Dirección de Investigación, Innovación y
Transparencia Tecnológica
Unidad de Repositorio Institucional

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL CASERIO GONCHA – BAGUA GRANDE OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE LA QUEBRADA GONCHA–AMAZONAS

TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Autores: **Bach. Brayan Morales Quispe**
Bach. Deivid Euler Diaz Tapia

Asesor: Msc. Marcos Antonio Gonzales Santisteban

Línea de investigación: LI_IC_03 Gestión y Tecnología

JAÉN – PERÚ

2026

Morales Quispe Brayan Y Diaz Tapia Deivid E.

ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL CASERIO GONCHA – BAGUA GRANDE OCASIONADO POR AVENIDAS EX...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3665003823

Fecha de entrega
30 sep 2026, 9:07 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
30 sep 2026, 9:16 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
a_-_Brayan_Morales_Quispe_-_Informe_-_DEIVID_EULER_DAZ_TAPIA.pdf

Tamaño del archivo
3.3 MB

132 páginas

32.155 palabras

154.775 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

Escaneado con CamScanner

5% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

4%	Fuentes de Internet
1%	Publicaciones
4%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

Escaneado con CamScanner

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 25 de setiembre del año 2026, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. José Luis Piedra Tineo

Secretario: Mg. Juan Alberto Contreras Moreto

Vocal: Mg. Billy Alexis Cayatopa Calderón, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

( ) Trabajo de Investigación

(X) Tesis

( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL CASERÍO GONCHA – BAGUA GRANDE OCASIONADA POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE LA QUEBRADA GONCHA – AMAZONAS,

presentado por los tesistas ***Brayan Morales Quispe y Deivid Euler Diaz Tapia,***
de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19, 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	( )
c)	Bueno	14, 15	(15)
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ò menos	( )

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Presidente

Secretario

Vocal

Escaneado con CamScanner

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

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS

Yo, Brayan Morales Quispe y Deivid Euler Díaz Tapia, egresados de la carrera Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificados con DNIs 75464203 y 76366820.

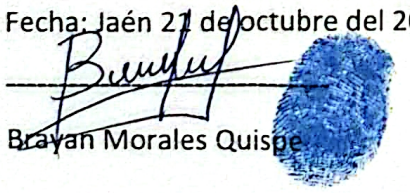
Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:
   "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL CASERIO GONCHA – BAGUA GRANDE OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE LA QUEBRADA GONCHA–AMAZONAS".
   Asesorado por Msc. Marcos Antonio Gonzales Santisteban.
   El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Civil.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén 21 de octubre del 2026.



Brayan Morales Quispe



Deivid Euler Díaz Tapia

Escaneado con CamScanner

ÍNDICE GENERAL

Pág.
RESUMEN V
ABSTRACT VI
I. INTRODUCCIÓN 7
1.1. Descripción de la realidad Problemática 7
1.2. Justificación 9
1.3. Hipótesis 9
1.4. Objetivos 10
1.4.1. Objetivo general 10
1.4.2. Objetivos específicos 10
1.5. Antecedentes de la investigación 11
1.5.1. Internacionales 11
1.5.2. Nacionales 13
1.5.3. Regional y/o Local 15
II. MATERIAL Y MÉTODOS 19
2.1. Ubicación 19
2.1.1. Ubicación política 19
2.1.2. Ubicación geográfica 19
2.2. Población, muestra y muestreo 21
2.2.1. Población 21
2.2.2. Muestra 21
2.2.3. Muestreo 21
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 21
2.3.1. Técnicas de recolección de datos 21
2.3.2. Instrumentos de recolección de datos 22
2.4. Métodos y tipo de investigación 22
2.4.1. Método 22
2.4.2. Tipos de investigación 22
2.5. Delimitación temporal 23
2.6. Procedimiento de recolección de datos 23
III. RESULTADOS 29

3.1. Recopilación y procesamiento de datos hidrometeorológicos, topográficos y cartográficos para la caracterización de la cuenca de la quebrada Goncha. 29
3.1.1. Datos hidrometereológicos 29
3.1.2. Topografía 32
3.1.3. Evaluación de información cartográfica 34
3.2. Cálculo los caudales de máximas avenidas mediante análisis de frecuencia estadística, utilizando datos de precipitación para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años. 37
3.3. Simulación del comportamiento hidráulico de la quebrada Goncha con el software HEC-RAS, para determinar los parámetros de inundación como la elevación de la lámina de agua, profundidades y velocidades de flujo para cada período de retorno. 39
3.3.1. Simulación en HEC-RAS para Tr = 2años 39
3.3.2. Simulación en HEC-RAS para Tr = 5años 42
3.3.3. Simulación en HEC-RAS para Tr = 10años 45
3.3.4. Simulación en HEC-RAS para Tr = 20años 48
3.3.5. Simulación en HEC-RAS para Tr = 50años 51
3.4. Generación de mapas de zonificación de áreas inundables en el caserío Goncha utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) como ArcGIS, con base en los resultados del modelamiento hidráulico. 54
3.5. Propuesta de medidas estructurales y no estructurales de prevención y/o mitigación en las áreas de inundación, fundamentadas en la zonificación y los resultados del estudio. 60
IV. DISCUSIÓN 63
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 68
5.1. Conclusiones 68
5.2. Recomendaciones 70
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72
AGRADECIMIENTO 77
DEDICATORIA 78
ANEXOS 79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Precipitaciones máximas diarias registradas en la estación El Pintor (1993-2022) 30
Tabla 2. Resumen de caudales máximos 37
Tabla 3. Características hidráulicas observadas en las secciones transversales de la quebrada Goncha para un Tr = 2 años 41
Tabla 4. Características hidráulicas observadas en las secciones transversales de la quebrada Goncha para un Tr = 5 años 44
Tabla 5. Características hidráulicas observadas en las secciones transversales de la quebrada Goncha para un Tr = 10 años 47
Tabla 6. Características hidráulicas observadas en las secciones transversales de la quebrada Goncha para un Tr = 20 años 50
Tabla 7. Características hidráulicas observadas en las secciones transversales de la quebrada Goncha para un Tr = 50 años 53
Tabla 8. Medidas estructurales de prevención y mitigación de areas de inundación en el caserío Goncha 60
Tabla 9. Medidas no estructurales de prevención y mitigación de areas de inundación en el caserío Goncha 61
Tabla 10. Medidas de respuesta y mitigación ante eventos extraordinarios 62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Política del proyecto 20
Figura 2. Reconocimiento y recopilación de información 24
Figura 3. Levantamiento topográfico 25
Figura 4. Recorrido de la cuenca 26
Figura 5. Precipitaciones máximas en un periodo de 24 horas - Dep.: Amazonas, Prov.: Utcubamba, Distrito: Bagua Grande 29
Figura 6. Área de influencia de la quebrada Goncha 31
Figura 7. Mapa topográfico de curvas de nivel 32
Figura 8. Modelo Digital de Elevación (DEM) del área de estudio 33
Figura 9. Mapa de ubicación geográfica 34
Figura 10. Parámetros formométricos de la cuenca 35
Figura 11. Caudales máximos de avenida según periodo de retorno 38
Figura 12. Perfil de inundación Tr=2 años 39
Figura 13. Simulación en 3D - Tr = 2 años 40
Figura 14. Perfil de inundación Tr=5 años 42
Figura 15. Simulación en 3D - Tr = 5 años 43
Figura 16. Perfil de inundación Tr=10 años 45
Figura 17. Simulación en 3D - Tr = 10 años 46
Figura 18. Perfil de inundación Tr=20 años 48
Figura 19. Simulación en 3D - Tr = 20 años 49
Figura 20. Perfil de inundación Tr=50 años 51
Figura 21. Simulación en 3D - Tr = 50 años 52
Figura 22. Simulación de inundación en un periodo de retorno de 2 años 55
Figura 23. Simulación de inundación en un periodo de retorno de 5 años 56
Figura 24. Simulación de inundación en un periodo de retorno de 10 años 57
Figura 25. Simulación de inundación en un periodo de retorno de 20 años 58
Figura 26. Simulación de inundación en un periodo de retorno de 50 años 59

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo zonificar las áreas inundables en el caserío Goncha, Bagua Grande, Amazonas, ocasionadas por avenidas extraordinarias de la quebrada Goncha. La metodología abarcó recopilación de datos hidrometeorológicos, topográficos y cartográficos; estimación de caudales de diseño; modelación hidráulica con HEC-RAS 6.4 y zonificación de áreas inundables en ArcGIS 10.8; finalmente, se plantearon medidas. Los resultados evidenciaron una microcuenca de área 0.69km², perímetro 3.62km, longitud del cauce de 1.61km y una pendiente media de 2.10%. El análisis hidrológico estimó caudales máximos de 1.643, 2.084, 2.377, 2.657 y 3.021m³/s para retornos de 2, 5, 10, 20 y 50 años. La modelación hidráulica evidenció un régimen de flujo subcrítico, sin desbordamientos y con velocidades máximas de 1.47m/s. La zonificación de inundación mostró profundidades entre 0.40 y 0.60m, concentradas principalmente en el corredor natural de la quebrada, sin afectaciones significativas. Entre las medidas estructurales a tomar son limpieza y descolmatación, protección localizada contra erosión y estabilización de taludes; y entre las no estructurales, zonificación del uso del suelo, monitoreo hidrometeorológico, sistema de alerta temprana, capacitación comunitaria y actualización de estudios hidrológicos e hidráulicos. Concluyó que la quebrada presenta capacidad suficiente para conducir caudales correspondientes, evidenciando un bajo nivel de inundación.

Palabras claves: Quebrada, Inundaciones, Máxima avenida y Tiempo de retorno

ABSTRACT

The objective of this research was to delineate flood-prone areas in the Goncha hamlet, Bagua Grande, Amazonas, caused by extraordinary flows in the Goncha stream. The methodology included the collection of hydrometeorological, topographic, and cartographic data; estimation of design flows; hydraulic modeling using HEC-RAS 6.4; and flood-prone area delineation using ArcGIS 10.8. Finally, mitigation measures were proposed. The results showed a micro-watershed with an area of 0.69 km², a perimeter of 3.62 km, a channel length of 1.61 km, and an average slope of 2.10%. The hydrological analysis estimated maximum discharges of 1.643, 2.084, 2.377, 2.657, and 3.021 m³/s for return periods of 2, 5, 10, 20, and 50 years, respectively. Hydraulic modeling indicated a subcritical flow regime, with no overflows and maximum velocities of 1.47 m/s. Flood-prone area delineation showed depths ranging from 0.40 to 0.60 m, concentrated mainly along the natural channel corridor, without significant impacts. The proposed structural measures included cleaning and sediment removal, localized erosion protection, and slope stabilization. Non-structural measures included land-use zoning, hydrometeorological monitoring, an early warning system, community training, and updating hydrological and hydraulic studies. It was concluded that the Goncha stream has sufficient capacity to convey the corresponding design discharges, indicating a low flood risk.

Keywords: Stream, Floods, Peak Discharge, Return Period.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción de la realidad Problemática

A nivel internacional las precipitaciones intensas que han afectado a diferentes ciudades del mundo, estas se destacan por causar serios daños a la infraestructura urbana, incluyendo calles, sistemas de drenaje pluvial y zonas habitacionales completas. Estas afectaciones provocan pérdidas económicas, materiales e incluso humanas (Duarte, 2021). Las inundaciones en varias ciudades es un fenómeno repetitivo debido a la falta de programas y medidas efectivas para mitigar estos eventos. Sus consecuencias afectan principalmente a la población y la infraestructura más susceptible, provocando graves daños a las personas, las comunicaciones, y la infraestructura urbana, rural e hidroagrícola. Además, impacta negativamente a la fauna y la flora, así como a diversas actividades económicas, y en casos extremos, puede resultar en la pérdida de vidas humanas (Cevallos, 2020).

En nuestro país, El fenómeno del Niño es un evento climático de gran escala que se manifiesta mediante un incremento periódico de la temperatura superficial del océano en la región central y oriental del Pacífico ecuatorial. Este calentamiento suele presentarse aproximadamente cada cinco años, principalmente entre los meses de diciembre y marzo. Sus efectos incluyen un aumento en la temperatura del aire, mayores niveles de precipitación y caudales fluviales, y, dependiendo de su intensidad, puede provocar lluvias intensas, inundaciones y deslizamientos de tierra (Chavez & Tucto, 2021). Las inundaciones repentinas son comunes en las montañas jóvenes, ya que estas aún presentan actividad tectónica y se caracterizan por tener pendientes pronunciadas y una alta tasa de erosión superficial. Además de las condiciones geológicas, las intensas temporadas de lluvia, especialmente en la estación de verano, son factores que provocan diversos peligros naturales. Las fuertes precipitaciones o tormentas pueden generar inundaciones graves en las zonas montañosas medias (entre 500 y 3,500 metros sobre el nivel del mar), mientras que el rápido deshielo de la nieve acumulada durante el invierno también contribuye a la ocurrencia de estas inundaciones(CENEPRED, 2014).

A nivel local los cambios climáticos han provocado un aumento en las precipitaciones pluviales causando que el caudal de los ríos o quebradas a se eleven significativamente. Este incremento en el volumen de agua provoca el desborde del río en

áreas agrícolas, zonas urbanas y la erosión de la carretera que conecta diferentes comunidades. Como resultado, se generan desastres ambientales, como la erosión de taludes y el desbordamiento del río (Santacruz, 2023).

Los sucesos ocasionados por una avenida extraordinaria nos brindan la oportunidad de contemplar nuestra realidad, ya que ninguna zona tanto en nuestro país como en nuestras ciudades y comunidades están debidamente preparadas para enfrentar dichos incidentes, así como nuestra zona de estudio que es la quebrada "Goncha" que pasa aledaño del caserío Goncha, de la ciudad de Bagua Grande capital de la provincia de Utcubamba - Amazonas. La quebrada de aproximadamente 10 km de largo recorrido tiene incrementos inesperados en su caudal la cual tendría una repercusión significativa en diversas áreas del caserío mencionado al ocurrir dichos eventos. Las inundaciones constituyen un impedimento considerable para el progreso social de las comunidades, afectando negativamente múltiples aspectos de la vida comunitaria.

Ante esta problemática mencionada nos planteamos la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las zonas de áreas inundables en el caserío de Goncha-Bagua Grande ocasionadas por avenidas extraordinarias de la quebrada Goncha – Amazonas?

1.2. Justificación

Esta investigación se justifica socialmente porque al realizar el estudio a la quebrada Goncha permitió garantizar mayor seguridad a la población mediante medidas de prevención o mitigación salvaguardando así la vida de las personas. Este estudio se realizó para que se pueda delimitar las zonas según su nivel de inundación y proporcionar información útil a las autoridades para la toma de decisiones frente a estos eventos.

Esta investigación es esencial, porque permitió identificar con precisión las zonas inundables del caserío Goncha mediante el uso de herramientas avanzadas de modelado hidrológico e hidráulico, como el software HEC-RAS. El estudio sirve para que se brinde información clave para optimizar la planificación territorial y la ejecución de obras de infraestructura hidráulica, contribuyendo así a una mejor gestión de inundaciones.

Económicamente, la zonificación de las áreas inundables es crucial porque permitió prevenir pérdidas significativas en infraestructura, agricultura y bienes materiales, las cuales se traducen en altos costos para la población y las autoridades locales. Además, permite planificar inversiones más seguras y sostenibles en la zona.

1.3. Hipótesis

Las zonas de áreas inundables en el caserío de Goncha-Bagua Grande ocasionadas por avenidas extraordinarias de la quebrada Goncha – Amazonas, son extensas

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Zonificar áreas inundables en el caserío Goncha – Bagua grande ocasionado por avenidas extraordinarias de la quebrada Goncha – Amazonas

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar y procesar datos hidrometeorológicos, topográficos y cartográficos para la caracterización de la cuenca de la quebrada Goncha.

- Calcular los caudales de máximas avenidas mediante análisis de frecuencia estadística, utilizando datos de precipitación para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años.

- Simular el comportamiento hidráulico de la quebrada Goncha con el software HEC-RAS, para determinar los parámetros de inundación como la elevación de la lámina de agua, profundidades y velocidades de flujo para cada período de retorno.

- Generar mapas de zonificación de áreas inundables en el caserío Goncha utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) como ArcGIS, con base en los resultados del modelamiento hidráulico.

- Proponer medidas estructurales y no estructurales de prevención y/o mitigación en las áreas de inundación, fundamentadas en la zonificación y los resultados del estudio.

1.5. Antecedentes de la investigación

1.5.1. Internacionales

Falconi (2024) En su investigación tuvo como objetivo identificar las zonas expuestas de la cuenca del río Yanayacu a inundaciones mediante el uso de un modelo matemático que considera variables morfométricas, hidrometeorológicas e hidrológicas. La metodología utilizada incluyó la caracterización morfométrica, hidrometeorológica e hidrológica de la cuenca, seguida del modelamiento matemático para estudiar el comportamiento de la cuenca y la evaluación de las zonas expuestas a inundación a través de mapas de vulnerabilidad. La investigación permitió identificar las zonas de mayor riesgo de inundación en la cuenca del río Yanayacu, afectando principalmente la parte baja de Latacunga. Los eventos hidrológicos con tiempos de retorno de 25 a 100 años evidencian un flujo crítico que genera inundaciones en áreas urbanas específicas. Por ello, se concluye que es necesario implementar medidas preventivas para proteger a la población y la infraestructura frente a estos riesgos.

