteriormente, estas imágenes se importaron al RAS Mapper de HEC-RAS, donde se emplearon como base para corroborar la geometría del terreno y apoyar en la definición de las características del cauce en el modelamiento hidráulico.

Figura 17.

Imagen Satelital de la Quebrada Los Cerezos.

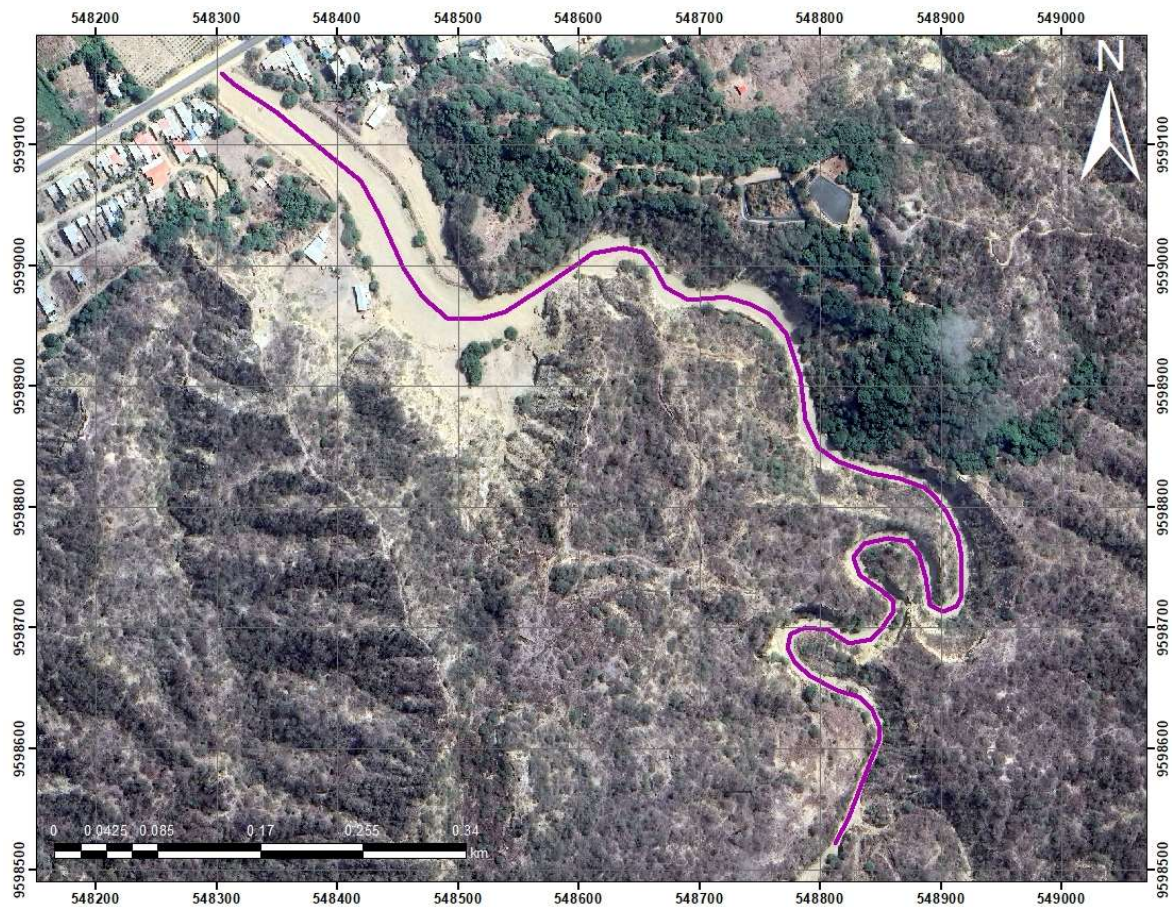


4.4.1.3. Distancia del Eje del Cauce

Para este apartado, se consideró una longitud total de 1 914 metros para la quebrada Los Cerezos. Esta medición se llevó a cabo utilizando Google Earth, lo que permitió trazar con precisión el eje del cauce siguiendo la topografía del área de estudio. Posteriormente, la geometría obtenida se exportó e importó en el RAS Mapper de HEC-RAS, garantizando una representación detallada y precisa del cauce en el modelo hidráulico.

Figura 18.

Eje del Cauce de la Quebrada Los Cerezos.

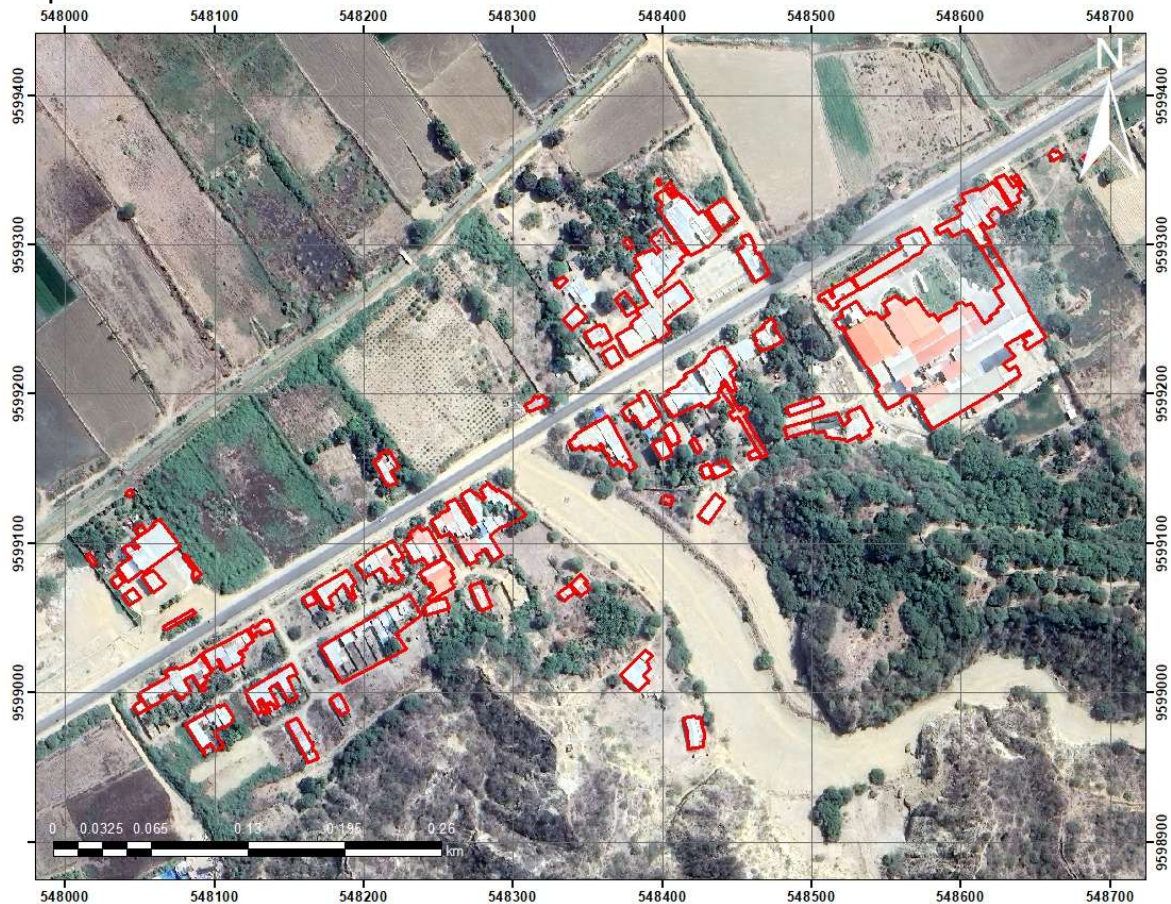


4.4.1.4. Mapa de Catastro

Para delimitar el catastro en RAS Mapper y evaluar la zona de influencia de la inundación, importó la imagen satelital obtenida de SASPlanet en formato GeoTIFF, asegurando su correcta georreferenciación en el entorno de HEC-RAS. Luego, se incorporó el shapefile con los límites catastrales de la zona de estudio, que elaboré previamente en ArcGIS. Superponiendo la imagen satelital y el mapa catastral en RAS Mapper, permitió identificar con precisión las áreas de interés y visualizar cómo esta se relaciona con la posible zona de inundación modelada.

Figura 19.

Mapa de Delimitación del Catastro de la Quebrada Los Cerezos.



4.4.2. Datos Hidráulicos

4.4.2.1. Caudales de Entrada

El presente estudio hidrológico de la Quebrada Los Cerezos desarrollado en el marco de un proyecto de tesis, tuvo como objetivo principal determinar los máximos caudales para períodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Estos valores son fundamentales para evaluar la vulnerabilidad del tramo de estudio en el proyecto mencionado.