Dorta et al. (2024) en su estudio tuvo como objetivo identificar áreas urbanas propensas a inundaciones repentinas: El caso de Santa Cruz de Tenerife. La metodología consistió en la recopilación de información hidrometeorológica, cartográfica y registros históricos de eventos de inundación, complementados con la identificación de puntos críticos previamente inventariados en los instrumentos de planificación territorial. Posteriormente, se realizó la caracterización de las precipitaciones extremas y la estimación de los caudales máximos asociados a eventos de lluvia extraordinarios. Con esta información se efectuó la modelación hidrológica e hidráulica del área de estudio, simulando el comportamiento del flujo y la extensión de las inundaciones. Los resultados mostraron que los caudales máximos estimados oscilaron entre 500 y 1600 m^3/s, evidenciando la magnitud de los eventos hidrológicos extremos que pueden afectar el área de estudio. Asimismo, se aplicó una tormenta de diseño de 288 mm para la simulación de escenarios de inundación, cuyos resultados fueron contrastados con el evento extremo ocurrido el 31 de marzo de 2002. Se concluyó que la combinación de la modelación hidrológica e hidráulica con el análisis espacial de los puntos críticos de inundación constituye una metodología eficaz para identificar y delimitar áreas susceptibles a inundaciones en entornos urbanos.

Tenesaca et al. (2024) en su artículo tuvo como fin realizar la modelación hidrológica e hidráulica para la identificación de zonas de inundación en la quebrada Las Abras, Riobamba. La metodología consistió en recopilar datos de precipitaciones máximas, posteriormente, se realizó la modelación hidrológica mediante HEC-HMS para estimar caudales máximos y la modelación hidráulica con HEC-RAS para simular el flujo y evaluar las condiciones de inundación en la zona de estudio. Finalmente, se analizaron los resultados. Los resultados evidenciaron que la quebrada posee un área de drenaje de 50,40 km^2 y un perímetro de 44,55 km, con un Número de Curva (CN) de 61,09. Asimismo, se determinó que el cauce principal presenta una longitud de 26,40 km y una pendiente media de 0,03 m/m. El análisis hidrológico permitió estimar un caudal máximo de 5,40 m^3/s para un período de retorno de 50 años. Por su parte, la modelación hidráulica mostró velocidades máximas de flujo de hasta 3,00 m/s y profundidades de inundación de hasta 2,29 m en los sectores más críticos, evidenciando condiciones favorables para la ocurrencia de inundaciones. Se concluyó que la quebrada Las Abras presenta un alto riesgo de inundación debido a la combinación de sus características hidrológicas, hidráulicas y topográficas.

Cisneros y Granja (2023) en su tesis, plantearon como objetivo evaluar el riesgo de inundaciones en seis barrios del sur de Quito, analizando la vulnerabilidad de la población. La metodología incluyó la recolección de datos mediante encuestas a 300 habitantes y la elaboración de mapas utilizando el software ArcGIS para identificar zonas de riesgo. Los resultados mostraron que los barrios más afectados por inundaciones fueron La Mena y Solanda, con factores como el mal estado de las alcantarillas y la falta de planificación urbana. La investigación evidenció que los seis barrios del sur de Quito presentan un alto nivel de vulnerabilidad y riesgo a inundaciones, principalmente por factores antrópicos y el mal estado de las redes de alcantarillado. La percepción de la población sobre el riesgo es limitada, y existe poca capacitación y desconocimiento de planes de evacuación. Mediante el uso de mapas SIG y encuestas, se identificaron zonas susceptibles, evidenciando la necesidad urgente de estrategias comunitarias y políticas públicas para la reducción de vulnerabilidad y fortalecimiento de la resiliencia ante futuros eventos.

Soto (2022) en su investigación tuvo como objetivo analizar los factores causales y las afectaciones que producen las inundaciones en la administración Zonal Quitumbe, ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito, durante el periodo de enero a junio de 2021.

La metodología empleada fue de tipo bibliográfica, con un enfoque descriptivo y sistemático, mediante la revisión de documentos y artículos científicos relacionados con el riesgo de inundaciones en la zona. Se utilizaron estaciones meteorológicas para obtener datos sobre precipitaciones, y se identificaron áreas susceptibles a inundaciones a través de mapas de riesgo. Como resultado, se observó que las precipitaciones más intensas se registraron en los meses de marzo y abril, lo que provocó inundaciones significativas, afectando viviendas, infraestructura y bienes públicos. Se concluyó que las principales causas de las inundaciones fueron el mal uso del suelo, la falta de planificación urbana adecuada y la acumulación de basura en los sumideros, lo que aumentó la vulnerabilidad de las zonas afectadas. La investigación subraya la necesidad urgente de implementar políticas de gestión de riesgos y mejorar la infraestructura de drenaje en la zona para mitigar los impactos futuros de las inundaciones.

Willys (2021) en su investigación, el objetivo principal del trabajo es identificar las áreas de riesgo por inundaciones en donde se encuentra el mayor escurrimiento que alimentan al rio de Tijuana por medio de modelos digitales para encontrar una proyección de daños sociales. El estudio utiliza modelos de inundación unidimensionales y bidimensionales como HEC-RAS (para flujos constantes) y otros modelos como MIKE 21. Se emplea una variedad de métodos que varían en complejidad para representar las áreas afectadas por escurrimientos pluviales. El modelo de inundación generado indica que una superficie aproximada de 8072 hectáreas del área urbana de Tijuana estaría afectada por un periodo de retorno de 25 año. Se concluyó que en Tijuana aumenta significativamente el riesgo de inundaciones, afectando hasta el 10% del área urbana en eventos históricos. Modelos digitales muestran que más del 50% del desarrollo se encuentra en zonas vulnerables. Los fenómenos hidrometeorológicos generan el 96% de los daños económicos anuales en México. La falta de políticas claras incrementa la exposición y vulnerabilidad de la población.

1.5.2. Nacionales

De acuerdo con Araujo (2024) en su investigación, el objetivo principal fue determinar el nivel de riesgo por inundación fluvial en el centro poblado San Juan de la Virgen. La metodología empleada incluyó el cálculo de los niveles de peligro y vulnerabilidad empleando el método jerárquico fundamentado en las matrices de Saaty. Los

resultados indicaron que la zona estudiada presenta un nivel de peligro muy alto, con valores entre 0.261 y 0.394, y una vulnerabilidad muy alta con un rango entre 0.239 y 0.468. En conclusión, se identificó un riesgo muy alto para la zona, con rangos que oscilan entre 0.062 y 0.184, lo que indica una alta susceptibilidad a futuros eventos de inundación fluvial.

Pacherres (2023) en su tesis, tuvo como objetivo evaluar el nivel de riesgo de inundación fluvial en el centro poblado de San Jacinto. La metodología empleada incluyó análisis estadísticos e hidráulicos, utilizando caudales máximos del río Tumbes y simulaciones con el programa Iber, junto con el método de jerarquización de datos o matrices de Saaty para evaluar los grados de peligrosidad y vulnerabilidad. Los resultados indicaron un nivel de peligrosidad muy alto y un riesgo elevado en el área de estudio, debido a un caudal máximo de 3918,1 m^3/s. Se concluyó que el centro poblado de San Jacinto presenta un alto nivel de vulnerabilidad ante inundaciones fluviales, lo que requiere medidas preventivas estructurales y no estructurales.

De acuerdo con Torrico (2022) en su investigación, el objetivo principal fue estimar las zonas inundables en estos sectores del río Tumbes. Para ello, se utilizó una metodología cuantitativa-descriptiva aplicando imágenes satelitales DEM, caudales máximos registrados los últimos 57 años, y software especializado como HIDROESTA 2 y HEC-RAS para simular los caudales y delimitar las áreas agrícolas afectadas. Los resultados indicaron caudales máximos para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, con áreas inundadas que variaron entre 373,228 ha y 395,637 ha. En conclusión, el estudio permitió identificar las zonas agrícolas susceptibles a inundaciones, brindando información clave para futuras infraestructuras de protección.

Gonzales (2022) en su investigación, tuvo como objetivo determinar las zonas vulnerables a inundaciones en el Distrito de El Porvenir. La metodología utilizada fue de enfoque mixto con alcance descriptivo, basándose en la recopilación y análisis de datos hidrometeorológicos y topográficos mediante el uso de software especializado como ArcGIS. Los resultados indicaron que las áreas más vulnerables se encuentran en zonas de baja altitud y con menor capacidad de drenaje, con un alto riesgo de inundación durante periodos de lluvias intensas. Se concluyó que el nivel de riesgo de inundación de la quebrada San Idelfonso, ubicada en el Distrito de El Porvenir, es alto, con un valor de 0.052 conforme al intervalo establecido en la matriz de riesgo. Se recomendó la implementación de un

sistema de alerta temprana, así como la optimización de la infraestructura de drenaje para reducir los riesgos asociados.

Davila (2022) en su investigación, tuvo como objetivo determinar la relación entre las políticas de reducción de vulnerabilidad y su impacto en las inundaciones por desborde del río Lurín en el Asentamiento Humano El Olivar. La metodología utilizada fue de enfoque mixto, empleando tanto análisis cualitativo como cuantitativo. Los resultados obtenidos mostraron que la eficiencia de las políticas de vulnerabilidad es regular, con un valor promedio de 2.32 en la escala utilizada. Los resultados revelan que las políticas actuales de reducción de vulnerabilidad en el Asentamiento Humano El Olivar tienen una incidencia significativa y negativa sobre el impacto de las inundaciones por desborde del río Lurín, evidenciando una correlación inversa moderada (Rho = -0.384). Esto indica que, a mayor eficiencia en la aplicación de dichas políticas, menor es el impacto social, económico y ambiental de las inundaciones.

Bernardo y Velasquez (2021) en su investigación, el objetivo principal es analizar los riesgos integrales asociados a las inundaciones urbanas y proponer estrategias de mitigación. Mediante la integración de ArcGIS y SIG con tecnología geomática, se puede llevar a cabo el análisis integral del riesgo de inundación. La investigación utiliza un enfoque deductivo y descriptivo. Emplea métodos de recopilación de datos que incluyen análisis de precipitación. Los hallazgos incluyen un análisis detallado de las áreas propensas a inundaciones y una propuesta de un plan de mitigación para reducir los riesgos asociados con las inundaciones urbanas. La investigación evaluó el riesgo de inundación por el río Lurín en Cieneguilla utilizando herramientas geomáticas, identificando un nivel alto de vulnerabilidad y riesgo. Se determinaron zonas críticas y viviendas afectadas, proponiendo medidas de mitigación y un sistema de alerta temprana. Los resultados destacan la importancia de integrar tecnología espacial para la gestión y prevención de desastres. Así, este antecedente valida la aplicación de metodologías innovadoras en el análisis de riesgos urbanos.

1.5.3. Regional y/o Local

Rodríguez (2024) tuvo como fin zonificar áreas inundables en el centro poblado El Arroyo ocasionado por avenidas extraordinarias del río La Quispa–Cajamarca. La

metodología consistió en realizar trabajo de campo para identificar evidencias de inundaciones, seguido mediante simulaciones hidráulicas en el software Iber se determinó el caudal que originó dicha inundación. Asimismo, se aplicó el método Racional Modificado utilizando información de precipitación de la estación meteorológica La Encañada para estimar los caudales asociados a diferentes períodos de retorno. Finalmente, se efectuó la modelación hidráulica. Los resultados determinaron que la huella hídrica observada fue generada por un caudal de 170.21 m³/s, asociado a un tiempo de retorno aproximado de 160 años. Asimismo, el caudal seleccionado para el modelamiento hidráulico fue de 175.61 m³/s, correspondiente a un período de retorno de 200 años. La simulación hidráulica mostró tirantes máximos de 3.36 m y velocidades máximas de flujo de 7.44 m/s. Además, se identificaron áreas con peligrosidad alta, media y baja, cuyas extensiones alcanzaron 2.43 ha, 2.56 ha y 2.85 ha, respectivamente. Se concluyó que el centro poblado El Arroyo presenta una importante susceptibilidad frente a inundaciones ocasionadas por avenidas extraordinarias del río La Quispa.

Dávila (2024) investigó el nivel de riesgo por inundación en la Institución Educativa I.E.I.P.S.M. Juan Blas Valera, ubicada en la margen izquierda del río Utcubamba en Amazonas. El objetivo fue evaluar el riesgo de inundación mediante la caracterización hidrológica y simulación del caudal máximo de avenida para determinar peligro, vulnerabilidad y riesgo. Se empleó un enfoque descriptivo con análisis hidrológico de la cuenca, simulación hidráulica con el software HEC-RAS y evaluación del riesgo basada en la metodología propuesta por CENEPRED, usando matrices de ponderación para peligro y vulnerabilidad. Los resultados mostraron un caudal máximo simulado de 409 m³/s que inundó la institución educativa, ubicándola en un nivel de riesgo muy alto. Por lo tanto, se concluyó que la institución está altamente expuesta a inundaciones, justificando la necesidad de medidas preventivas y de gestión de riesgos.

Chilcon (2023) en su tesis tuvo como objetivo determinar las zonas susceptibles a inundaciones por avenidas máximas en la ciudad de Bagua Grande. Para ello, empleó un enfoque cuantitativo mediante modelación hidráulica usando software especializado como HEC-RAS, apoyado por levantamientos topográficos con drone y análisis estadístico de datos pluviométricos históricos. Los resultados indicaron que un evento extraordinario ocurrido el 30 de marzo de 2015 tuvo un caudal máximo estimado en 141.63 m³/s con un periodo de retorno de 135 años, afectando zonas urbanas con profundidades de inundación

entre 0.10 m y 0.95 m y velocidades de flujo entre 0.1 m/s y 13.16 m/s, impactando un área total aproximada de 58,441.68 m². Por lo tanto, se concluyó que la identificación precisa de las áreas inundables y las características hidrodinámicas permiten proponer medidas de mitigación adecuadas para reducir el riesgo a la población y promover un desarrollo urbano más seguro.

Jhonatan (2023) en su investigación, tuvo como objetivo estimar el riesgo de inundación generado por el río Marañón. La metodología utilizada fue un enfoque cuantitativo y no experimental, empleando el software HEC-RAS para el modelamiento hidráulico. Los resultados mostraron que el nivel de riesgo es muy alto, con un valor de 0.80 y un área de riesgo de inundación de 14,790.191 m². Los estudios revisados coinciden en que la faja marginal del río Marañón en la localidad de Cumba presenta un nivel muy alto de riesgo por inundación, con un valor de vulnerabilidad física de 0.80. Concluye en que las áreas urbanas cercanas al río están expuestas a inundaciones significativas, especialmente para periodos de retorno mayores a 10 años, afectando viviendas y generando potenciales desastres. Es indispensable la implementación de planes de prevención y ordenamiento territorial para reducir el impacto de futuras crecidas del río.

Paredes (2023) en su estudio que tuvo como fin evaluar el nivel de riesgo de inundación por la quebrada Tumbillan en la localidad de Bellavista viejo de la provincia de Jaén, región Cajamarca. La metodología consistió en recopilar información mediante fichas técnicas, encuestas a los pobladores y datos de precipitación máxima en 24 horas obtenidos del SENAMHI. Posteriormente, se realizó un modelamiento hidrológico con un hidrograma unitario con un período de retorno de 200 años y un modelamiento hidráulico bidimensional de flujo no permanente utilizando el software HEC-RAS y evaluar el peligro de inundación, así como la vulnerabilidad de la población a través de encuestas aplicadas a 30 viviendas. Los resultados determinaron que las áreas más vulnerables se localizan en la margen izquierda de la quebrada Tumbillán, afectando principalmente parcelas agrícolas y viviendas. Los tirantes de agua superaron los 1,50 m de altura, provocando el desborde de la quebrada en gran parte de la localidad. Se concluyó que la localidad de Bellavista Viejo presenta un nivel de riesgo de inundación muy alto debido a la combinación de un peligro elevado y una alta vulnerabilidad de la población.

Dilas (2022) en su estudio tuvo como fin identificar áreas Inundables por la Quebrada Huertas en la Zona Urbana de la localidad de Chilete, Cajamarca-2021. La metodología consistió en recopilar y procesar información pluviométrica proveniente de las estaciones meteorológicas, posteriormente, mediante el método del Número de Curva (SCS) y el uso del software HEC-HMS, se generaron hidrogramas que permitieron estimar los caudales máximos de avenida, finalmente, mediante herramientas SIG en QGIS y ArcGIS, se elaboró la zonificación de las áreas inundables en la zona urbana del distrito de Chilete. Los resultados mostraron que la zona urbana de Chilete presenta un bajo nivel de inundación frente a las avenidas máximas de la quebrada Huertas. Para un período de retorno de 50 años se identificó el inicio del desborde del cauce, determinándose un área de inundación de 4 546.92 m² con intensidad muy alta, 29 508.40 m² con intensidad alta, 9 293.72 m² con intensidad media y 58 032.20 m² con intensidad baja. Se concluyó que la aplicación de modelos hidrológicos e hidráulicos permitió identificar y zonificar las áreas inundables de la zona urbana del distrito de Chilete; aunque el área de estudio presenta predominantemente niveles bajos de inundación, existen sectores específicos expuestos a intensidades altas y muy altas para período de retorno de 50 años.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación

2.1.1. Ubicación política

- Caserío: Goncha
- Distrito: Bagua Grande
- Provincia: Bagua Grande
- Departamento: Amazonas

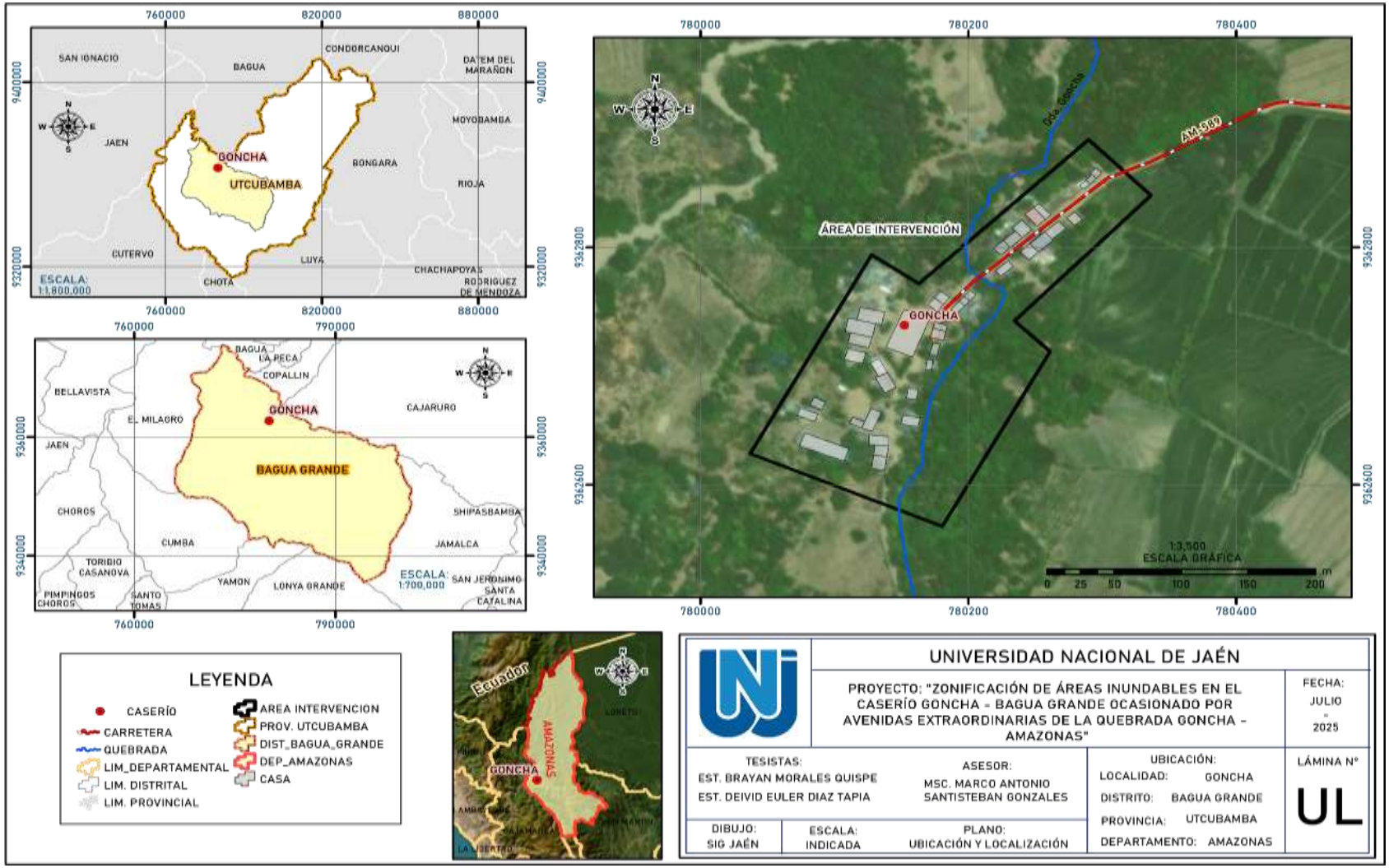
2.1.2. Ubicación geográfica

Como coordenadas UTM Datum WGS 84, zona 17 S en los puntos extremos del area de estudio se obtiene:

- Punto inicio: 780026.136 E; 9361995.567 N
- Punto final: 780278.381 E; 9362992.818 N
- Latitud: -5.759159°
- Longitud: -78.470166°

Figura 1.

Ubicación Política del proyecto



Nota. La figura muestra la zona de estudio para la evaluación de inundaciones, y el enfoque principal es el río Goncha y la quebrada Goncha, para identificar las áreas que podrían inundarse debido a la crecida de estos dos cuerpos de agua. Fuente: Elaboración propia.

En la vista detallada de la derecha, se puede ver cómo el río y la quebrada fluyen cerca del caserío. La línea negra que delimita el área de intervención o de estudio está dibujada precisamente para incluir la quebrada y las zonas aledañas al río que están en la zona de inundación, también se identifican viviendas y carreteras en esa área, lo que permite identificar qué infraestructura y viviendas están directamente expuestas a los efectos de una inundación provocada por el desbordamiento.

2.2. Población, muestra y muestreo

2.2.1. Población

Para esta investigación la población en donde se realizó el estudio corresponde a 10km de la quebrada Goncha – Bagua Grande - Amazonas

2.2.2. Muestra

Para este proyecto, la muestra lo conforma un tramo de la quebrada Goncha; georrefenciado con sus coordenadas UTM:

- Punto inicio: 780026.136 E; 9361995.567 N
- Punto final: 780278.381 E; 9362992.818 N

La quebrada cruza por el caserío de Goncha.

2.2.3. Muestreo

El muestreo fue no probabilístico, puesto que la muestra se tomó en función a principios propios del investigador.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.3.1. Técnicas de recolección de datos

- **Observación:** Se realizó un análisis físico de la quebrada, mediante el cual se evaluó sus características hidrológicas y geomorfológicas, así como la identificación de evidencias históricas de máximas avenidas.

- **Revisión documental:** Información cartográfica, topográfica e hidrometeorológica proveniente de entidades como el SENAMHI.

2.3.2. Instrumentos de recolección de datos

- **Modelacion hidraulica e hidrologica:** Para la modelacion del comportamiento del flujo en eventos extremos se utilizó el software HEC-RAS. HEC-RAS es un software para modelar el flujo de agua en sistemas de ríos y canales. Este programa es ampliamente utilizado en ingeniería hidráulica e hidrología para simular el comportamiento de corrientes y cuerpos de agua, permitiendo a los ingenieros y científicos realizar análisis detallados de flujo y transporte de sedimentos.

- **Análisis espacial con SIG:** Se utilizó el software ArcGIS para la elaboración de mapas temáticos y análisis geográfico.

2.4. Métodos y tipo de investigación

2.4.1. Método

La investigación se desarrolló mediante el método deductivo, debido a que se aplicaron principios, teorías y modelos hidrológicos e hidráulicos previamente establecidos para analizar el comportamiento de las avenidas extraordinarias de la quebrada Goncha y determinar las áreas inundables en el caserío Goncha. Asimismo, se empleó un enfoque cuantitativo basado en el procesamiento de datos hidrometeorológicos, el análisis estadístico de frecuencias y la modelación hidráulica mediante HEC-RAS para la elaboración de mapas de zonificación de inundaciones.

2.4.2. Tipos de investigación

El estudio es aplicado, porque busca resolver un problema real: identificar y zonificar las áreas inundables del caserío Goncha y apoyar la planificación territorial.

Cuantitativo, porque trabaja con datos numéricos de precipitación, caudales, profundidades, velocidades de flujo, áreas inundables y períodos de retorno, que son analizados mediante modelos matemáticos e hidráulico

No experimental, porque no manipulas deliberadamente ninguna variable ni realizas ensayos controlados. Solo recopilas información existente y desarrollas simulaciones mediante HEC-RAS y SIG para representar el comportamiento de las inundaciones.

2.5. Delimitación temporal

La presente investigación se desarrolló durante en los meses enero a mayo del año **2025**, considerando información hidrometeorológica histórica proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la información topográfica levantada durante el trabajo de campo realizado en el tramo de estudio de la quebrada Goncha. El análisis hidrológico e hidráulico se efectuó para eventos de diseño correspondientes a períodos de retorno de **2, 5, 10, 20 y 50 años**, por lo que los resultados obtenidos representan las condiciones existentes durante el período de ejecución de la investigación.

2.6. Procedimiento de recolección de datos

a. Recopilación y procesamiento de datos hidrometeorológicos, topográficos y cartográficos para la caracterización de la cuenca de la quebrada Goncha.

Para la caracterización de la cuenca de la quebrada Goncha, inicialmente se realizó un reconocimiento físico de la zona de estudio, identificándose el tramo de la quebrada que atraviesa el caserío Goncha y los elementos expuestos ubicados en sus márgenes. Durante esta etapa se efectuó el levantamiento topográfico utilizando una estación total, dos prismas, GPS y wincha, obteniéndose información planimétrica y altimétrica del cauce y de las áreas potencialmente afectadas.

Figura 2.

Reconocimiento y recopilación de información



Nota. La figura muestra el reconocimiento de campo realizado en un tramo de la quebrada Goncha, con el propósito de identificar las condiciones geomorfológicas e hidráulicas del cauce. Se observa un cauce de régimen natural con flujo superficial de baja profundidad, presencia de material aluvial compuesto por gravas, cantos rodados y sedimentos, así como vegetación ribereña en una de las márgenes. Asimismo, se evidencia la proximidad de viviendas al cauce, condición que fue considerada durante la evaluación por inundación. La información obtenida durante esta inspección permitió seleccionar los puntos de levantamiento topográfico, identificar las características del cauce y verificar las condiciones reales utilizadas posteriormente en el modelamiento. Fuente: Elaboración propia.

El levantamiento (ver anexo 1) se realizó mediante secciones transversales espaciadas cada 50 m a lo largo del tramo de estudio, las cuales fueron georreferenciadas mediante coordenadas UTM para su posterior integración en los modelos hidráulicos y sistemas de información geográfica. Asimismo, se registraron las características físicas de la quebrada, las viviendas cercanas al cauce, áreas agrícolas, vías de acceso y demás elementos expuestos, complementando la información con fotografías georreferenciadas tomadas en campo.

Figura 3.

Levantamiento topográfico



Nota. La figura muestra la ejecución del levantamiento topográfico realizado en la carretera de acceso al caserío Goncha, distrito de Cajaruro, provincia de Utcubamba, Amazonas. Se observa la instalación de una estación total sobre trípode, operada por el equipo técnico encargado de registrar las coordenadas y cotas del terreno. Esta información constituyó la base para la generación del modelo digital del terreno y la definición de las secciones transversales empleadas en el modelamiento hidráulico de la quebrada. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, en gabinete, se procesó la información topográfica obtenida y se recopiló información hidrometeorológica proveniente de la estación meteorológica El Pintor, proporcionada por el SENAMHI. Asimismo, se empleó información cartográfica obtenida del Instituto Geográfico Nacional (IGN), imágenes satelitales y planos topográficos. Mediante ArcGIS se elaboraron las curvas de nivel, se delimitó la cuenca hidrográfica y se generó el Modelo Digital de Elevación (DEM), permitiendo determinar los principales parámetros morfométricos e hidrológicos de la cuenca.

Figura 4.

Recorrido de la cuenca



Nota. La figura muestra el recorrido de reconocimiento permitió verificar en campo las condiciones físicas de la cuenca y del cauce principal, observándose una pendiente longitudinal moderada, un cauce de sección irregular con márgenes naturales y la presencia de vegetación ribereña. Estas observaciones complementaron el cálculo de los parámetros morfométricos, tales como el área, perímetro, longitud del cauce principal, pendiente media, densidad de drenaje y relieve de la cuenca, obtenidos mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Fuente: Elaboración propia.

b. Máximas avenidas mediante análisis de frecuencia estadística, utilizando datos de precipitación para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años.

A partir de los registros históricos de precipitaciones máximas diarias obtenidos de la estación meteorológica El Pintor, se realizó el análisis estadístico de frecuencia para determinar las precipitaciones de diseño asociadas a diferentes períodos de retorno (ver anexo 2). Para ello se aplicaron las distribuciones de probabilidad Gumbel, Log Gumbel, Normal, Log Normal, Pearson y Log Pearson Tipo III. Posteriormente, se evaluó el ajuste de cada distribución mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, seleccionándose la distribución que presentó el mejor comportamiento estadístico para la estimación de eventos extremos. Con los resultados obtenidos se elaboraron las curvas

Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), determinándose las intensidades máximas de precipitación para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años. Finalmente, mediante el software HidroEsta V2 y la aplicación del método racional, se calcularon los caudales máximos de avenida correspondientes a cada escenario hidrológico analizado.

c. Comportamiento hidráulico de la quebrada Goncha con el software HEC-RAS, para determinar los parámetros de inundación

Para la modelación hidráulica se utilizó el software HEC-RAS versión 6.4 (ver anexo 3). Inicialmente se incorporó la información topográfica obtenida mediante el levantamiento de campo y el Modelo Digital de Elevación generado en ArcGIS. Posteriormente, se definieron las secciones transversales, geometría del cauce y condiciones hidráulicas necesarias para representar adecuadamente el comportamiento de la quebrada Goncha.

Seguidamente, se ingresaron los caudales máximos obtenidos para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años, ejecutándose las simulaciones hidráulicas correspondientes para cada escenario. Como resultado se obtuvieron los perfiles de flujo, niveles de la lámina de agua, profundidades máximas, velocidades de flujo y anchos de inundación, permitiendo evaluar el comportamiento hidráulico de la quebrada frente a eventos extraordinarios.

d. Mapas de zonificación en las areas de inundación en el caserío Goncha utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) como ArcGIS

Una vez obtenidos los resultados de la modelación hidráulica en HEC-RAS (ver figura 22 a la figura 26), estos fueron exportados e integrados al entorno SIG mediante el software ArcGIS. Posteriormente, se procesaron las capas de información correspondientes a profundidades de inundación, velocidades de flujo y extensión de las áreas potencialmente inundables para cada período de retorno analizado. Seguidamente, se elaboraron mapas temáticos que permitieron representar espacialmente las condiciones de inundación en el caserío Goncha. Con base en los parámetros hidráulicos obtenidos se delimitaron las áreas susceptibles a inundación y se realizó la zonificación según los niveles de peligrosidad identificados. Finalmente, se elaboró el mapa de zonificación de áreas inundables del caserío Goncha, constituyéndose en una herramienta técnica para la gestión de las inundaciones, planificación territorial y formulación de medidas preventivas frente a futuras avenidas extraordinarias de la quebrada.

e. Medidas estructurales y no estructurales de prevención y/o mitigación del área de inundación

De la evaluación del nivel de inundación a partir de los resultados de la zonificación obtenida, verificándose que la quebrada Goncha mantiene la capacidad de conducción de los caudales simulados para períodos de retorno de hasta 50 años, sin generar desbordes ni afectar las áreas circundantes. Con base en los resultados obtenidos, se formularon medidas estructurales y no estructurales (ver anexo 4), tales como la zonificación del uso del suelo en áreas cercanas al cauce, además se proponen acciones de mantenimiento y limpieza del cauce para garantizar su adecuada capacidad hidráulica y prevenir posibles obstrucciones que pudieran alterar su comportamiento natural.

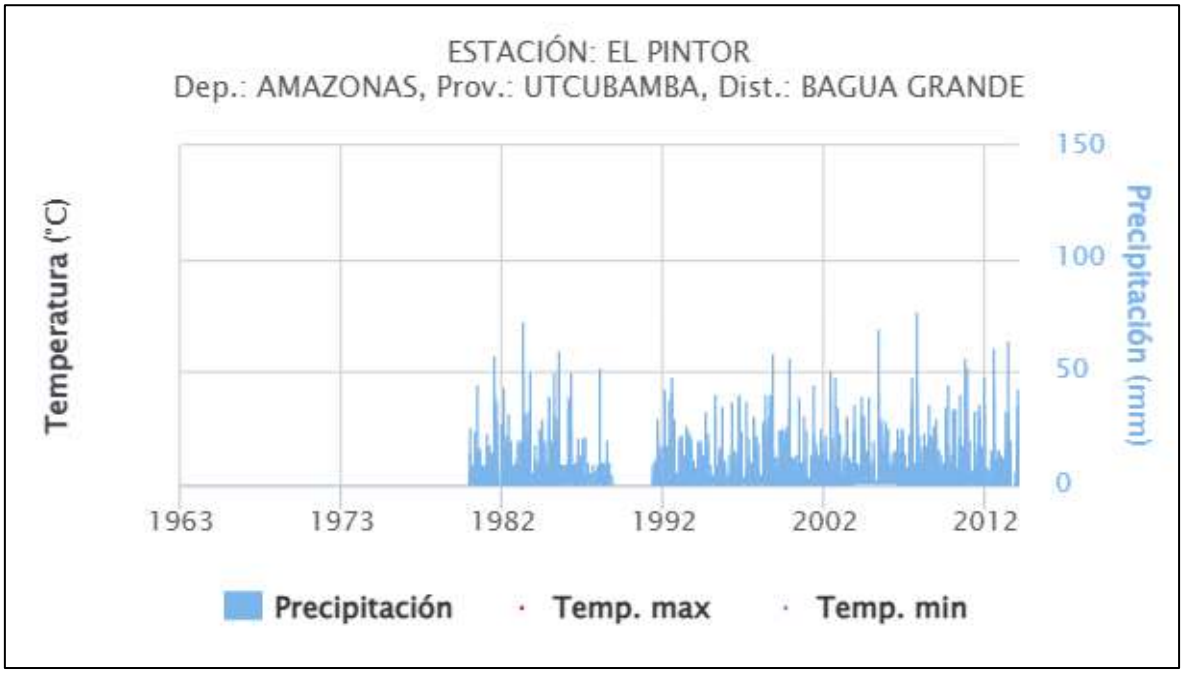
III. RESULTADOS

3.1. Recopilación y procesamiento de datos hidrometeorológicos, topográficos y cartográficos para la caracterización de la cuenca de la quebrada Goncha.

3.1.1. Datos hidrometereológicos

Para obtener la información hidrometeorológica se ha recolectado datos históricos de la fuente principal senamhi.

Figura 5.
Precipitaciones máximas en un periodo de 24 horas - Dep.: Amazonas, Prov.: Utcubamba, Distrito: Bagua Grande



Nota. Variación histórica de las precipitaciones máximas en 24 horas y de las temperaturas máxima y mínima registradas en la estación El Pintor, distrito de Bagua Grande, provincia de Utcubamba. Fuente: Senamhi (2012).