Un desafío recurrente en el contexto nacional es la escasez de datos pluviométricos e hidrométricos, ya que muchas cuencas hidrográficas no cuentan con una instrumentación adecuada. Por este motivo, en numerosos casos es necesario recurrir a métodos indirectos para la estimación de máximos caudales.

Para garantizar la fiabilidad de un estudio hidrológico en la predicción de eventos futuros, se recomienda disponer de al menos 20 años de datos históricos (Organización Meteorológica Mundial, 2009).

La cobertura entre estaciones es un criterio importante para el análisis hidrológico, se toma un área mínima entre estaciones para la costa y zonas montañosas como en la tabla 2.

4.4.3. Elaboración de la Modelación

La presente simulación se llevó a cabo con el objetivo de delimitar una zona potencialmente inundable debido a la crecida de la quebrada Los Cerezos. Para ello, se utilizó el software HEC-RAS, complementado con herramientas como Hec Hms, que permitieron calcular los caudales máximos asociados a períodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Con esta información, se generaron mapas de inundación correspondientes a cada período de retorno.

El modelo hidráulico se construyó integrando los insumos geométricos procesados a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) y la información hidrológica obtenida en la etapa previa. La simulación permitió generar mapas de inundación para cada periodo de retorno, representando la distribución espacial del tirante máximo y la velocidad del flujo.

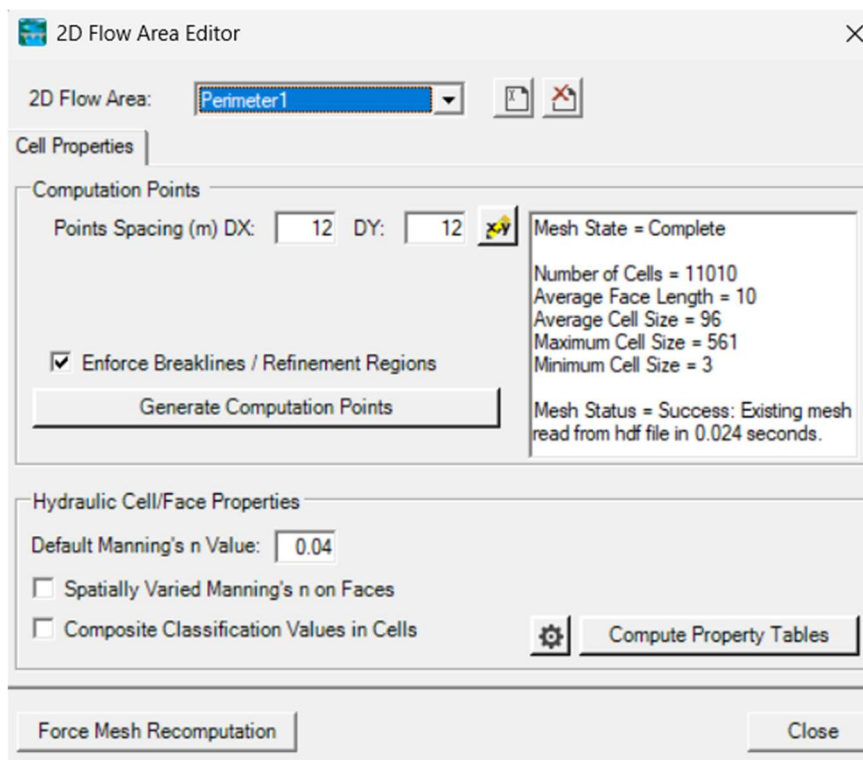
Esta metodología responde a la necesidad de evaluar con mayor precisión los efectos de eventos extremos, especialmente los asociados al Fenómeno El Niño Costero, que incrementa la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, elevando el riesgo de inundaciones en el área de estudio

4.4.4. Resultados de la Modelación

El mallado se realizó en un área que abarque la zona del catastro para así poder analizar las zonas de posible inundación que están afectando la zona de Los Cerezos, para así poder analizar las zonas afectadas.

Figura 20.

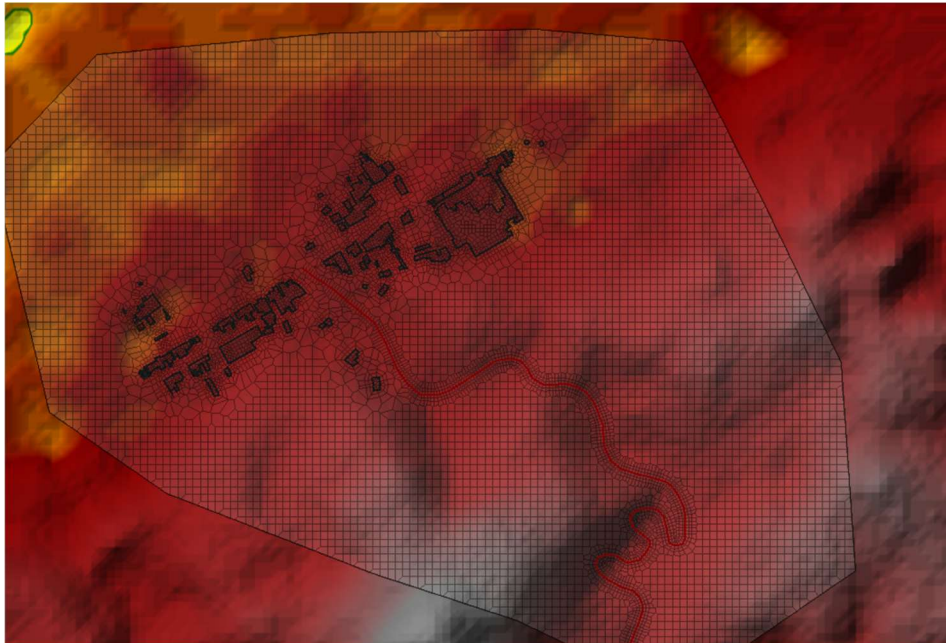
Configuración de la Malla Computacional.



Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

Figura 21.

Mallado del Catastro y Cauce.



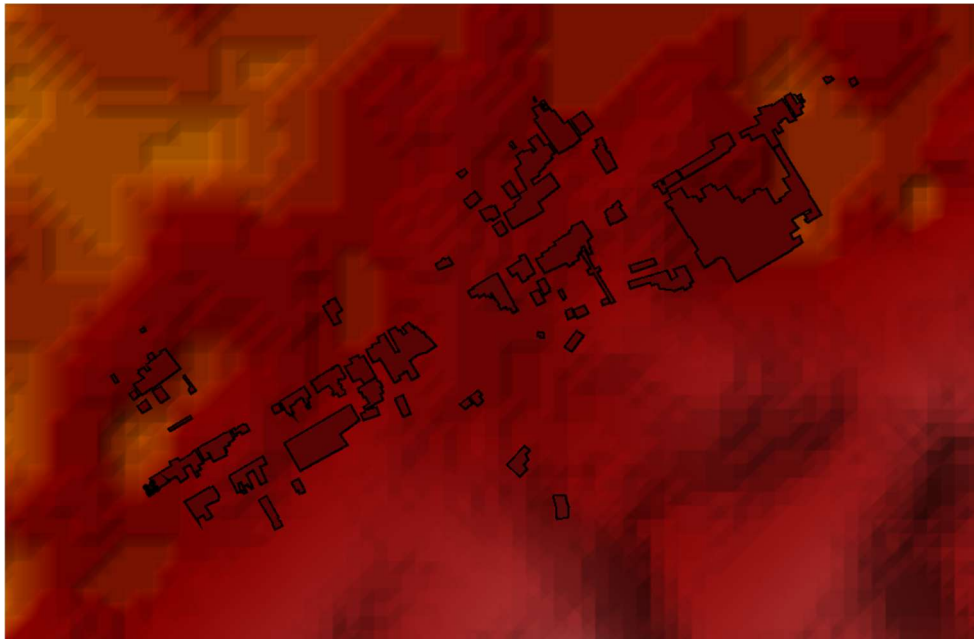
Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

4.4.5. Refinamiento de la Malla

El proceso de refinamiento de malla se realizó para la precisión espacial en áreas críticas como lo es en este caso el cauce del río que atraviesa Los Cerezos, el catastro a analizar por la inundación, aumentando la resolución de los elementos que componen la malla, permitiendo así capturar con mayor detalle los cambios en la topografía y la variación de la rugosidad, resultando así la maximización de la exactitud del flujo e interacción con el terreno pudiendo así obtener resultados de velocidad y tirante más realistas en el análisis de inundación.

Figura 22.

Vista del Catastro de la Quebrada Los Cerezos.



Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

Figura 23.

Configuración de la malla para el del Catastro de la Quebrada Los Cerezos.