La figura 5, muestra los picos de precipitación diaria en la zona de Bagua Grande, Amazonas, desde 1963 hasta 2012, la información es vital para el estudio de inundaciones, ya que revela la frecuencia y la intensidad de las lluvias extremas que causan la crecida del río Goncha y la quebrada Goncha, descan periodos con lluvias particularmente fuertes en los años 80 y 2000.

Tabla 1.

Precipitaciones máximas diarias registradas en la estación El Pintor (1993-2022)

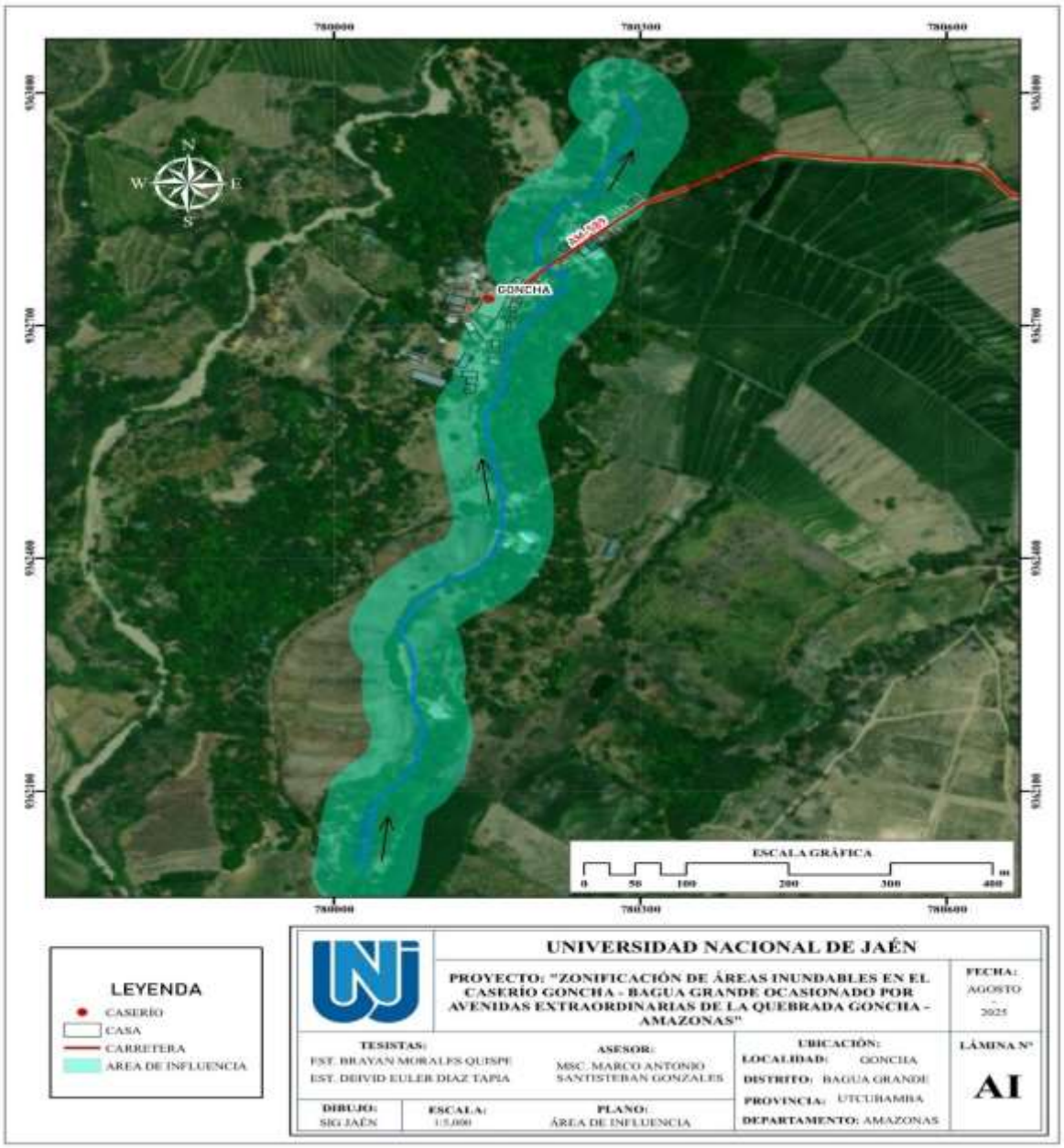
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO
1993	20.4	47.9	24	30	8.3	5.8	21.6	7.1	22.5	22.6	8.1	14.4	**47.9**
1994	27.2	17.4	22.1	24.9	21.8	9.9	11.9	0.9	8.4	20.8	18.2	20.5	**27.2**
1995	13.6	13.7	33.4	19.6	23.1	5.2	9.4	0	5.8	3.5	41.2	10	**41.2**
1996	15.3	17.4	15.7	35.5	11.5	7.1	1.5	5.9	13.5	37.9	10.2	16.4	**37.9**
1997	7.7	15.2	7.8	40.6	10	24.4	3.7	4.3	8.5	37.4	20.9	5.8	**40.6**
1998	8.3	31.5	29.9	23	19.4	6.2	2.4	5.7	5.3	29.2	40.7	30.1	**40.7**
1999	15	39.9	40.6	6.8	58.5	8.1	12.9	13.2	24.9	24.2	24.6	25.6	**58.5**
2000	24.5	20.3	26.4	32.7	56.4	12.6	12.6	13	12	13.5	10.8	39.6	**56.4**
2001	6	7.9	31.1	12.3	24.7	3	4.6	0.9	14.1	14.9	44.5	19.7	**44.5**
2002	11.6	13.8	11.9	26	20.5	0.9	23	11.5	9.9	51.3	38.9	8	**51.3**
2003	18.2	21.7	48.3	35	11.9	13.6	23.6	5.4	3.2	14.5	16.7	30.9	**48.3**
2004	13	7.7	10.7	24.9	36.5	4.7	10.9	7	9.9	40	31.1	21.2	**40.0**
2005	13.1	16.6	39.9	11.2	8.6	20	2	11.8	3.4	41.5	69.4	30.3	**69.4**
2006	15.6	6.1	28.8	26.6	4.3	25.7	2.9	10	15.5	15.9	9.4	11.2	**28.8**
2007	25.8	14.5	7.4	25.2	15.5	2.3	8.5	6.3	16.5	23.2	48.5	11.2	**48.5**
2008	6.6	45.5	77.5	15	22.3	16.9	12.3	23.8	6.6	18	36.4	18.2	**77.5**
2009	22.9	27	17.8	29.8	22	16.3	16.4	9.4	14.1	7.6	35.1	6.4	**35.1**
2010	0.7	44.6	7.2	33.8	14.7	7.2	34.4	2.3	8.7	40.7	21.2	18.2	**44.6**
2011	8.9	40.7	56.5	52.8	20.6	6.1	7.3	4	33.7	19	9.7	36.3	**56.5**
2012	19.7	18.4	16.5	48.4	4.4	9	7.1	0	3	61	44	11.3	**61.0**
2013	10	13.6	16.4	4.5	14.1	4.9	13.3	33.5	16.9	64.6	2.9	19.9	**64.6**
2014	14	4.9	31.4	18.2	42.7	6.9	1.5	19	8	11.1	13.4	27.4	**42.7**
2015	31.6	24	0.2	6.4	17.7	7	9.1	3	2.3	6.9	22	15.6	**31.6**
2016	34.8	15.3	39.5	33.9	23.5	3.7	5.2	9.1	33.9	17.3	14.3	24	**39.5**
2017	24.2	21.6	11.6	50.7	10.4	17.9	7.2	17.7	28.2	13.5	13	15	**50.7**
2018	32.6	30.9	8.7	12	36.1	8.7	18.8	2.8	4	21.3	36.7	23.6	**36.7**
2019	11.2	27.2	21.8	44.6	19.7	4.4	24.1	1.7	11.3	9.3	7.6	50.5	**50.5**
2020	84.8	19.8	7.8	18	10.2	10.2	20.1	9.7	31.7	18.9	42.3	48.1	**84.8**
2021	24.5	18.1	31.6	23.7	26.9	18.4	6.6	4.1	7.5	32.5	10.5	14.5	**32.5**
2022	10.2	15.4	39.5	20.3	15	13.3	21.9	16.4	35.6	9.8	13	5.1	**39.5**
PROMEDIO	19.07	21.95	25.40	26.21	21.04	10.01	11.89	8.65	13.96	24.73	25.18	20.97	47.6
DESV. EST.	15.07	11.87	16.98	13.02	13.42	6.52	8.35	7.61	10.12	15.80	16.13	11.74	13.8
MÁXIMO	84.80	47.90	77.50	52.80	58.50	25.70	34.40	33.50	35.60	64.60	69.40	50.50	84.8
MÍNIMO	0.70	4.90	0.20	4.50	4.30	0.90	1.50	0.00	2.30	3.50	2.90	5.10	27.2
Nº Datos	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30

Nota. Distribución mensual y anual de las precipitaciones máximas diarias registradas en la estación El Pintor durante el período de análisis. Fuente: Senamhi (2022).

La tabla 1, se tiene la precipitación máxima registrada en el periodo de análisis que fue de 84.8 mm en enero de 2020, mientras que el promedio anual de máximas diarias es de 47.6 mm. El análisis muestra una marcada estacionalidad, con picos entre enero y abril, coincidiendo con la temporada de lluvias en la región amazónica.

Figura 6.

Área de influencia de la quebrada Goncha



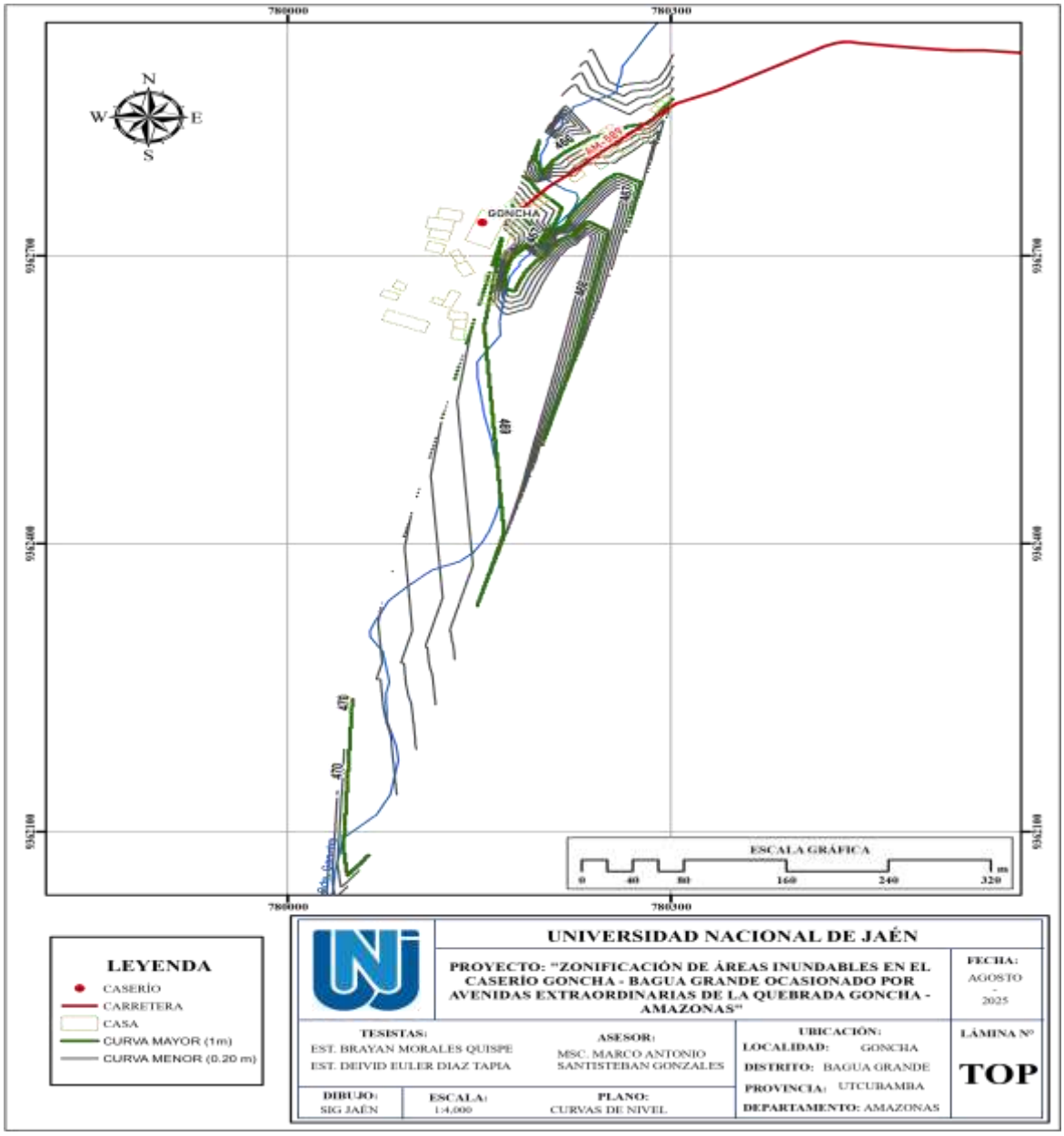
Nota. Representación geoespacial del área de influencia directa de la quebrada Goncha y de la ubicación del tramo considerado para el análisis. Fuente: ArcGIS (2026).

En la figura 6, se tiene el mapa de área de influencia delimita la zona impactada por la quebrada Goncha en caso de ocurrencia de avenidas extraordinarias. En él se observa el cauce principal, las zonas planas agrícolas y la zona urbana del caserío Goncha, georreferenciados en coordenadas UTM (WGS84, zona 17S). El área de influencia muestra que las inundaciones no solo afectan al cauce, sino también a las áreas habitadas y de cultivo cercanas, siendo áreas potencialmente expuestas ante la ocurrencia de avenidas extraordinarias.

3.1.2. Topografía

Figura 7.

Mapa topográfico de curvas de nivel



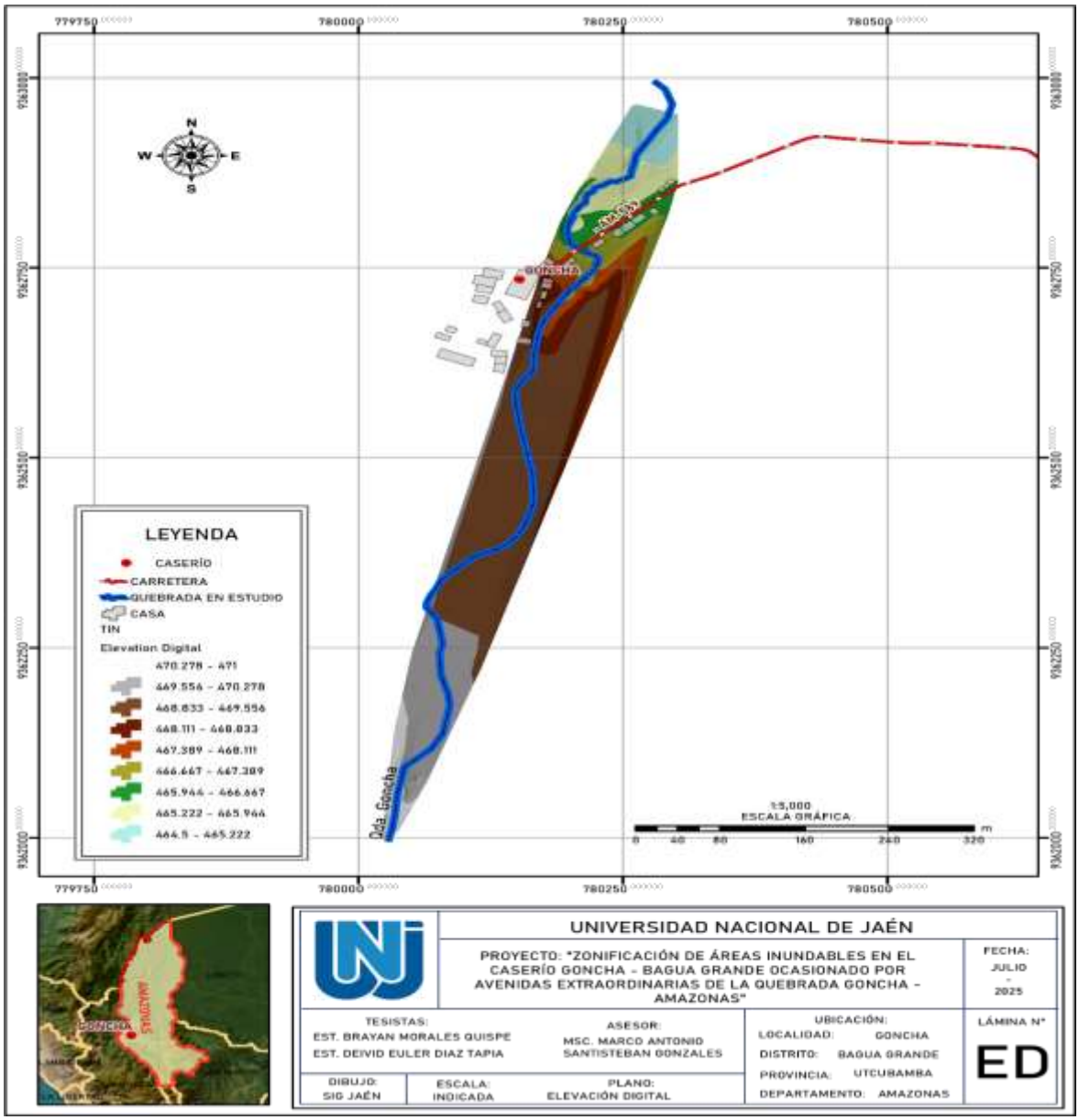
Nota. Configuración planimétrica y altimétrica del área evaluada, representada con curvas de nivel, cauce de la quebrada y elementos del entorno. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7, se tiene el mapa topográfico de curvas de nivel, se elaboró luego del levantamiento topográfico realizado en la zona de estudio, la cual representa una equidistancia de 1 m que permite identificar las variaciones de pendiente en el área de intervención. También se observa que la quebrada Goncha atraviesa una zona de relieve bajo, donde las curvas se encuentran con separación considerable, indicando superficies planas propensas a inundaciones en máximas avenidas. También, las laderas colindantes

muestran curvas más próximas, reflejando pendientes mayores que contribuyen a un rápido aporte de caudal hacia el cauce (Ver Anexo 1).

Figura 8.

Modelo Digital de Elevación (DEM) del área de estudio



Nota. Representación de la variación altitudinal del terreno en el área de estudio, identificando la distribución de las elevaciones y la configuración del relieve de la quebrada Goncha. Fuente: ArcGIS (2026).

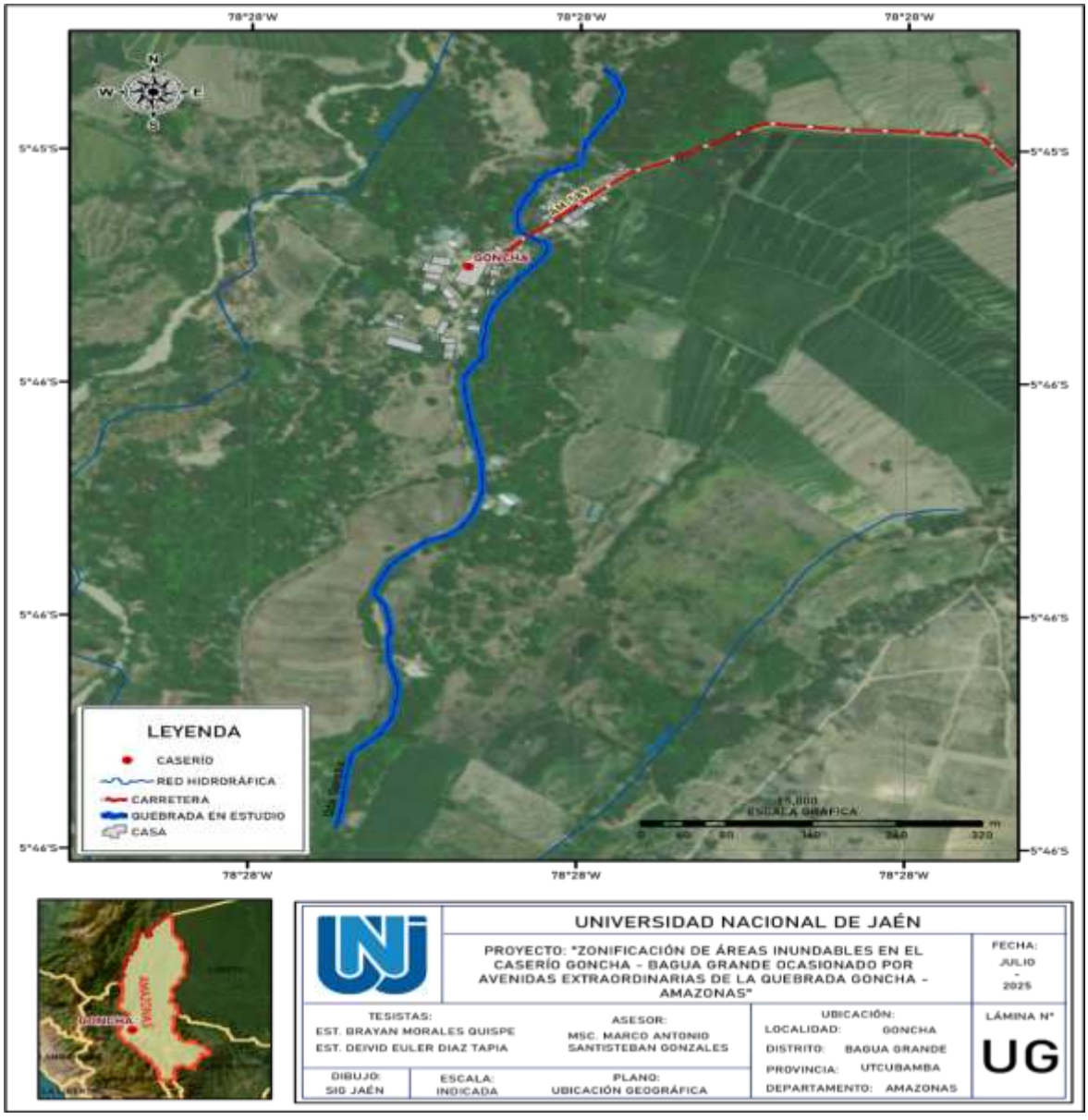
En la figura 8, presenta el Modelo Digital de Elevación (DEM) del tramo de estudio de la quebrada Goncha, generado a partir del levantamiento topográfico realizado en campo. Se observa que las cotas del terreno oscilan aproximadamente entre 464.45 y 470.76 m s.n.m., evidenciando un relieve con pendientes suaves en la planicie cercana al cauce y

pendientes más pronunciadas hacia los flancos de la quebrada. Asimismo, el cauce principal se encuentra bien definido y atraviesa longitudinalmente el área de estudio, constituyendo la base para el modelamiento hidráulico y la delimitación de las áreas inundables mediante HEC-RAS y ArcGIS.

3.1.3. Evaluación de información cartográfica

Figura 9.

Mapa de ubicación geográfica

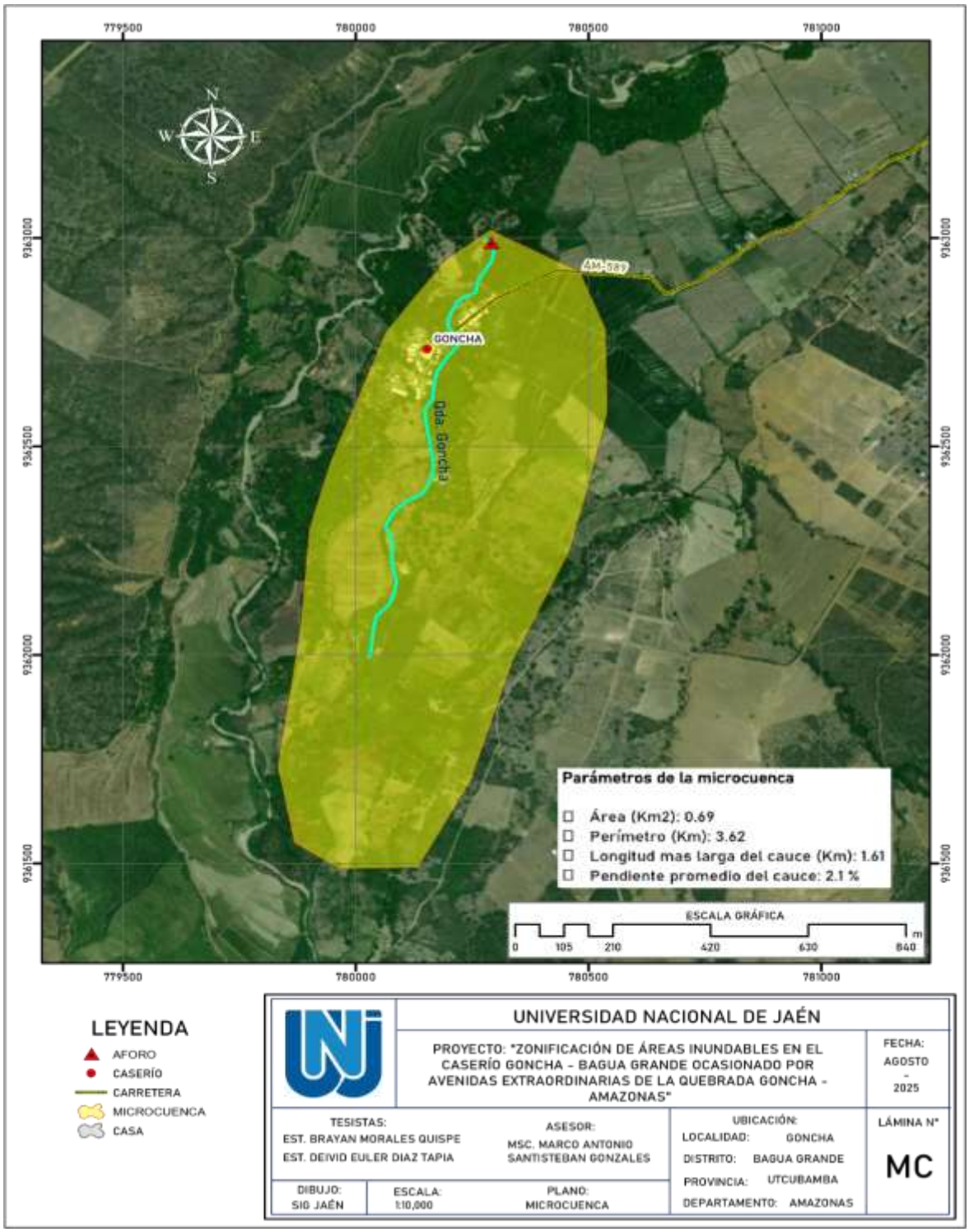


Nota. Localización geográfica del área de estudio y su relación con la red hidrográfica y los elementos territoriales del entorno. Fuente: Google Earth (2026).

La figura 9, muestra el mapa muestra la ubicación geográfica de la zona de estudio, como la carretera, el caserío y la quebrada Goncha.

Figura 10.

Parámetros formométricos de la cuenca



Nota. Caracterización morfométrica de la microcuenca evaluada, mostrando su delimitación espacial, el recorrido principal de la quebrada Goncha y los principales parámetros físicos obtenidos. Fuente: ArcGIS (2026).

La figura 10, muestra la delimitación de la microcuenca de la quebrada Goncha, identificándose su área de aporte, el cauce principal y su ubicación respecto al caserío

Goncha. La microcuenca presenta un área de 0.69 km², un perímetro de 3.62 km, una longitud máxima del cauce de 1.61 km y una pendiente promedio de 2.1 %, características que influyen directamente en la generación y concentración de escorrentías durante eventos de precipitación. Asimismo, se observa que el caserío Goncha se encuentra ubicado dentro del área de influencia de la microcuenca y próximo al cauce principal de la quebrada, lo que evidencia su exposición potencial frente a avenidas extraordinarias. La delimitación de la microcuenca constituye la base para el análisis hidrológico posterior, permitiendo estimar los caudales máximos de diseño y evaluar el comportamiento hidráulico de la quebrada ante diferentes períodos de retorno.

3.2. Cálculo los caudales de máximas avenidas mediante análisis de frecuencia estadística, utilizando datos de precipitación para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años.

Mediante la modelación hidrológica, se determinó el caudal máximo de avenida (Qmáx) para la Quebrada Goncha, aplicando el método racional y utilizando información pluviométrica histórica de la estación El Pintor (SENAMHI). El análisis de frecuencia, basado en diferentes periodos de retorno (Tr), reveló una relación directamente proporcional entre la recurrencia del evento extremo y la magnitud del caudal.

Tabla 2.
Resumen de caudales máximos

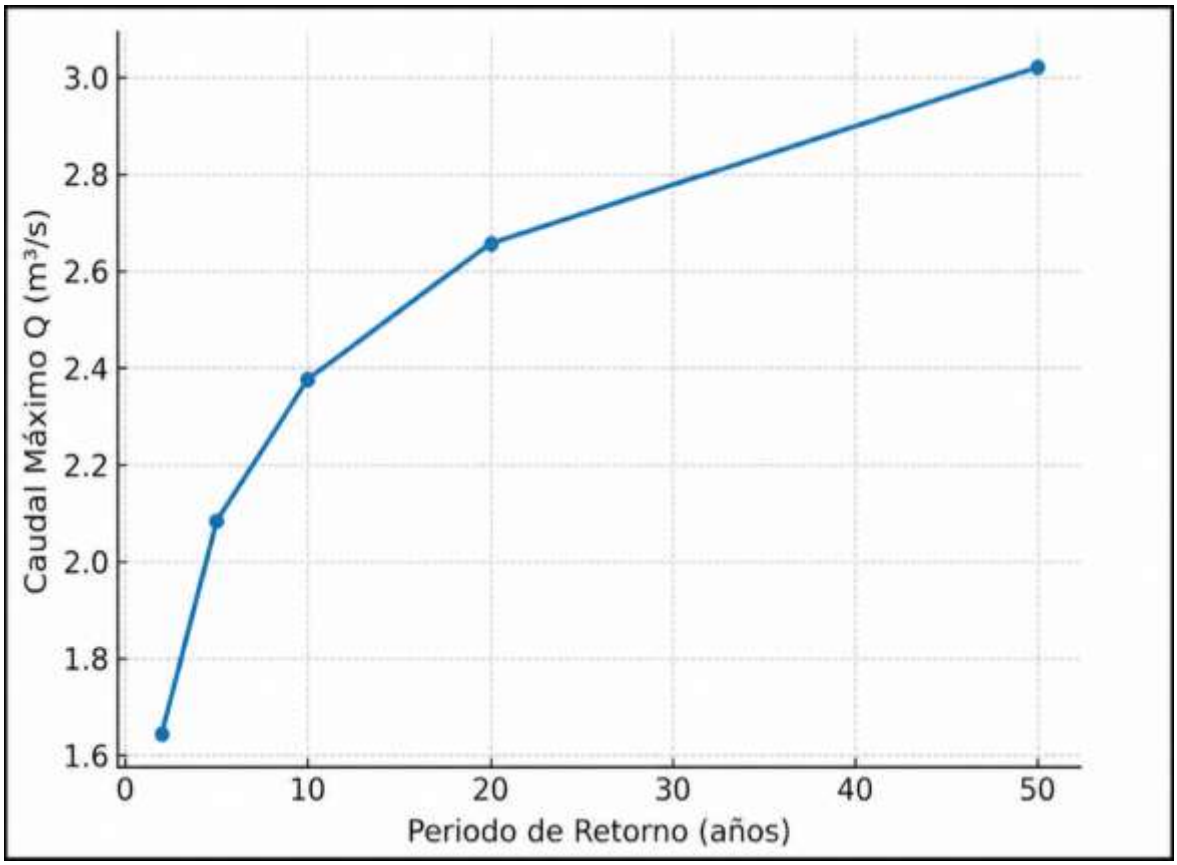
Periodo de Retorno (Tr)	Caudal Máximo (Qmáx)
2 años	1.643 m³/s
5 años	2.084 m³/s
10 años	2.377 m³/s
20 años	2.657 m³/s
50 años	3.021 m³/s

Nota. Valores de caudal máximo de diseño correspondientes a distintos períodos de retorno, empleados para la evaluación hidrológica y la determinación de las condiciones de escorrentía en la quebrada. Fuente: Elaboración propia.

El caudal estimado para un evento de Tr=2 años es de 1.643 m3/s, representando una avenida frecuente. Por otro lado, el caudal de diseño para el evento más extraordinario considerado, con un periodo de retorno de 50 años, alcanza un valor máximo de 3.021 m3/s. Esta progresión de caudales es fundamental para evaluar la capacidad de la sección del cauce y el nivel de inundación asociado a las lluvias más intensas.

Figura 11.

Caudales máximos de avenida según periodo de retorno



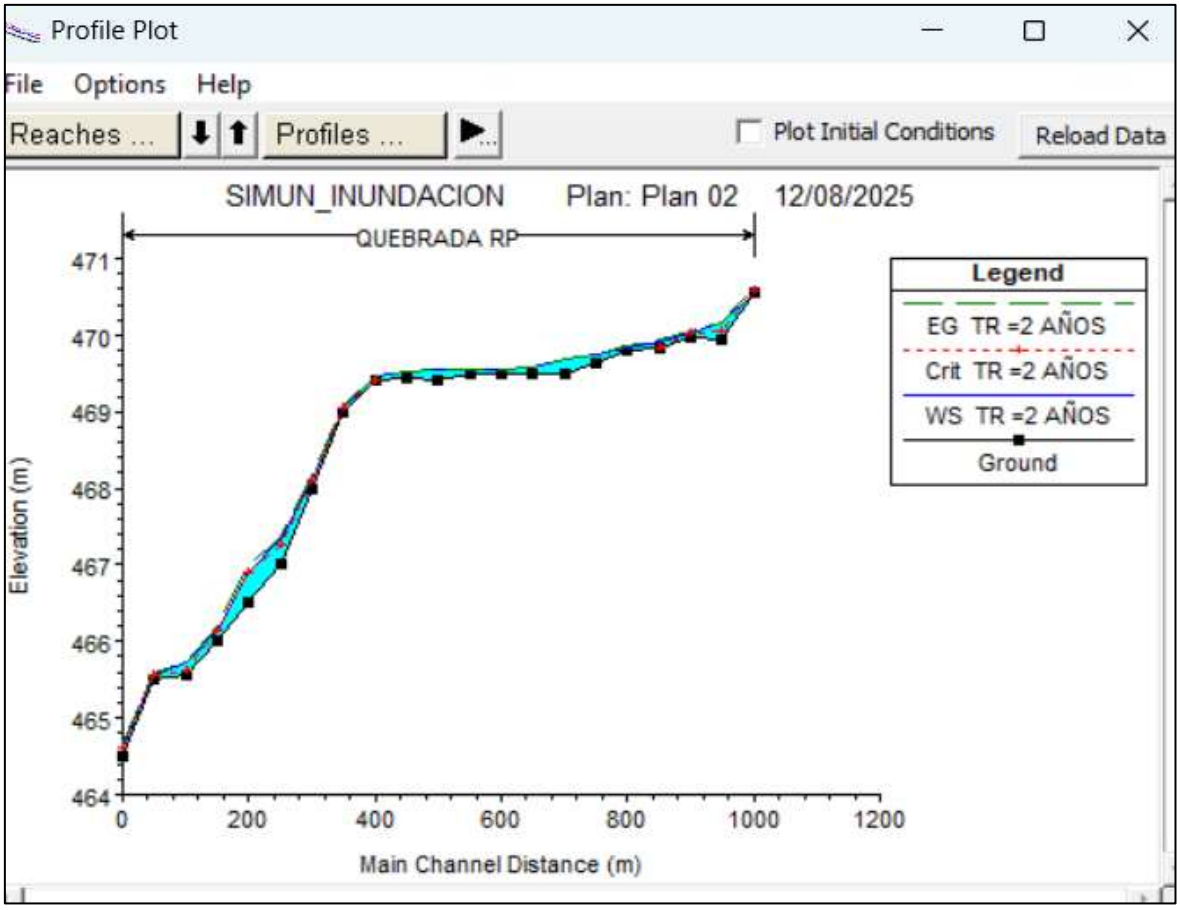
Nota. Variación del caudal máximo estimado en función de los diferentes períodos de retorno considerados para el análisis hidrológico de la quebrada. Fuente*:* Elaboración propia.