Catastro - Layer Properties

Visualization and Information | Features | Source Files

Source: C:\Users\Usuario\Documents\PRACTICE\HECRAS\cerezos\Terrain\Terrain (1).hdf

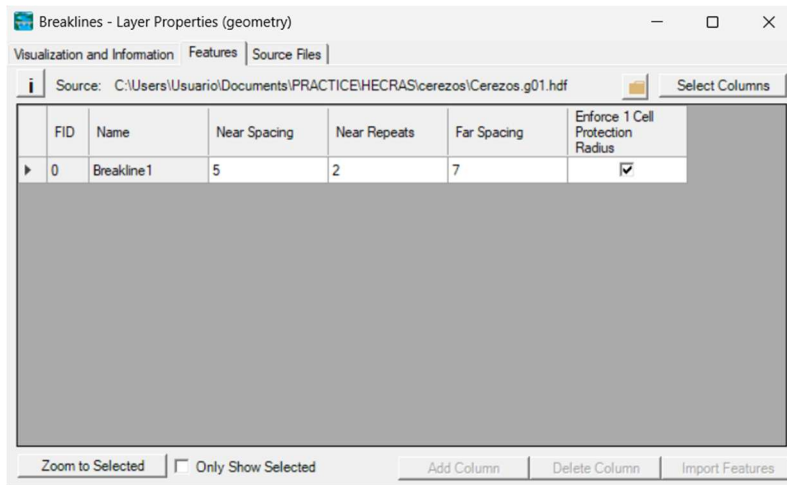
	FID	Name	Elevation Value	Elevation Type	Elev Pt Tolerance	Generate Boundary Elevations	Use Shapefile Z Elevations	Profile
▶	0	Polygon 8	24.93	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	1	Polygon 8	25.52	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	2	Polygon 9	21.806	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	3	Polygon 10	23.49	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	4	Polygon 11	21.81	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	5	Polygon 12	21.47	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	6	Polygon 13	20.09	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	7	Polygon 8	22.25	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	8	Polygon 9	19.91	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	9	Polygon 10	19.17	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	10	Polygon 11	0	SetValue	20	☒	☐	(5 Points)
	11	Polygon 12	19.39	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	12	Polygon 13	21.05	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	13		0	SetValue	20	☒	☐	(2 Points)
	14	Polygon 15	23.85	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	15	Polygon 16	17.46	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	16	Polygon 17	17.01	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	17	Polygon 18	16.7	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	18	Polygon 19	17.95	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	19	Polygon 20	20.2	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	20	Polygon 21	20.74	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	21	Polygon 22	22.33	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	22	Polygon 23	18.2	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	23	Polygon 24	19.9	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	24	Polygon 25	21.57	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	25	Polygon 26	22.94	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	26	Polygon 27	25.16	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	27	Polygon 28	24.31	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	28	Polygon 29	27.84	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	29	Polygon 30	24	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	30	Polygon 31	24	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)
	31	Polygon 32	23.27	SetValue	20	☐	☐	(2 Points)

Zoom to Selected ☐ Only Show Selected

Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

Figura 24.

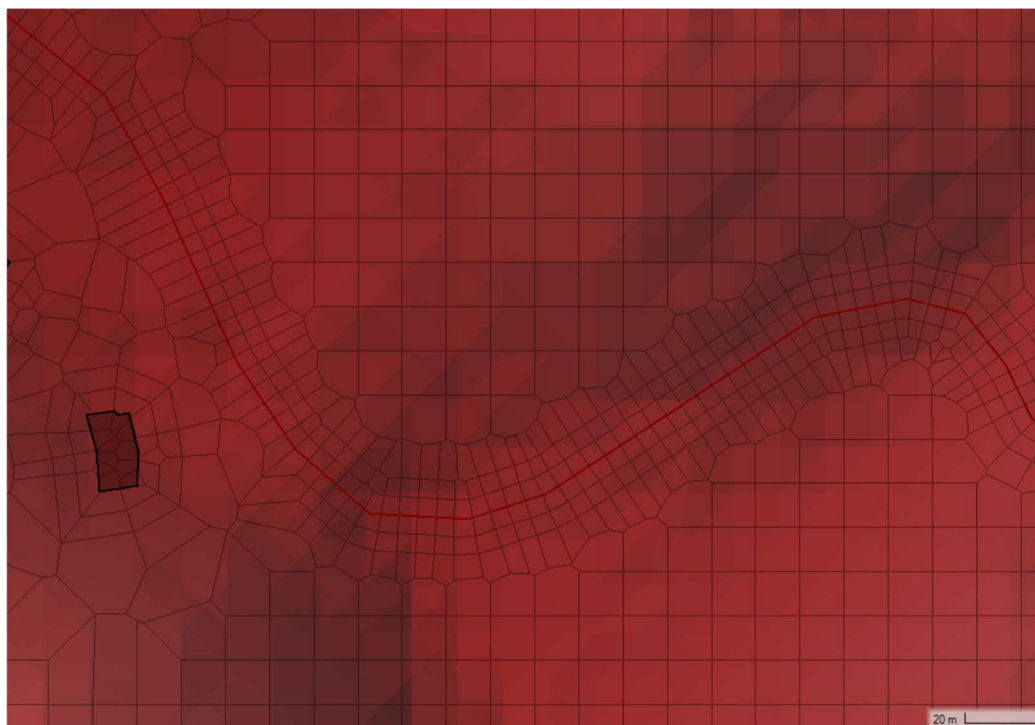
Configuración del Mallado del Cauce.



Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

Figura 25.

Mallado del Cauce del Rio.



Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

Figura 26.*Configuración del Mallado del Catastro.*

Refinement Regions - Layer Properties (geometry)

Visualization and Information Features Source Files

Source: C:\Users\Usuario\Documents\PRACTICE\HECRAS\cerezos\Cerezos.g01.hdf

FID	Name	Cell Size X	Cell Size Y	Generate as Hexagon	Perimeter Spacing	Near Repeats	Far Spacing	Enforce 1 Cell Protection Radius
0	Polygon 8	6	6	☐	6	2	8	☒
1	Polygon 8 (2)	6	6	☐	6	2	8	☒
2	Polygon 9	6	6	☐	6	2	8	☒
3	Polygon 10	6	6	☐	6	2	8	☒
4	Polygon 11	6	6	☐	6	2	8	☒
5	Polygon 12	6	6	☐	6	2	8	☒
6	Polygon 13	6	6	☐	6	2	8	☒
7	Polygon 8 (1)	6	6	☐	6	2	8	☒
8	Polygon 9 (1)	6	6	☐	6	2	8	☒
9	Polygon 10 (1)	6	6	☐	6	2	8	☒
10	Polygon 11 (1)	6	6	☐	6	2	8	☒
11	Polygon 12 (1)	6	6	☐	6	2	8	☒
12	Polygon 13 (1)	6	6	☐	6	2	8	☒
13	Region 1	6	6	☐	6	2	8	☒
14	Polygon 15	6	6	☐	6	2	8	☒
15	Polygon 16	6	6	☐	6	2	8	☒
16	Polygon 17	6	6	☐	6	2	8	☒
17	Polygon 18	6	6	☐	6	2	8	☒
18	Polygon 19	6	6	☐	6	2	8	☒
19	Polygon 20	6	6	☐	6	2	8	☒
20	Polygon 21	6	6	☐	6	2	8	☒
21	Polygon 22	6	6	☐	6	2	8	☒
22	Polygon 23	6	6	☐	6	2	8	☒
23	Polygon 24	6	6	☐	6	2	8	☒
24	Polygon 25	6	6	☐	6	2	8	☒
25	Polygon 26	6	6	☐	6	2	8	☒
26	Polygon 27	6	6	☐	6	2	8	☒
27	Polygon 28	6	6	☐	6	2	8	☒
28	Polygon 29	6	6	☐	6	2	8	☒
29	Polygon 30	6	6	☐	6	2	8	☒
30	Polygon 31	6	6	☐	6	2	8	☒
31	Polygon 32	6	6	☐	6	2	8	☒

Zoom to Selected ☐ Only Show Selected

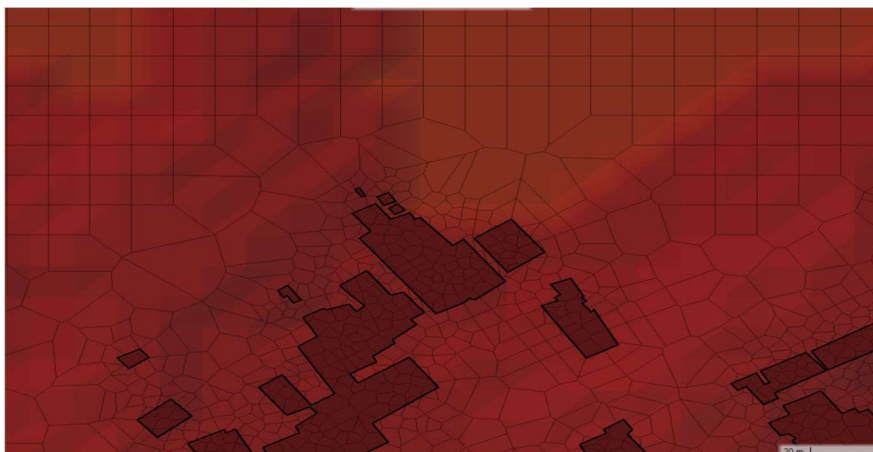
*Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.***Figura 27.***Vista del Mallado del Catastro.**Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.*

Figura 28.

Configuración del Manning del Catastro.

Classification Parameters

Parameter: All Parameters

Selected Area Edits

ID	Name	ManningsN	Percent Impervious
1	Polygon 1	2	
2	Polygon 2	2	
3	Polygon 3	2	
4	Polygon 4	2	
5	Polygon 5	2	
6	Polygon 6	2	
7	Polygon 7	2	
8	Polygon 8	2	
9	Polygon 9	2	
10	Polygon 10	2	
11	Polygon 11	2	
12	Polygon 12	2	
13	Polygon 13	2	
14	Polygon 14	2	
15	Polygon 15	2	
16	Polygon 16	2	

OK Cancel

Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

4.4.6. Condiciones de Contorno

En el modelo bidimensional desarrollado en HEC-RAS 2D, se definieron dos líneas de frontera (BC Lines) asociadas al área de flujo (Perimeter1).

Condición de entrada (BC Line 1): Se aplicó una condición de tipo “Flow Hydrograph”, utilizando los hidrogramas de caudal generados en HEC-HMS para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Esta condición representa el ingreso no permanente del flujo hacia el dominio de simulación, reproduciendo la variación temporal del caudal a lo largo del evento.

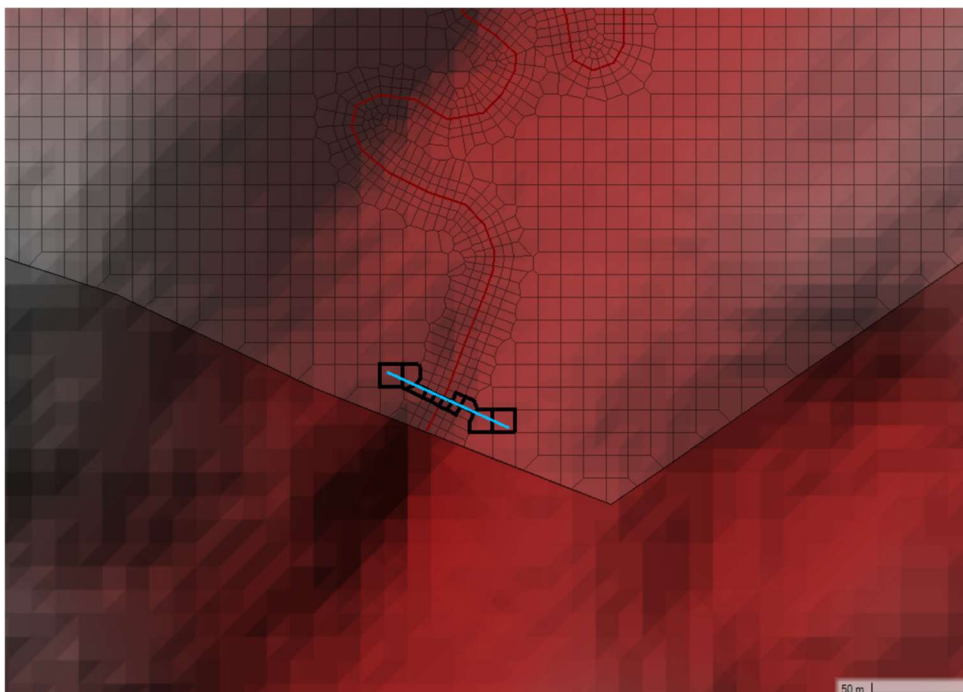
Condición de salida (BC Line 2): Se estableció una condición de tipo “Normal Depth”, correspondiente a un flujo de salida libre al final del dominio. Esta condición

permite que el agua drene naturalmente siguiendo la pendiente topográfica del cauce, evitando reflexiones o acumulaciones artificiales en el borde del modelo.

La combinación de estas condiciones garantiza la continuidad hidráulica y una correcta representación del comportamiento del flujo dentro del modelo bidimensional, reproduciendo fielmente la dinámica del evento de crecida en la quebrada Los Cerezos.

Figura 29.

Condition Line 1.



Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

Figura 32.

Configuración del condition line 1 – Flow Hydrograph – Qdiseño 25 años.

Flow Hydrograph

2D: Perimeter 1 BCLine: BC Line 1

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: 08SEP 2024 Time: 00:00

☒ Fixed Start Time: Date: 08SEP 2024 Time: 00:00

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	07Set2024 2400	0:00:00	15
2	08Set2024 0100	1:00:00	15.56
3	08Set2024 0200	2:00:00	16.121
4	08Set2024 0300	3:00:00	16.681
5	08Set2024 0400	4:00:00	17.241
6	08Set2024 0500	5:00:00	17.801
7	08Set2024 0600	6:00:00	18.362
8	08Set2024 0700	7:00:00	18.922
9	08Set2024 0800	8:00:00	19.482
10	08Set2024 0900	9:00:00	20.042
11	08Set2024 1000	10:00:00	20.603
12	08Set2024 1100	11:00:00	21.163
13	08Set2024 1200	12:00:00	21.723
14	08Set2024 1300	13:00:00	22.283
15	08Set2024 1400	14:00:00	22.844
16	08Set2024 1500	15:00:00	23.404
17	08Set2024 1600	16:00:00	23.964
18	08Set2024 1700	17:00:00	23.324
19	08Set2024 1800	18:00:00	22.683
20	08Set2024 1900	19:00:00	22.043
21	08Set2024 2000	20:00:00	21.403
22	08Set2024 2100	21:00:00	20.763
23	08Set2024 2200	22:00:00	20.122
24	08Set2024 2300	23:00:00	19.482
25	08Set2024 2400	24:00:00	18.842

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow: Multiplier: EG Slope for distributing flow along BC Line: 0.003861 ☐ TW C

Plot Data OK Cancel

Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

Figura 33.

Configuración del condition line 1 – Flow Hydrograph – Qdiseño 50 años.

Flow Hydrograph

2D: Perimeter 1 BCLine: BC Line 1

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: 08SEP2024 Time: 00:00

☒ Fixed Start Time: Date: 08SEP2024 Time: 00:00

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time	Flow
		(hours)	(m3/s)
1	07Set2024 2400	0:00:00	15
2	08Set2024 0100	1:00:00	15.822
3	08Set2024 0200	2:00:00	16.644
4	08Set2024 0300	3:00:00	17.465
5	08Set2024 0400	4:00:00	18.287
6	08Set2024 0500	5:00:00	19.109
7	08Set2024 0600	6:00:00	19.931
8	08Set2024 0700	7:00:00	20.752
9	08Set2024 0800	8:00:00	21.574
10	08Set2024 0900	9:00:00	22.396
11	08Set2024 1000	10:00:00	23.218
12	08Set2024 1100	11:00:00	24.039
13	08Set2024 1200	12:00:00	24.861
14	08Set2024 1300	13:00:00	25.683
15	08Set2024 1400	14:00:00	26.505
16	08Set2024 1500	15:00:00	27.326
17	08Set2024 1600	16:00:00	28.148
18	08Set2024 1700	17:00:00	27.209
19	08Set2024 1800	18:00:00	26.27
20	08Set2024 1900	19:00:00	25.331
21	08Set2024 2000	20:00:00	24.391
22	08Set2024 2100	21:00:00	23.452
23	08Set2024 2200	22:00:00	22.513
24	08Set2024 2300	23:00:00	21.574
25	08Set2024 2400	24:00:00	20.635

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow: Multiplier: EG Slope for distributing flow along BC Line: 0.003861 ☐ TW

Plot Data OK Cancel

Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

Figura 34.

Configuración del condition line 1 – Flow Hydrograph – Qdiseño 100 años.