En la Figura 11 presenta una relación directa entre el caudal máximo (Q) de una avenida y su período de retorno (TR), la curva ascendente demuestra que, a mayor período de retorno, mayor es el caudal máximo; esto significa que eventos de lluvia más raros (con TR más largos) producen caudales más altos. Un evento que se espera que ocurra cada 50 años genera un caudal significativamente mayor que uno que ocurre cada 5 años, lo cual es fundamental para el diseño de infraestructuras hidráulicas que deben resistir eventos extremos. Variación de los caudales máximos de avenida en función del periodo de retorno, obtenidos mediante el Método Racional. (Ver Anexo 2).

3.3. Simulación del comportamiento hidráulico de la quebrada Goncha con el software HEC-RAS, para determinar los parámetros de inundación como la elevación de la lámina de agua, profundidades y velocidades de flujo para cada período de retorno.

3.3.1. Simulación en HEC-RAS para Tr = 2años

Figura 12.
Perfil de inundación Tr=2 años

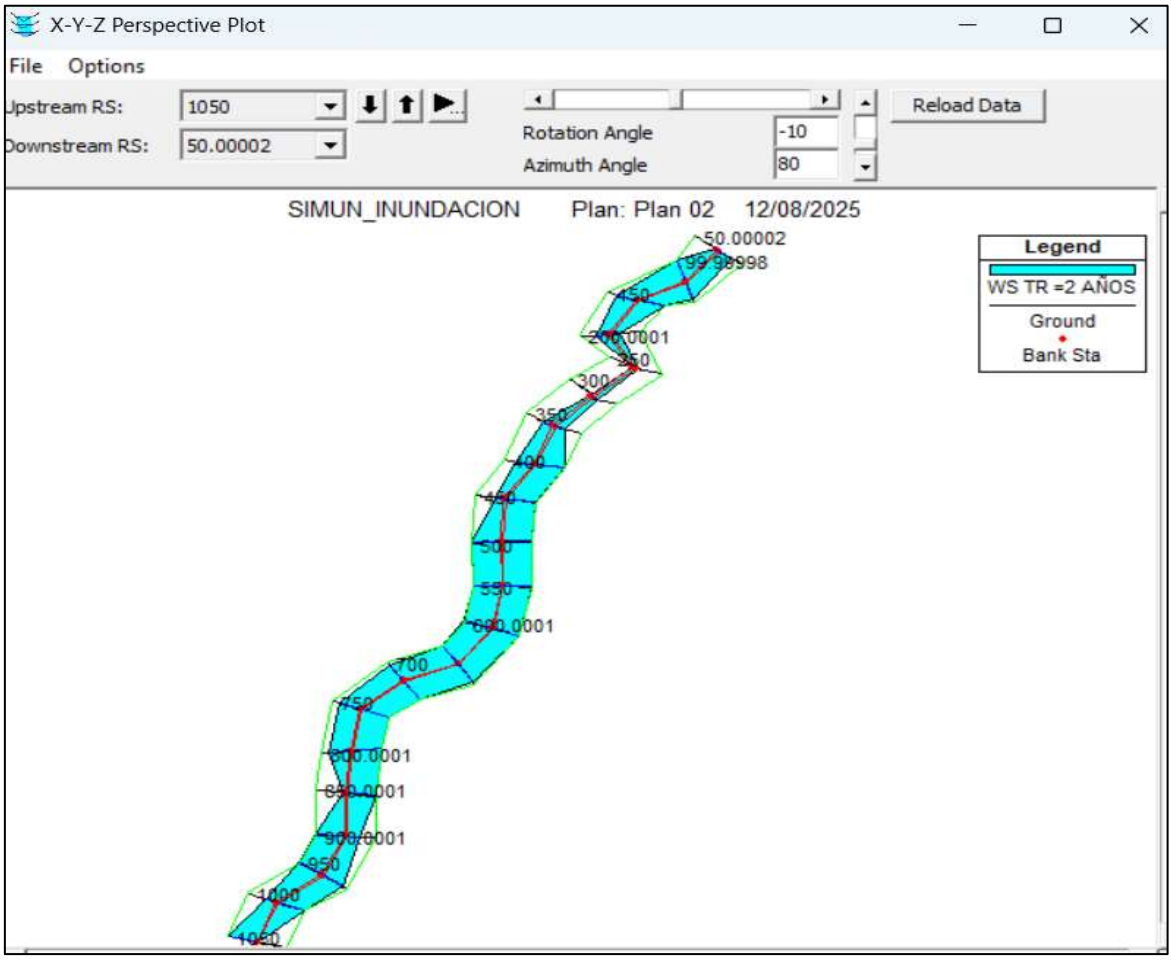


Nota. Perfil longitudinal del cauce y representación de la lámina de agua obtenida para un período de retorno de 2 años, mostrando las variaciones de elevación a lo largo del tramo evaluado. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

En la figura 12, se tiene el perfil longitudinal del flujo en la quebrada para un periodo de retorno de 2 años, obtenido mediante simulación en HEC-RAS. El perfil simulado muestra que la línea de agua (WS) se ajusta al cauce, sin superar los bordes naturales; además que la línea de energía (EG) se encuentra ligeramente por encima de la lámina de agua, evidenciando flujo en régimen subcrítico y el tirante crítico (Crit) confirma la inexistencia de condiciones de control hidráulico inestable.

Figura 13.

Simulación en 3D - Tr = 2 años



Nota. Representación tridimensional de la simulación hidráulica para un período de retorno de 2 años, mostrando la distribución espacial de la lámina de agua a lo largo del tramo evaluado. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

En la figura 13, se tiene la ssimulación 3D del flujo en la quebrada para Tr = 2 años obtenida en HEC-RAS, donde la representación tridimensional del flujo para este periodo refleja que el agua circula dentro del cauce principal, sin desbordes laterales ni afectación de áreas aledaña y la superficie hidráulica se mantiene uniforme y ajustada al relieve.

Tabla 3.

Características hidráulicas observadas en las secciones transversales de la quebrada Goncha para un Tr = 2 años

Progresiva	Características hidráulicas observadas
200 m	Cauce definido y estrecho. La lámina de agua ocupa únicamente el fondo del canal, manteniéndose dentro de la capacidad hidráulica de la sección.
250 m	Se observa una sección con perfil en forma de "V", donde el flujo permanece centralizado. No se evidencia riesgo ni amenaza de desbordamiento hacia las márgenes.
300 m	La sección presenta una geometría en forma de "U". El flujo se mantiene estable y contenido dentro del cauce, sin alcanzar los bordes laterales.
350 m	Sección de mayor amplitud hidráulica, con capacidad disponible para conducir caudales superiores. La lámina de agua se mantiene a un nivel considerablemente inferior respecto al terreno adyacente.

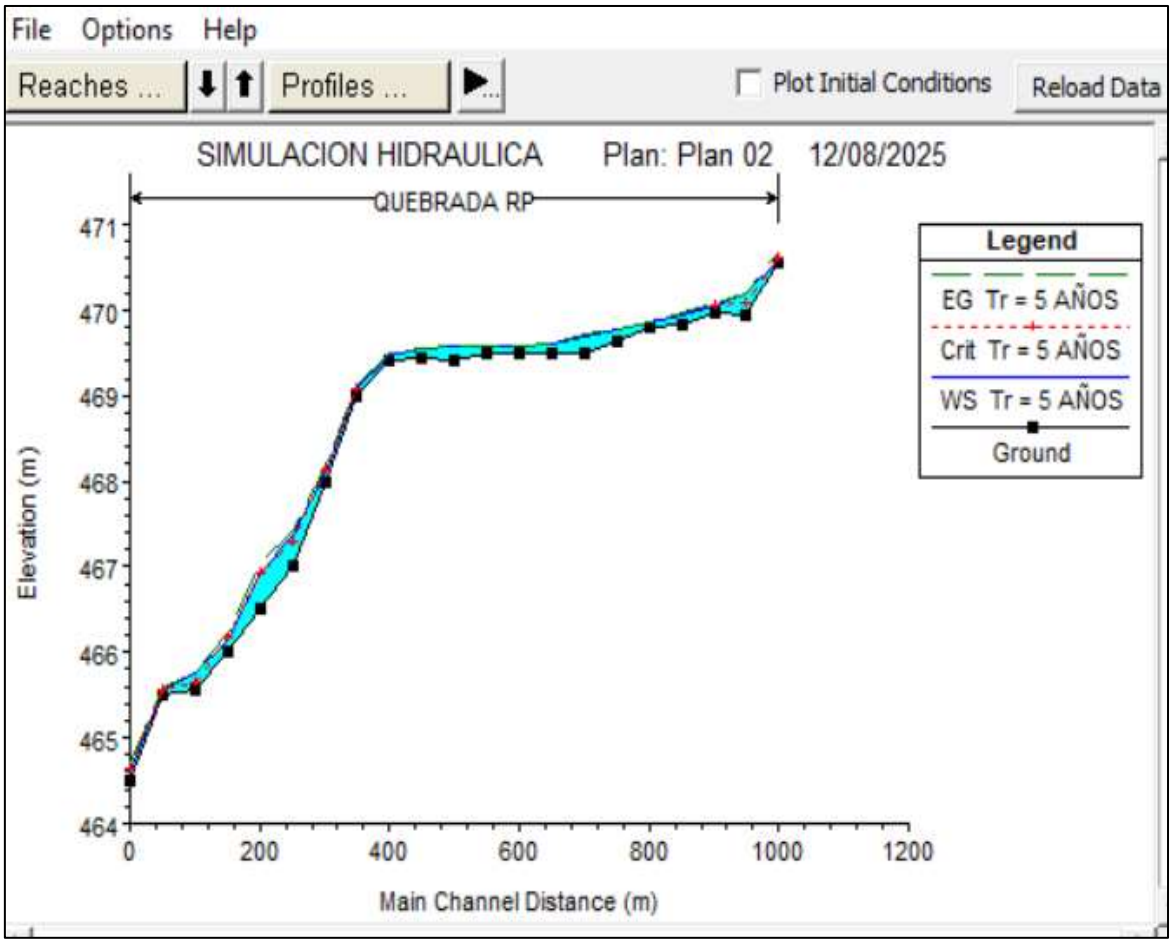
Nota. Descripción de las condiciones hidráulicas observadas en las diferentes progresivas del tramo evaluado, considerando la geometría del cauce, el comportamiento del flujo y la capacidad de conducción de la quebrada. Fuente*:* Elaboración propia.

En l tabla 3, la modelación hidráulica demuestra que, para un periodo de retorno de 2 años, el flujo se mantiene completamente confinado en el cauce, sin evidencias de desbordamiento. El régimen es subcrítico y estable, con bajas profundidades y velocidades de flujo, lo que representa un escenario de mínima afectación para las zonas cercanas a la quebrada (Ver del anexo 3.1 al 3.5)

3.3.2. Simulación en HEC-RAS para Tr = 5años

Figura 14.

Perfil de inundación Tr=5 años

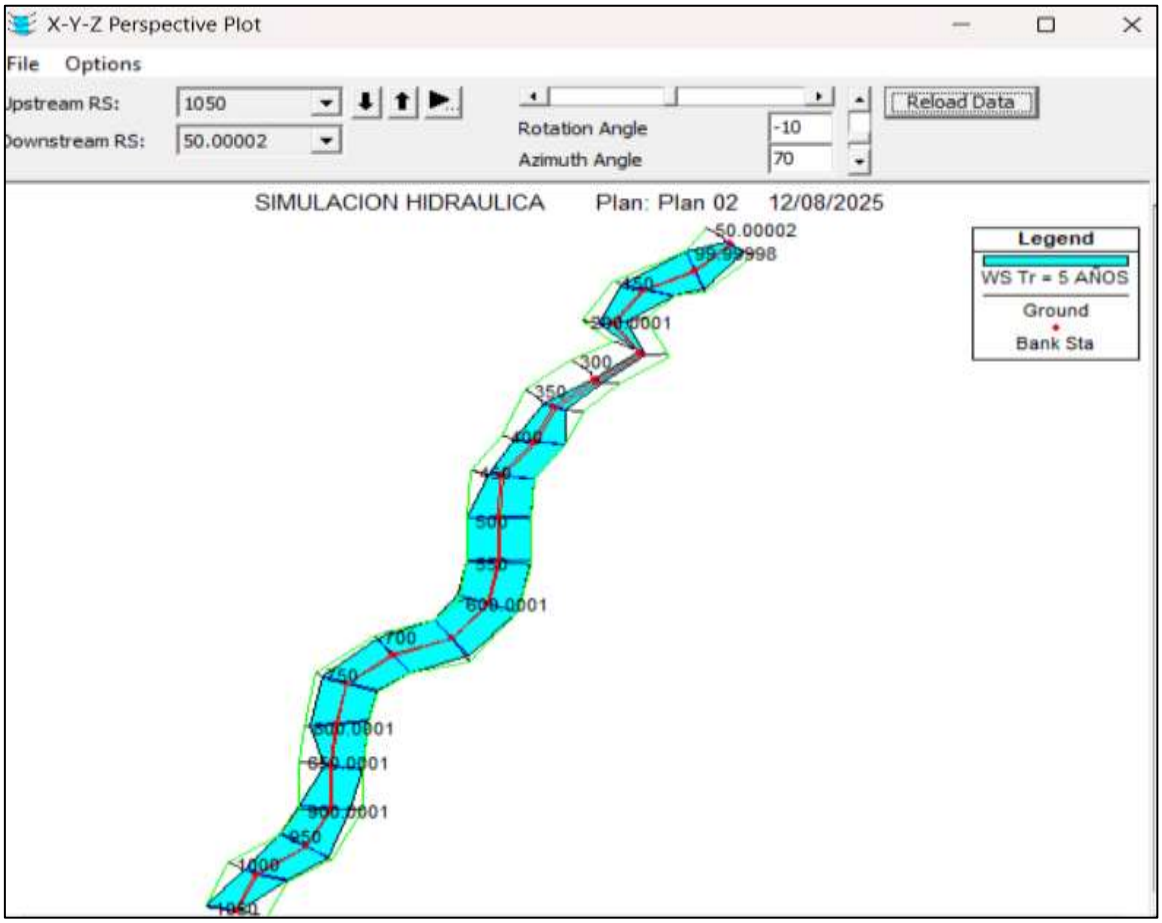


Nota. Resultado de la modelación hidráulica del perfil de inundación para un período de retorno de 5 años, mostrando la variación de la elevación de la superficie del agua a lo largo del tramo evaluado. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

En la figura 14, se tiene el perfil longitudinal del flujo en la quebrada para un periodo de retorno de 5 años, obtenido mediante simulación en HEC-RAS. La línea de agua (WS) se mantiene contenida dentro del cauce, sin sobrepasar los niveles de terreno, asimismo la línea de energía (EG) se ubica por encima de la lámina de agua, lo que confirma condiciones de flujo subcrítico y el tirante crítico (Crit) está claramente definido, sin indicios de control hidráulico inestable.

Figura 15.

Simulación en 3D - Tr = 5 años



Nota. Representación tridimensional de la simulación hidráulica correspondiente a un período de retorno de 5 años, mostrando la distribución espacial de la lámina de agua a lo largo del tramo evaluado. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

En la figura 15, se tiene la ssimulación 3D del flujo en la quebrada para Tr = 5 años obtenida en HEC-RAS, donde el agua se distribuye uniforme a lo largo del canal; observándose no desbordamiento lateral en ningún tramo y el modelo confirma que la quebrada mantiene capacidad hidráulica para evacuar el caudal de este periodo de retorno.

Tabla 4.

Características hidráulicas observadas en las secciones transversales de la quebrada Goncha para un Tr = 5 años

Progresiva	Descripción del comportamiento hidráulico
200 m	Cauce angosto y definido. El flujo permanece contenido dentro de los bordes, presentando un comportamiento hidráulico subcrítico.
250 m	Sección con perfil en forma de "V" angosta. Se observa concentración del flujo en la parte central del cauce, sin riesgo de desbordamiento hacia las márgenes.
300 m	Sección con geometría en forma de "U". El nivel de agua ocupa únicamente el fondo del cauce, manteniéndose por debajo de las márgenes y sin evidencias de desborde.
350 m	Sección más ancha con adecuada capacidad hidráulica. La lámina de agua se mantiene por debajo del nivel de contención del cauce, permitiendo una conducción segura del flujo.