Flow Hydrograph

2D: Perimeter 1 BCLine: BC Line 1

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: 08SEP2024 Time: 00:00

☒ Fixed Start Time: Date: 08SEP2024 Time: 00:00

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	07Set2024 2400	0:00:00	15
2	08Set2024 0100	1:00:00	16.073
3	08Set2024 0200	2:00:00	17.147
4	08Set2024 0300	3:00:00	18.22
5	08Set2024 0400	4:00:00	19.293
6	08Set2024 0500	5:00:00	20.366
7	08Set2024 0600	6:00:00	21.44
8	08Set2024 0700	7:00:00	22.513
9	08Set2024 0800	8:00:00	23.586
10	08Set2024 0900	9:00:00	24.659
11	08Set2024 1000	10:00:00	25.733
12	08Set2024 1100	11:00:00	26.806
13	08Set2024 1200	12:00:00	27.879
14	08Set2024 1300	13:00:00	28.952
15	08Set2024 1400	14:00:00	30.026
16	08Set2024 1500	15:00:00	31.099
17	08Set2024 1600	16:00:00	32.172
18	08Set2024 1700	17:00:00	30.945
19	08Set2024 1800	18:00:00	29.719
20	08Set2024 1900	19:00:00	28.492
21	08Set2024 2000	20:00:00	27.266
22	08Set2024 2100	21:00:00	26.039
23	08Set2024 2200	22:00:00	24.813
24	08Set2024 2300	23:00:00	23.586
25	08Set2024 2400	24:00:00	22.359

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow: Multiplier: EG Slope for distributing flow along BC Line: 0.003861 ☐ TW

Plot Data OK Cancel

Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

Figura 35.

Normal Depth Downstream Boundary

Normal Depth Downstream Boundary

2D: Perimeter 1 BCLine: BC Line 2

Friction Slope: 0.0032

2D Flow Area Boundary Condition Parameters

☒ Compute separate water surface elevation per face along BC Line

☐ Compute single water surface for entire BC Line

OK Cancel

Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

Tabla 10.

Pendientes de las Condition Line.

Ubicación	Valor de pendiente
Inicio	0.003861
Final	0.0032

Figura 36.**Unsteady Flow Analysis.**

Unsteady Flow Analysis

File Options Help

Plan: P100 Short ID: P100

Geometry File: geometry

Unsteady Flow File: Q100

Programs to Run

- ☒ Geometry Preprocessor
- ☒ Unsteady Flow Simulation
 - ☐ Sediment
- ☒ Post Processor
- ☒ Floodplain Mapping

Plan Description

Simulation Time Window

Starting Date: 08SEP2024 Starting Time: 00:00

Ending Date: 09SEP2024 Ending Time: 06:00

Computation Settings

Computation Interval: 1 Second Hydrograph Output Interval: 1 Hour

Mapping Output Interval: 1 Hour Detailed Output Interval: 1 Hour

Project DSS Filename: C:\Users\Usuario\Documents\PRACTICE\HECRAS\cerezos\C

Compute

Fuente: Elaboración Propia en HEC-RAS.

4.5. Resultados del Modelamiento

Los resultados derivados de la simulación realizada con el software HEC-RAS incluyen mapas de velocidad de flujo y de inundación en 2D correspondientes a los diferentes períodos de retorno. Estos resultados permiten identificar las áreas susceptibles de ser afectadas por los aumentos en las precipitaciones. Además, se generó un mapa de pendientes de la cuenca, que facilita la identificación y el análisis de las zonas donde es probable que se produzcan incrementos en la velocidad del flujo.

Figura 37.

Mapa de Pendientes.

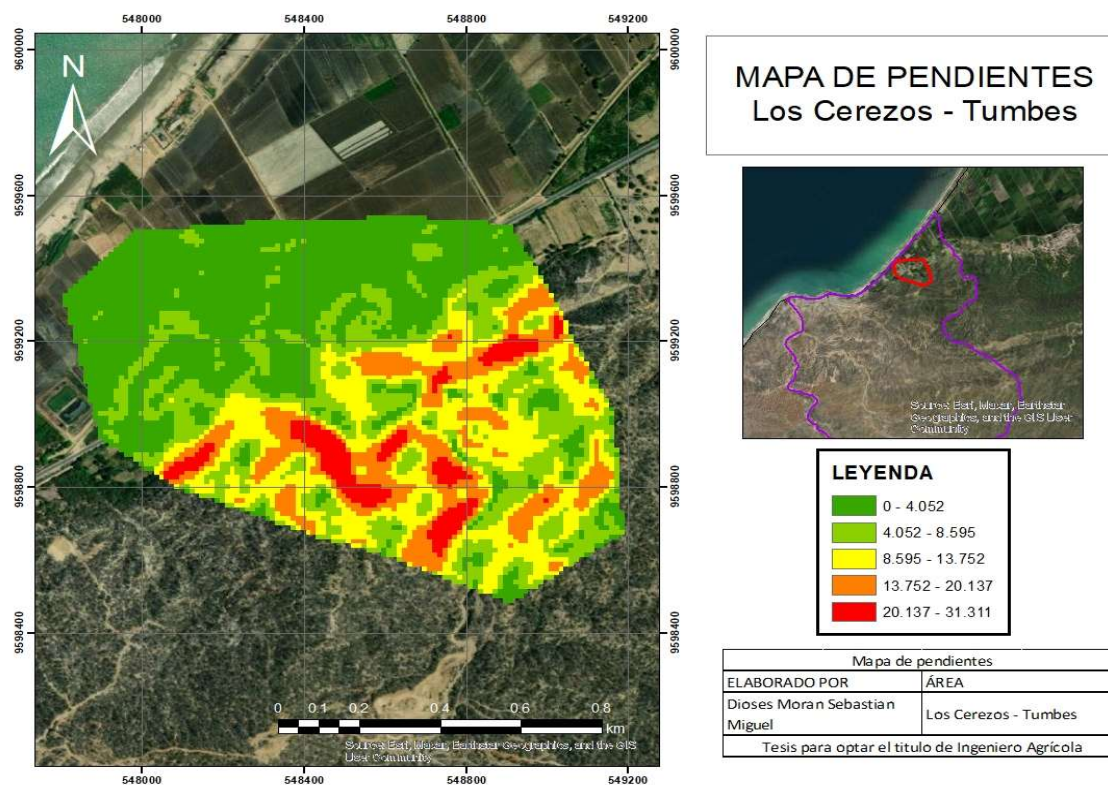


Figura 38.

Mapa de Tirantes máximo para Caudal de diseño de 25 años.

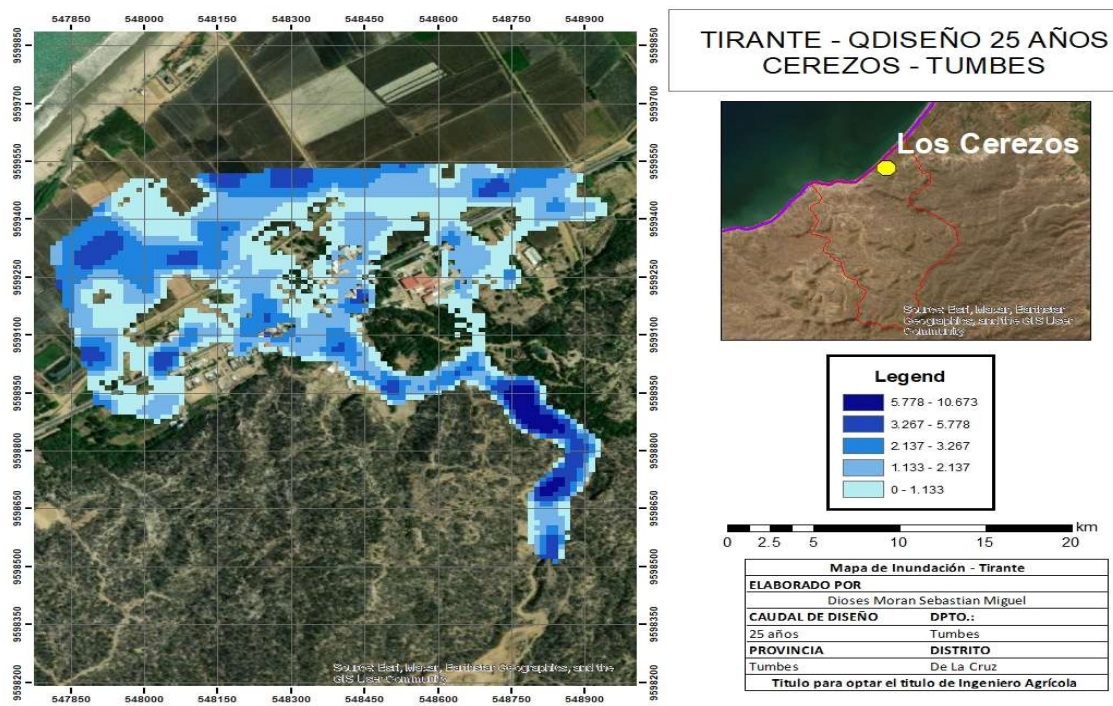


Figura 39.

Mapa de Tirantes máximo para Caudal de diseño de 50 años.

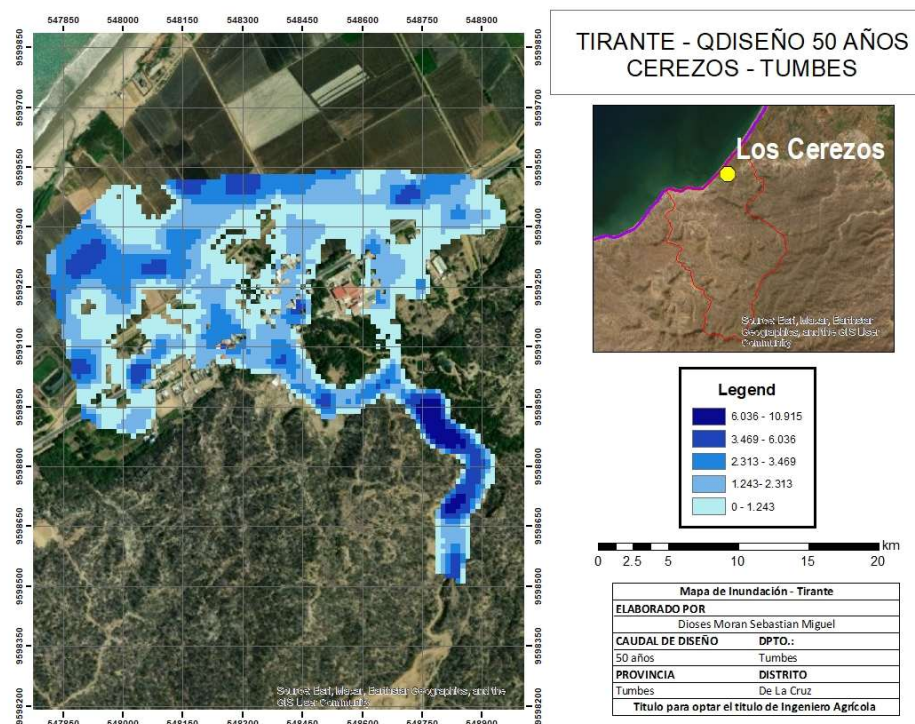


Figura 40.

Mapa de Tirantes máximo para Caudal de diseño de 100 años.

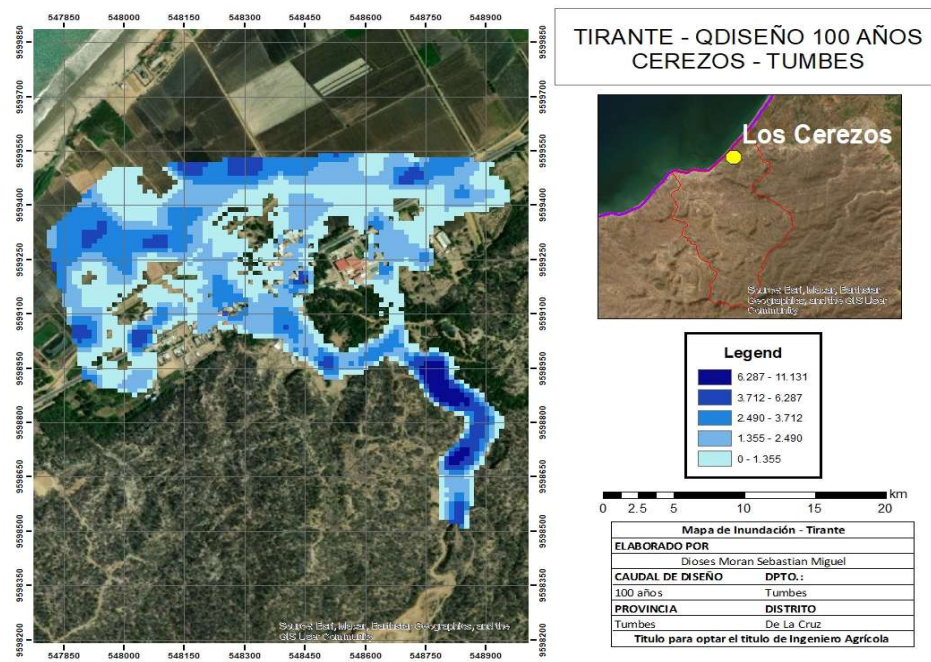


Figura 41.

Mapa de velocidad máxima para Caudal de diseño de 25 años.

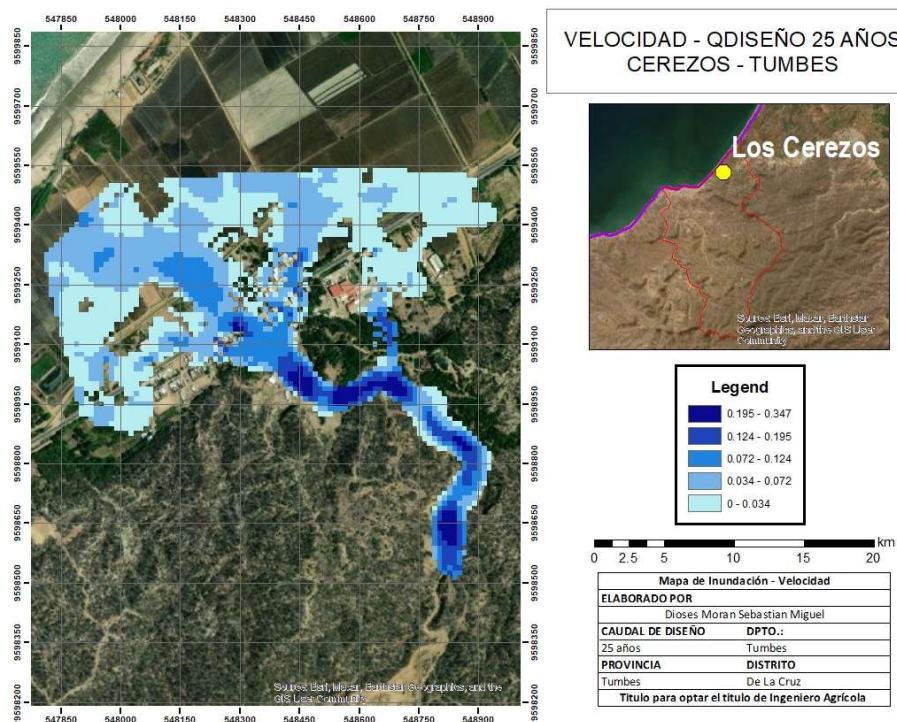


Figura 42.

Mapa de velocidad máxima para Caudal de diseño de 50 años.

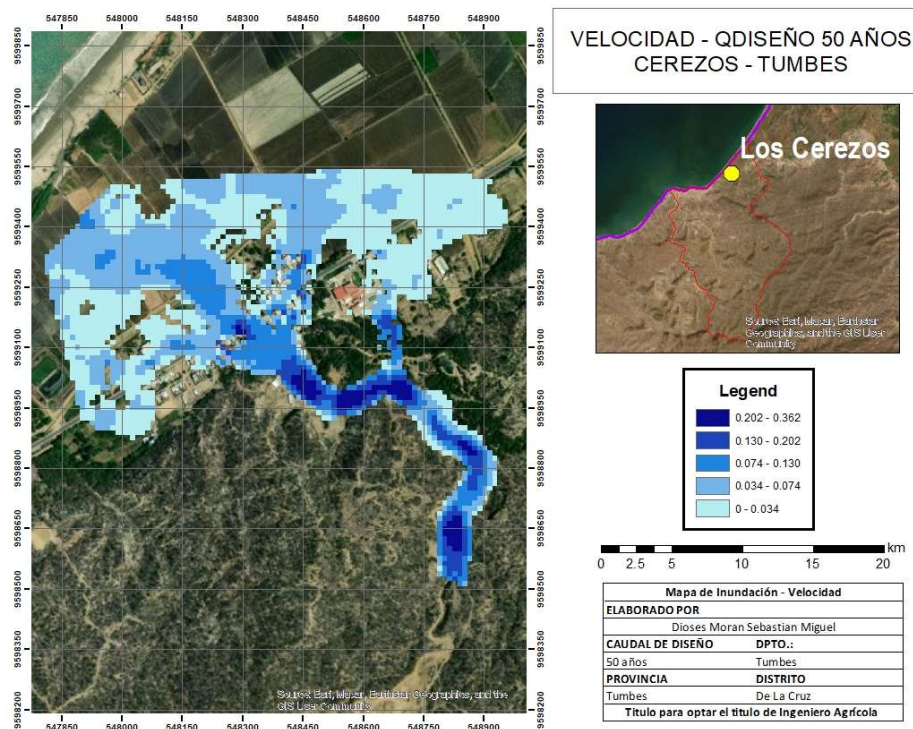
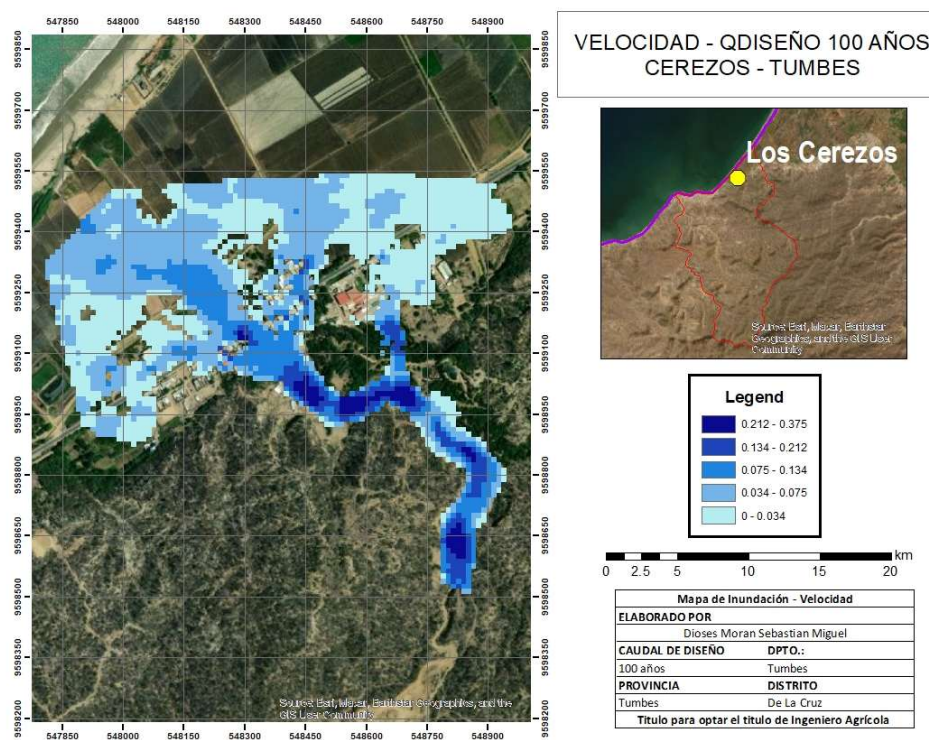