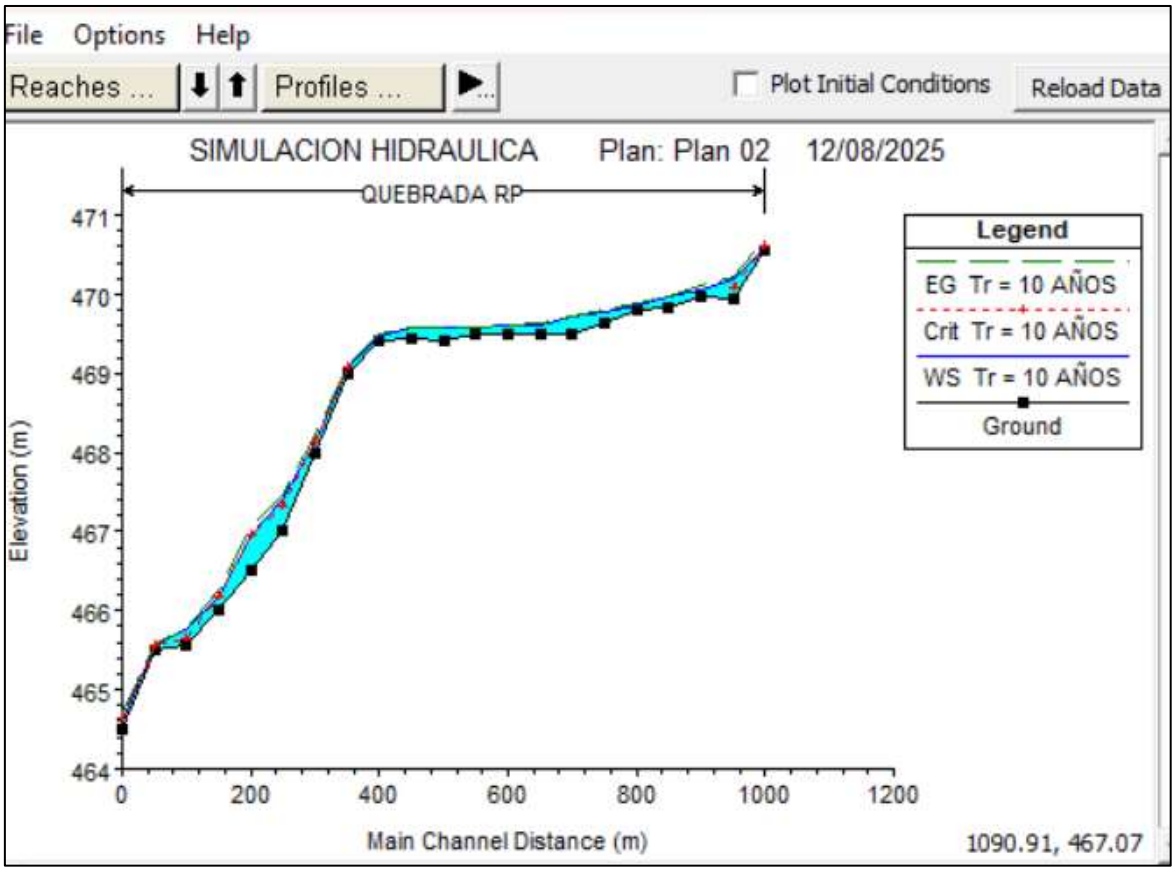
*Nota***.** Comportamiento hidráulico observado en las secciones transversales analizadas, en función de las condiciones de flujo y la capacidad de conducción del cauce para el evento evaluado. Fuente*:* Elaboración propia.

En la tabla 4, los resultados de la modelación hidráulica indican que, para un periodo de retorno de 5 años, el flujo de la quebrada se mantiene confinado en su cauce natural, sin producir desbordamientos. El régimen es subcrítico y estable, evidenciando que no existe inundación para las zonas aledañas bajo este escenario (Ver del anexo 3.6 al 3.10)

3.3.3. Simulación en HEC-RAS para Tr = 10años

Figura 16.

Perfil de inundación Tr=10 años

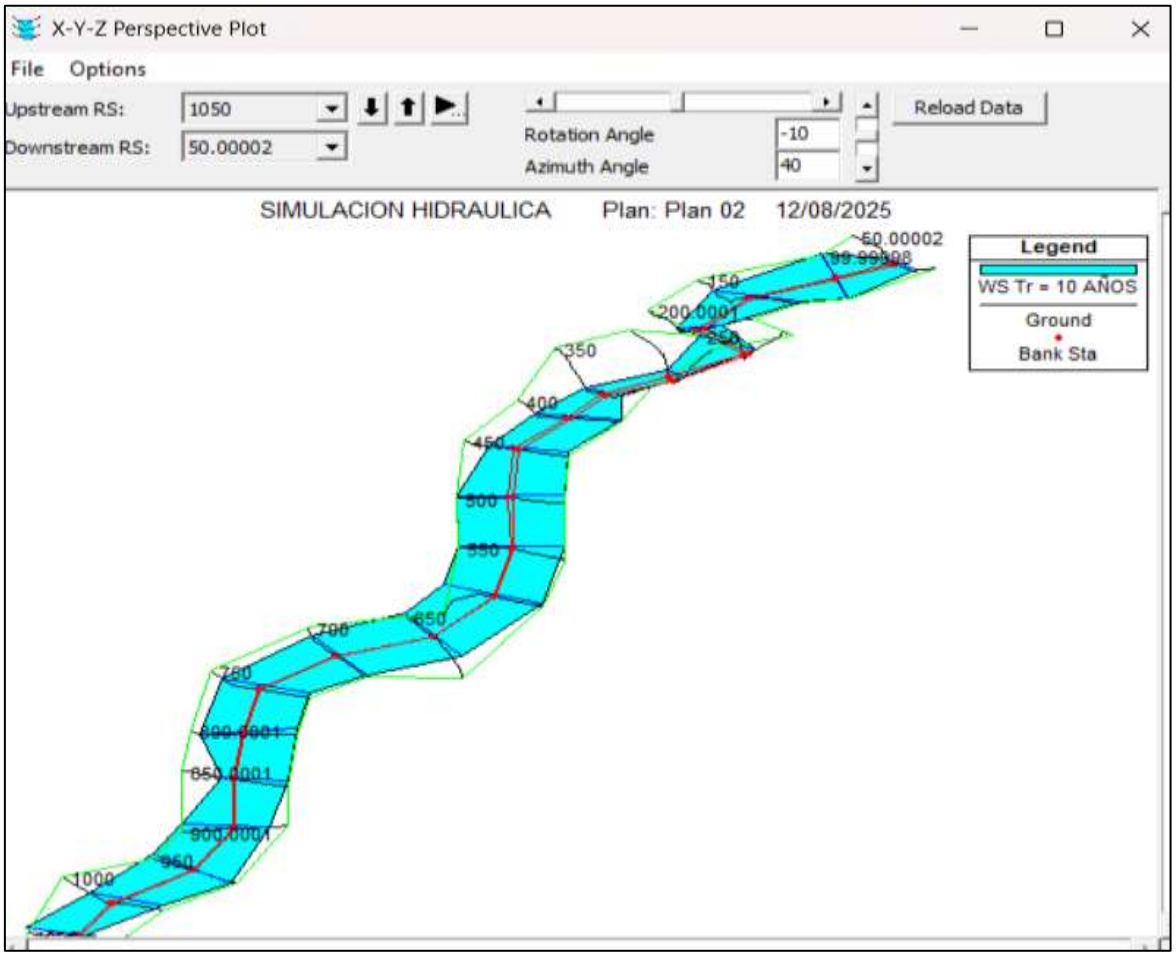


Nota. Resultado de la modelación hidráulica del perfil de inundación para un período de retorno de 10 años, mostrando la variación de la elevación de la superficie del agua a lo largo del tramo evaluado. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

En la figura 16, se tiene el perfil longitudinal del flujo en la quebrada para un periodo de retorno de 10 años, obtenido mediante simulación en HEC-RAS. La línea azul (WS) representa la superficie del agua para Tr = 10 años, además la línea verde (EG) corresponde a la línea de energía, siempre por encima de la superficie del agua y la línea roja punteada (Crit) indica la condición de flujo crítico.

Figura 17.

Simulación en 3D - Tr = 10 años



Nota. Resultado de la modelación hidráulica en tres dimensiones para el caudal asociado a un período de retorno de 10 años, mostrando la distribución espacial de la lámina de agua y su interacción con la geometría del cauce y el terreno. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

En la figura 17, se tiene la ssimulación 3D del flujo en la quebrada para Tr = 10 años obtenida en HEC-RAS, donde se identifican los puntos donde la corriente podría desbordar o generar mayor impacto, asimismo el relleno azul representa la lámina de agua, superpuesta al cauce modelado y se identifican las curvaturas del río y cómo el agua se ajusta al trazado natural del cauce.

Tabla 5.

Características hidráulicas observadas en las secciones transversales de la quebrada Goncha para un Tr = 10 años

Progresiva	Descripción del comportamiento hidráulico
200 m	La sección presenta un cauce asimétrico, con una margen izquierda más profunda que la derecha. El flujo ocupa gran parte de la depresión central y la superficie libre del agua (WS) se aproxima a la margen derecha, aunque permanece contenida dentro del cauce. La línea de energía se ubica por encima de la lámina de agua, mientras que la condición crítica se encuentra ligeramente por debajo. El cauce es capaz de transportar el caudal correspondiente a un período de retorno de 10 años; sin embargo, se evidencia una posible susceptibilidad al desbordamiento en la margen derecha ante eventos de mayor magnitud.
250 m	La sección presenta una geometría en forma de "V" pronunciada, donde el flujo se concentra exclusivamente en la parte central del cauce. La reducida extensión lateral permite una conducción eficiente del caudal, sin evidencias de desbordamiento o afectación de las márgenes para el período de retorno analizado.
300 m	La sección es amplia y posee un canal central bien definido, con una margen izquierda de mayor elevación. El flujo permanece concentrado en la depresión central y la lámina de agua no alcanza las márgenes laterales. El caudal correspondiente al período de retorno de 10 años se mantiene completamente contenido dentro del cauce, mostrando un comportamiento hidráulico estable y sin riesgos inmediatos de inundación. Asimismo, la geometría profunda y angosta del canal favorece la conducción del flujo, aunque puede incrementar las velocidades y generar procesos de erosión en el fondo del cauce.
350 m	La sección presenta un fondo relativamente plano y escaso desnivel lateral, proporcionando una adecuada capacidad hidráulica para la conducción del flujo. La lámina de agua permanece contenida dentro del cauce, sin alcanzar las márgenes laterales, manteniendo condiciones estables para el caudal analizado y sin evidencias de desbordamiento.

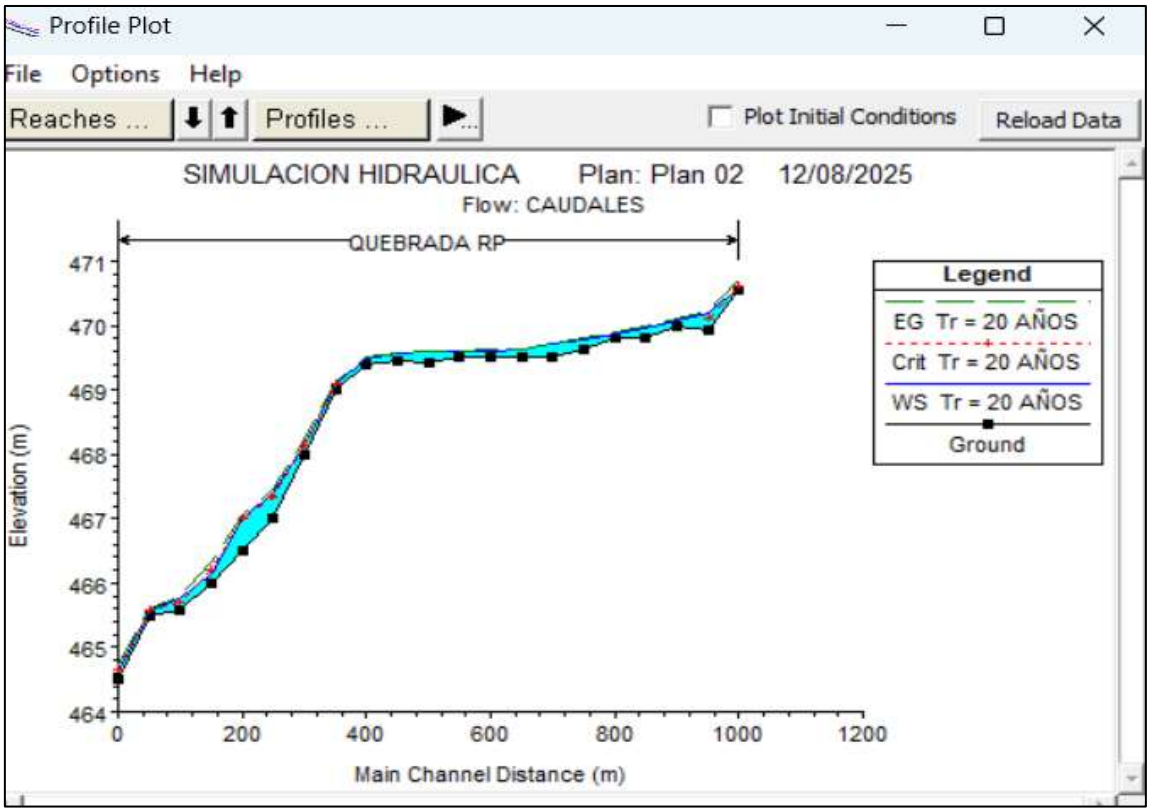
Nota. Caracterización del comportamiento hidráulico observado en las diferentes secciones transversales del tramo evaluado para un período de retorno de 10 años, considerando las condiciones de flujo, la estabilidad hidráulica y la capacidad de conducción del cauce. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5, los resultados muestran que la quebrada Goncha presenta capacidad hidráulica suficiente para conducir el caudal correspondiente a un período de retorno de 10 años, manteniendo el flujo contenido dentro del cauce en todas las progresivas analizadas. No se evidencian desbordamientos ni condiciones de inundación; sin embargo, la progresiva 200 m constituye el sector más sensible debido a la proximidad de la lámina de agua a la margen derecha, mientras que las demás secciones presentan un comportamiento hidráulico estable y seguro (Ver del anexo 3.11 al 3.15)

3.3.4. Simulación en HEC-RAS para Tr = 20años

Figura 18.

Perfil de inundación Tr=20 años

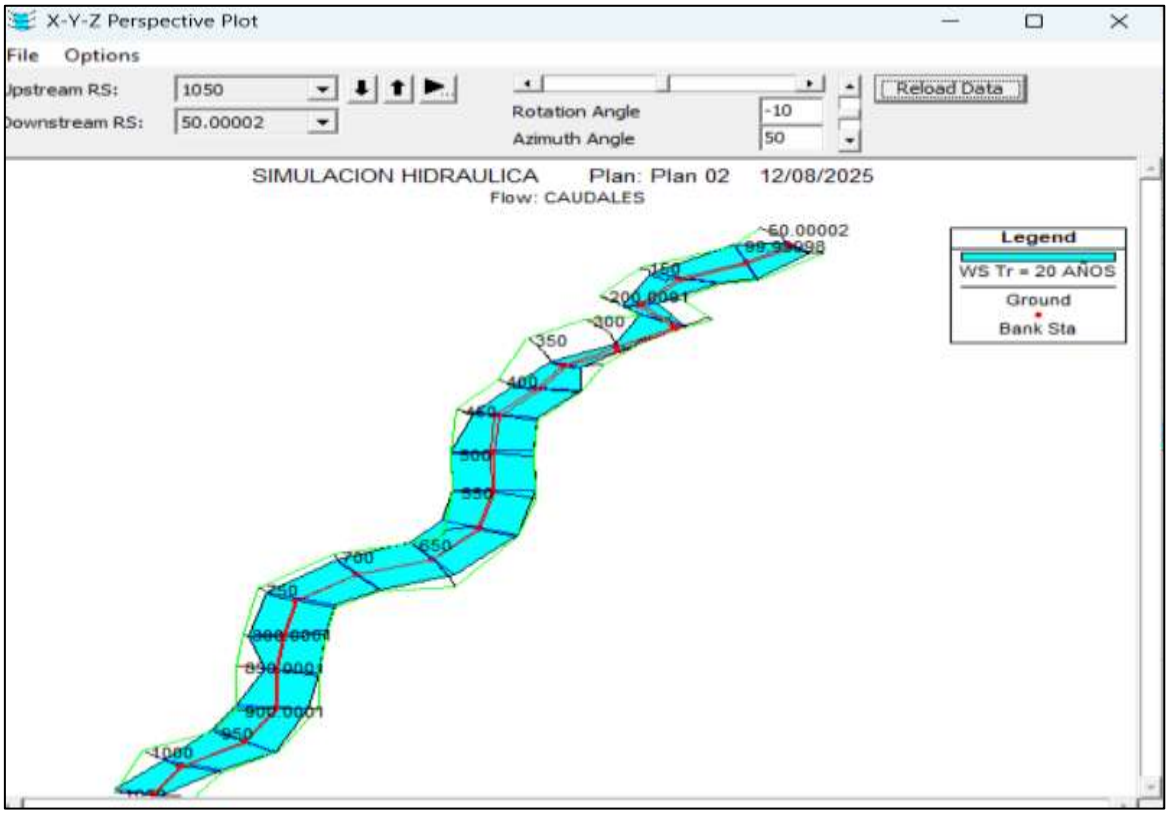


Nota. Representación del perfil hidráulico obtenido para el caudal asociado a un período de retorno de 20 años, evidenciando la variación de la superficie del agua en relación con la geometría del cauce y el terreno a lo largo del tramo evaluado. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

En la figura 18, se tiene el perfil longitudinal del flujo en la quebrada para un periodo de retorno de 20 años, obtenido mediante simulación en HEC-RAS. El nivel del agua (WS) sigue el relieve, pero en varios puntos roza las márgenes del terreno, mostrando zonas críticas donde el desborde es posible, además los tramos con pendiente más fuerte reflejan mayores pérdidas de energía, pero aún dentro de la capacidad del cauce. Los márgenes se ajustan en sectores planos de alto nivel de inundacion si aumenta caudal, hay sedimentación o vegetación densa.