Figura 43.

Mapa de velocidad máxima para Caudal de diseño de 100 años.



4.6. Análisis y discusión de resultados

4.6.1. Resultados respecto al objetivo general

En el presente estudio se logró delimitar las zonas inundables del sector Los Cerezos como consecuencia de las crecidas de la quebrada homónima, mediante la aplicación integrada del modelamiento hidráulico bidimensional en HEC-RAS y el análisis geoespacial en ArcGIS. El modelo hidráulico, construido sobre un modelo digital de elevación (DEM) de alta resolución, permitió simular el comportamiento del flujo superficial para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

Los resultados muestran que las áreas inundables aumentan progresivamente con el periodo de retorno: 420,781.25 m² para 25 años, 446,406.25 m² para 50 años y 455,156.25 m² para 100 años. Este incremento

progresivo implica que, ante eventos más extremos, el flujo desborda con mayor facilidad el cauce y se extiende lateralmente sobre zonas urbanas, lo que refleja una reducción de la capacidad hidráulica del cauce y un mayor nivel de exposición de la infraestructura vial.

El análisis geoespacial permitió superponer las zonas inundables con la infraestructura existente, evidenciando que varios tramos de la carretera del sector Los Cerezos se encuentran dentro del área de riesgo. Esto significa que un incremento de caudal entre los periodos de 25 y 100 años no solo amplía el área afectada, sino también la severidad del impacto sobre la vía y las viviendas cercanas, aumentando la probabilidad de interrupciones del tránsito y daños estructurales.

Estos resultados coinciden con los hallazgos de Álvarez y Moreno (2021) y Santos (2022), quienes demostraron que la expansión del área inundable en zonas urbanas guarda una relación directa con la topografía llana y la obstrucción del flujo por la infraestructura vial. En conjunto, los resultados confirman la hipótesis general de esta investigación: el modelamiento hidráulico y el análisis geoespacial permiten identificar con precisión las zonas en riesgo de inundación en el sector Los Cerezos.

4.6.2. Resultados respecto a los objetivos específicos

Las precipitaciones máximas estimadas para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años fueron de 201.2 mm, 226.6 mm y 250.9 mm, respectivamente. Dichos valores, transformados en caudales mediante HEC-HMS, produjeron 23.96 m³/s, 28.15 m³/s y 32.17 m³/s, en concordancia con los estudios de Muñoz y Quinde (2021), quienes demostraron la utilidad de la modelación hidrológica para estimar crecidas a partir de precipitaciones de diseño en cuencas de régimen similar.

El modelamiento bidimensional en HEC-RAS permitió simular la distribución espacial de los tirantes y velocidades máximas para cada periodo de retorno. Los mapas de tirante máximo muestran valores entre 0.001 m y 27.75 m, concentrándose los mayores en las zonas bajas y cercanas al cauce principal, mientras que los mapas de velocidad máxima varían entre 0.00006 m/s y 0.9335 m/s, indicando áreas con flujos de alta energía hidráulica.

El aumento del área inundada entre los periodos de 25 y 100 años tiene un significado físico y social importante: evidencia que la quebrada Los Cerezos presenta una alta sensibilidad a los incrementos de caudal, lo que en eventos extremos podría afectar directamente la carretera y las viviendas colindantes. Esta tendencia confirma que la zona de estudio se encuentra en un nivel de riesgo creciente, requiriendo medidas de mitigación y un control estricto del uso del suelo.

Estos resultados confirman el comportamiento hidrodinámico descrito por Vashist y Singh (2023), quienes observaron que el incremento del caudal aumenta la extensión y energía del flujo, afectando principalmente terrenos agrícolas y zonas urbanas aledañas. En el caso de Los Cerezos, se evidencia una situación análoga, donde la pendiente y la morfología del cauce condicionan la dirección del flujo y amplifican la afectación sobre la carretera y las áreas habitadas próximas.

4.6.3. Descripción de los hallazgos más relevante

El incremento sostenido de las áreas inundadas con el aumento del periodo de retorno valida la hipótesis específica relacionada con la capacidad del modelo hidráulico para identificar zonas críticas de inundación. Se observa un comportamiento coherente entre los distintos escenarios simulados, lo que demuestra la consistencia del modelo numérico y la adecuación de los parámetros topográficos y de contorno utilizados. A medida que aumenta la magnitud de las

avenidas, las velocidades del flujo y los tirantes máximos tienden a concentrarse en las zonas bajas próximas a la carretera, generando riesgo de socavación, pérdida de material y afectación estructural.

Asimismo, la comparación con los antecedentes nacionales y locales confirma la fiabilidad y transferibilidad del enfoque metodológico. Los patrones de inundación identificados en Los Cerezos coinciden con los reportados por Chavarry y Villanueva (2022) y Oyola y Medina (2019) en la región de Tumbes, lo que refuerza la validez del modelo empleado para cuencas pequeñas con influencia urbana. En el caso de Los Cerezos, el patrón de inundación obtenido evidencia que la carretera actúa como una barrera parcial, modificando la dirección del flujo y aumentando el nivel de agua aguas arriba.

El hallazgo más relevante del estudio es que, incluso en escenarios de 25 años, el nivel del agua supera la rasante de la carretera, lo que confirma que la vía está en riesgo de anegamiento y daño estructural. Esto evidencia la necesidad de integrar el modelamiento hidráulico dentro de la planificación vial y urbana de la zona, siguiendo las recomendaciones metodológicas planteadas por Olivares (2018) en el caso del río Huancabamba.

Tabla 11.

Área de inundación respecto al tirante para cada periodo de retorno.

Mapa de Tirante	Área de inundación (m²)
Periodo de retorno de 25 años.	420781.25
Periodo de retorno de 50 años.	446406.25
Periodo de retorno de 100 años.	455156.25

Tabla 12.

Área de inundación respecto a la velocidad para cada periodo de retorno.

Mapa de Velocidades	Área de inundación (m/s)
Periodo de retorno de 25 años.	420781.25
Periodo de retorno de 50 años.	446406.25
Periodo de retorno de 100 años.	455156.25

4.6.4. Implicancias del estudio

Los resultados obtenidos tienen implicancias técnicas, sociales y de gestión del riesgo. Técnicamente, se demuestra que el uso combinado de HEC-HMS, HEC-RAS y ArcGIS constituye una herramienta eficaz para la delimitación de zonas inundables y la identificación de infraestructuras vulnerables. Socialmente, los resultados indican que la población ubicada en las cercanías de la carretera del sector Los Cerezos enfrenta un riesgo alto de inundación, especialmente durante eventos de retorno de 50 y 100 años.

Ante esta evidencia, se propone la implementación de medidas estructurales de protección, tales como un dique enrocado tipo escollera de 600 metros de longitud con una sección de 4 m de altura y 4.5 m de ancho en la corona, diseñado para mitigar la erosión lateral y proteger la margen izquierda del cauce. Además, deben incluirse medidas no estructurales como la reforestación de riberas, la zonificación de riesgo y la restricción del uso del suelo en las zonas inundables.

Estas acciones se alinean con lo recomendado por Bernardo y Castro (2021), quienes destacaron la efectividad de integrar el análisis geoespacial con la planificación territorial para reducir la exposición de las comunidades frente a eventos hidrometeorológicos extremos. En consecuencia, los resultados del

presente estudio no solo confirman la validez técnica del modelo, sino que también proporcionan lineamientos concretos para la toma de decisiones en la gestión del riesgo de inundaciones en el sector Los Cerezos.

CONCLUSIONES

Se comprobó la hipótesis general, demostrando que la delimitación de las zonas susceptibles de inundación mediante el análisis de máximas avenidas y el modelamiento hidrológico e hidráulico permitió determinar, de manera confiable, el riesgo de inundación de la carretera ubicada en el sector Los Cerezos ante eventos extremos. En ese sentido, se evidencia que la vía se encuentra expuesta a inundación para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, confirmando la relación directa entre el incremento del caudal y la expansión del área inundada. Asimismo, los resultados obtenidos presentan correspondencia con eventos históricos registrados en la zona, lo cual respalda la confiabilidad del análisis realizado.

En relación al primer objetivo específico, se determinó que el uso del software HEC-HMS permitió estimar de manera confiable los caudales máximos asociados a periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, obteniéndose valores de 23.96 m³/s, 28.15 m³/s y 32.17 m³/s, respectivamente. Estos resultados presentan un comportamiento creciente coherente con la dinámica hidrológica esperada y guardan relación con registros de eventos históricos, validando la consistencia del modelamiento hidrológico empleado.

Respecto al segundo objetivo específico, el modelamiento hidráulico bidimensional mediante HEC-RAS permitió identificar y delimitar las zonas con mayor susceptibilidad a inundación, determinándose áreas inundables de

420,781.25 m², 446,406.25 m² y 455,156.25 m² para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, respectivamente. Asimismo, se evidenció un incremento progresivo tanto de los tirantes como de la superficie inundada, lo cual confirma que el modelo representa adecuadamente el comportamiento hidráulico de la quebrada frente a eventos extremos.

La integración de los resultados del modelamiento hidráulico con herramientas geoespaciales en ArcGIS permitió elaborar mapas temáticos de inundación con mayor precisión, facilitando la identificación de zonas críticas y áreas vulnerables. Esta información se convierte en una herramienta clave para la gestión del riesgo, el ordenamiento territorial y la planificación, contribuyendo a una mejor toma de decisiones en el ámbito local.

Finalmente, se concluye que la Municipalidad Distrital de La Cruz y el Gobierno Regional de Tumbes deben considerar los resultados del estudio en la planificación territorial, priorizando medidas estructurales, como defensas ribereñas, y no estructurales, como la regulación del uso del suelo en zonas vulnerables, con el fin de reducir el riesgo de inundación y mitigar impactos en la población y la infraestructura vial.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de topografía con mayor definición, con ello se podría delimitar con mayor exactitud las áreas y las líneas de flujo.

Es necesario el uso de mayor data meteorológica es muy importante para una mayor precisión en las precipitaciones máximas en el área de estudio, se recomienda la solicitud de datos meteorológicos a empresas mineras o de otro sector con fines académicos.

Se recomienda implementar obras de defensa ribereña diseñadas para soportar los caudales extremos estimados, con el fin de proteger tanto la infraestructura vial como las zonas urbanas aledañas. Dado que la carretera cruza la quebrada Los Cerezos y puede actuar como un obstáculo al paso del flujo, se sugiere evaluar y rediseñar las obras de drenaje existentes (puentes, alcantarillas u obras de cruce) para incrementar su capacidad hidráulica y permitir el paso seguro de caudales extraordinarios, reduciendo así el riesgo de embalses y desbordes que podrían ocasionar inundaciones sobre la vía.

Además, se recomienda realizar de manera periódica labores de limpieza y descolmatación en el cauce de la quebrada, con el objetivo de minimizar la acumulación de sedimentos que podría disminuir la sección hidráulica y aumentar el riesgo de desbordes, especialmente durante eventos asociados al Fenómeno El Niño.

Las áreas identificadas como de alta vulnerabilidad deben ser priorizadas en la planificación territorial. En estas zonas, se sugiere establecer regulaciones estrictas para controlar y, de ser necesario, restringir la expansión urbana, con el propósito de reducir el riesgo de pérdidas humanas y daños materiales ante eventos hidrológicos extremos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Hussein et al (2022). Análisis de inundaciones usando HEC-RAS y HEC-HMS: un estudio de caso del río Khazir (Oriente Medio—Norte de Irak). 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC30), 153–163. doi.org/10.24928 /2022/0118.

Álvarez G. & Moreno C. (2021). Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de Hec-Ras 2d en la zona urbana del río Piura. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Autoridad Nacional del Agua (2010). Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico.

Bernardo J. & Castro I. (2021) Herramientas geomáticas en el control de inundaciones y zonas de evacuación del río Puyango – Tumbes. Tesis para optar el título de Ingeniería Civil. Universidad Ricardo Palma.

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del riesgo de desastres – CENEPRED (2014). Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales.

Chavarry R. & Villanueva J. (2022). Estudio de inundabilidad bajo parámetros hidrológicos con cambio climático global, mediante modelación hidráulica. aplicada al río tumbes, tramo desde Higuerón hasta la desembocadura del Océano Pacífico. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Privada Antenor Orrego.

Chow et al. (1994). Hidrologia aplicada. McGraw-Hill.

ESRI (2016) *¿Qué son los datos ráster?* Environmental Systems Research Institute, Inc. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-rasterdata.htm>

Hidrología Superficial. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Martínez M. (2022). Estudio de la inundabilidad del río Badiel, zonas urbanas inundables con HEC-RAS u análisis de infiltración de las inundaciones. Máster universitario en hidrología y gestión de recursos hídricos. Universidad de Alcalá. Universidad Rey Juan Carlos

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2018), Manual de hidrología, hidráulica y drenaje.

Muñoz H. & Quinde F. (2021). Modelamiento Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada San Idelfonso para localizar áreas de inundación en Trujillo utilizando HEC-HMS y HEC-RAS. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Cesar Vallejo.

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2010), El costo humano de los desastres. Una mirada a los últimos 20 años 2000-2019. Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres CRED.

Olivares G. (2018). Determinación de zonas inundables mediante simulación hidráulica bidimensional aplicando HEC – RAS 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. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Piura.

Organization of American States (1993). Manual sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado. Oficina de

Asistencia para Desastres en el Extranjero Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

Oyola A. & Medina O. (2019). Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS, caso Zarumilla – 2018. Tesis para optar el título profesional de ingeniero agrícola. Universidad Nacional de Tumbes.

Quiñones J. & Huamán J. (2022). Ficha técnica referencial de identificación de zona vulnerable en el sector Corrales, en la quebrada Corrales, distrito Corrales, provincia y departamento de Tumbes. Autoridad Nacional del Agua. Ministerio de Desarrollo, Agrícola y Riego.

Rocha A. (2003). Hidráulica de tuberías y canales.

Santos C. (2022). Simulación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, distrito de San Francisco de Cayran – Huánuco – 2021. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad de Huánuco. Facultad de Ingeniería.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2019). Memoria Anual 2019.

Palacios J. (2024). Evaluación del riesgo por inundación en la subcuenca quebrada Corrales, Tumbes, 2023. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Tumbes.

Taledo I. & Noriega A. (2019), Vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente Bolsico para soportar caudales de crecidas extraordinarias del río Zarumilla – 2019. Tesis para optar el título de ingeniero agrícola. Universidad Nacional de Tumbes

US. Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center (2016). HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual. Version 5.0.

Vashist & Singh et al (2023). Modelado HECRAS 2D para mapeo de inundaciones: un estudio de caso de la cuenca del rio Krishna. Water Practice & Technology Vol 18 No 4, 831 doi: 10.2166/wpt.2023.048.

Villon M. (2019). Hidrología. MaxSoft. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Comité Regional de Recursos Hidráulicos.

Organización Meteorológica Mundial. (2009). Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation (WCDMP-No. 72, WMO-TD No. 1500).

Organización Meteorológica Mundial. (2017). Guía del Sistema Mundial de Observación (Edición de 2010, actualización de 2017). OMM-Nº 488.

Organización Meteorológica Mundial. (2020). Guía de prácticas hidrológicas. Volumen I: Hidrología – De la medición a la información hidrológica N.º 168.

USDA Natural Resources Conservation Service. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds (Technical Release 55).