Figura 19.

Simulación en 3D - Tr = 20 años



Nota. Resultado de la modelación hidráulica en tres dimensiones para el caudal asociado a un período de retorno de 20 años, mostrando la distribución espacial de la lámina de agua y su interacción con la geometría del cauce y el terreno. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

En la figura 19, el flujo está bien contenido, pero los taludes externos de curvas están sometidos a erosión lateral. Los estrechamientos muestran un confinamiento más seguro, pero con velocidades mayores. el 3D confirma que la inundacion principal está en erosión lateral y no tanto en desbordes directos (excepto en zonas bajas).

Tabla 6.

Características hidráulicas observadas en las secciones transversales de la quebrada Goncha para un Tr = 20 años

Progresiva	Descripción del comportamiento hidráulico
200 m	La sección contiene adecuadamente el caudal correspondiente a un período de retorno de 20 años; sin embargo, presenta una reducción de capacidad en la margen derecha. Asimismo, el talud izquierdo soporta mayores profundidades de flujo, incrementando el riesgo de socavación. Por ello, se considera una sección crítica debido a la posibilidad de rebose lateral derecho y erosión en la margen izquierda.
250 m	La sección presenta un comportamiento hidráulico eficiente, con adecuado confinamiento del flujo dentro del cauce. No obstante, la concentración del caudal en el centro genera altas velocidades y mayores esfuerzos cortantes sobre el lecho, aumentando el riesgo de socavación, siendo baja probabilidad de desbordamiento.
300 m	La sección muestra una buena capacidad hidráulica y estabilidad geométrica, permitiendo conducir el caudal de 20 años sin inconvenientes. El flujo permanece dentro del cauce y presenta una baja amenaza de desbordamiento, constituyéndose como una de las secciones más seguras y estables del tramo evaluado.
350 m	La sección presenta una menor distancia de protección respecto al nivel de desborde, lo que reduce su margen de seguridad hidráulica. Ante incrementos de caudal o acumulación de sedimentos, podría producirse el desbordamiento del flujo. Por ello, se considera una sección vulnerable para el período de retorno de 20 años y susceptible de requerir medidas de protección o perfilado del cauce.

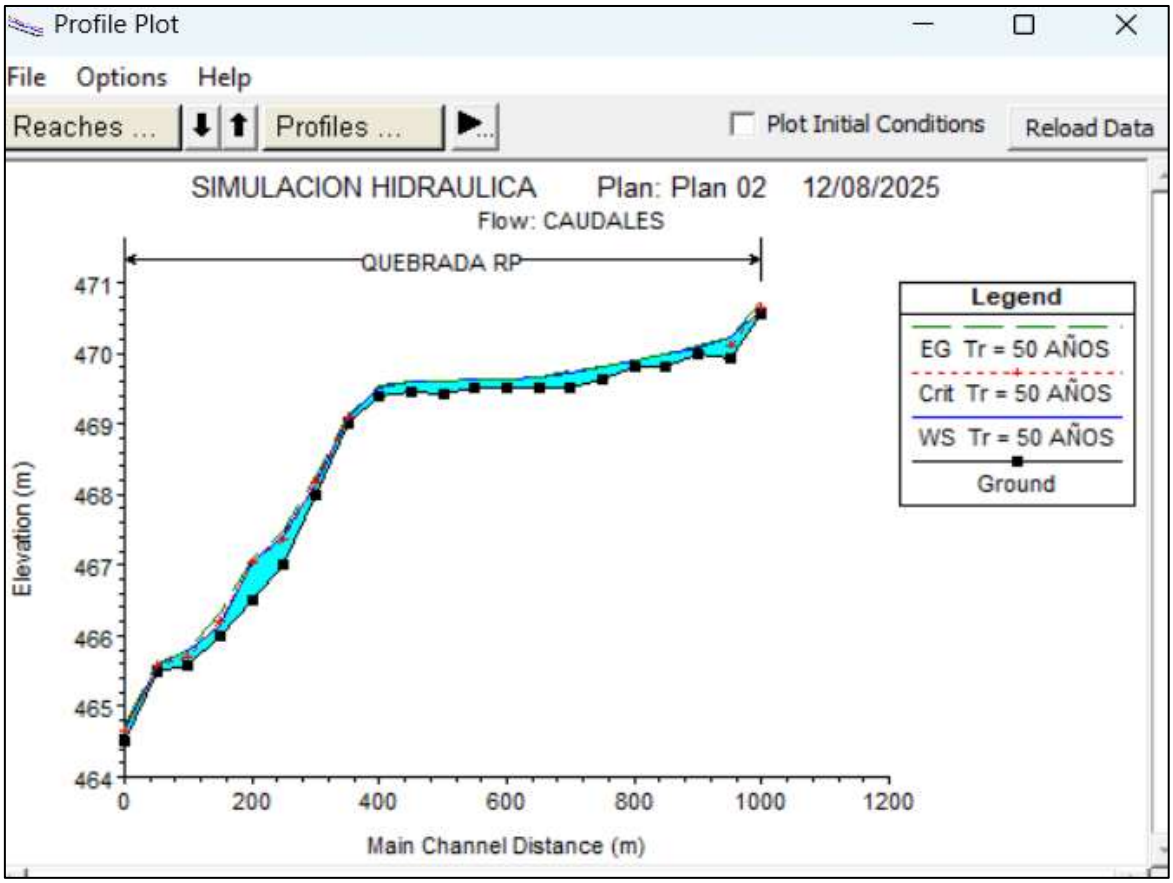
Nota. Caracterización del comportamiento hidráulico observado en las diferentes secciones transversales del tramo evaluado para un período de retorno de 20 años, considerando las condiciones de flujo, la estabilidad hidráulica y la capacidad de conducción del cauce. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6, los resultados indican que la quebrada Goncha conduce adecuadamente el caudal correspondiente a un período de retorno de 20 años, sin evidencias de desbordamiento. No obstante, las progresivas 200 m y 350 m presentan mayor susceptibilidad al rebose, mientras que la progresiva 250 m muestra erosión por altas velocidades de flujo. La progresiva 300 m constituye la sección más estable y segura del tramo analizado (Ver del anexo 3.16 al 3.20).

3.3.5. Simulación en HEC-RAS para Tr = 50años

Figura 20.

Perfil de inundación Tr=50 años

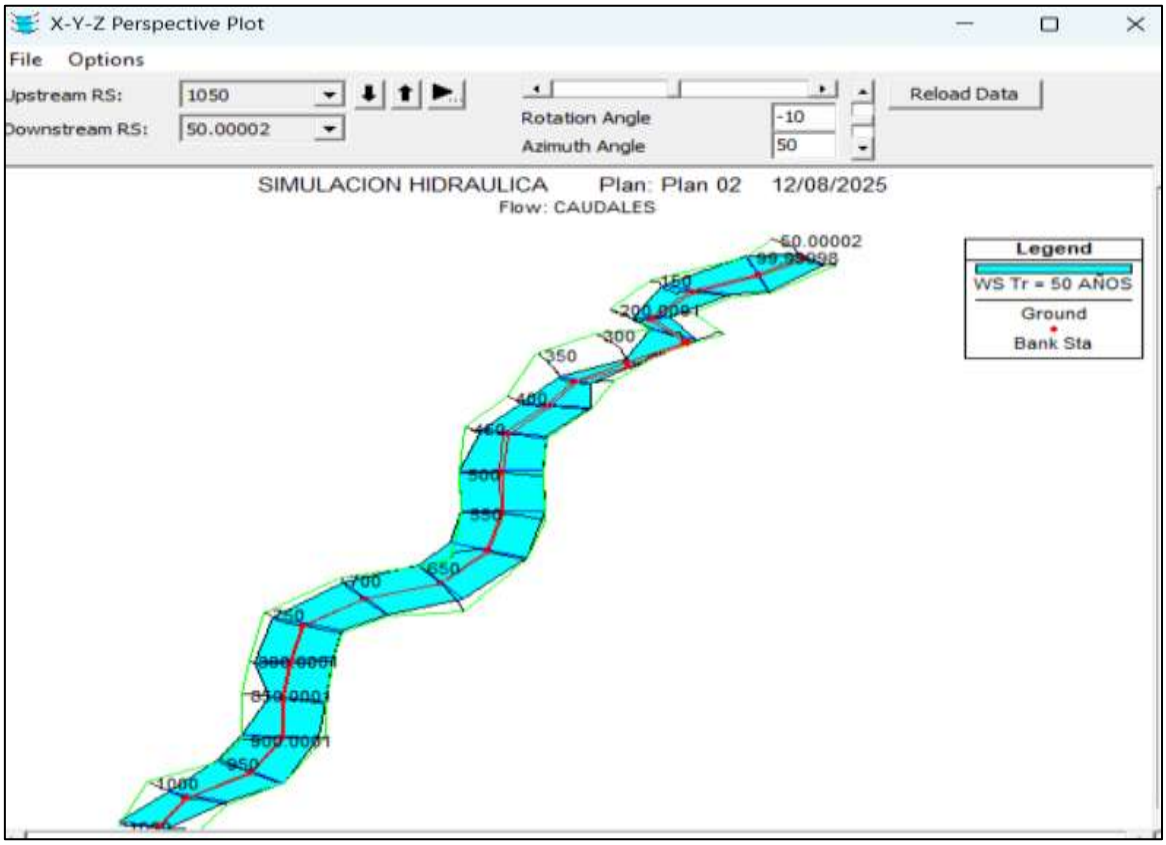


Nota. Representación del perfil hidráulico obtenido para el caudal asociado a un período de retorno de 50 años, evidenciando la variación de la superficie del agua en relación con la geometría del cauce y el terreno a lo largo del tramo evaluado. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

En la figura 20, se tiene el perfil longitudinal del flujo en la quebrada para un periodo de retorno de 50 años, obtenido mediante simulación en HEC-RAS. El flujo se mantiene en régimen subcrítico en todo el tramo (EG > WS). En las zonas de pendiente pronunciada (0–300 m) se observa mayor variación en los niveles de agua.

Figura 21.

Simulación en 3D - Tr = 50 años



Nota. Resultado de la modelación hidráulica en tres dimensiones para el caudal asociado a un período de retorno de 50 años, mostrando la distribución espacial de la lámina de agua y su interacción con la geometría del cauce y el terreno. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

En la figura 21, se confirma que en varios tramos la altura de resguardo es reducida, lo que genera mayor vulnerabilidad a desbordes. El modelo 3D evidencia que, aunque el flujo está contenido, las zonas de curvatura y estrechamiento son los puntos más críticos.

Tabla 7.

Características hidráulicas observadas en las secciones transversales de la quebrada Goncha para un Tr = 50 años

Progresiva	Descripción del comportamiento hidráulico
200 m	El flujo se concentra hacia la margen izquierda del cauce; sin embargo, la altura de resguardo disponible en la margen derecha es reducida, incrementando la susceptibilidad al desbordamiento. Esta sección se considera vulnerable ante eventos superiores al período de retorno de 50 años o ante la presencia de obstrucciones en el cauce.
250 m	La sección presenta una adecuada capacidad de conducción y una amplia altura de resguardo, permitiendo contener el caudal sin riesgo inmediato de desborde. No obstante, las mayores profundidades y velocidades del flujo incrementan el potencial de erosión y socavación del lecho, por lo que requiere medidas de protección y mantenimiento.
300 m	La sección muestra un comportamiento hidráulico estable y favorable, con bajo riesgo de desbordamiento para el período de retorno de 50 años. La altura de resguardo disponible es adecuada y permite una conducción segura del flujo, siempre que el cauce permanezca libre de sedimentos y vegetación excesiva.
350 m	Esta sección constituye uno de los puntos más vulnerables del tramo analizado. La limitada altura de resguardo incrementa el riesgo de desbordamiento ante crecidas de mayor magnitud o procesos de colmatación del cauce. Por ello, se considera un punto crítico que requiere mantenimiento periódico y la evaluación de posibles obras de protección o encauzamiento.

Nota. Caracterización del comportamiento hidráulico observado en las diferentes secciones transversales del tramo evaluado para un período de retorno de 50 años, considerando las condiciones de flujo, la estabilidad hidráulica y la capacidad de conducción del cauce. Fuente*:* Elaboración propia.

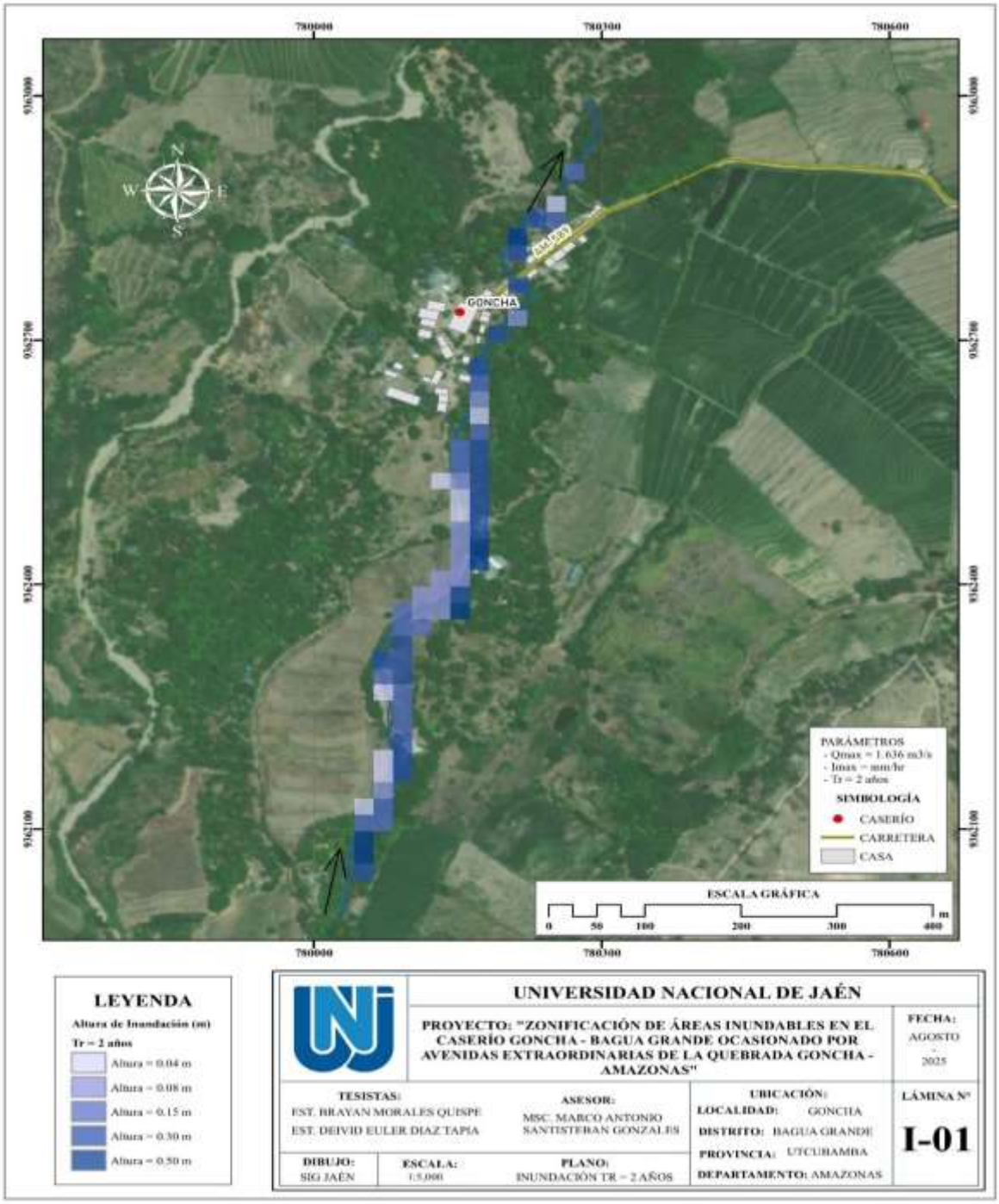
En la tabla 7 los resultados muestran que la quebrada Goncha conduce adecuadamente el caudal correspondiente a un período de retorno de 50 años, sin presentar desbordamientos. No obstante, las progresivas 200 m y 350 m representan los sectores de mayor vulnerabilidad debido a su menor margen de seguridad hidráulica, mientras que las progresivas 250 m y 300 m presentan condiciones más estables, aunque con potencial erosión asociado a las velocidades del flujo (Ver del anexo 3.21 al 3.25).

3.4. Generación de mapas de zonificación de áreas inundables en el caserío Goncha utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) como ArcGIS, con base en los resultados del modelamiento hidráulico.

Del modelamiento hidráulico en HEC-RAS fueron exportados e integrados al entorno SIG mediante la herramienta RAS Mapper. Posteriormente, la información fue georreferenciada utilizando el sistema de coordenadas UTM, datum WGS 84, zona 17S. Con estos datos se elaboraron mapas temáticos para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años. Asimismo, se representaron espacialmente las profundidades y velocidades de flujo generadas por cada escenario de simulación. Finalmente, se delimitaron las áreas inundables considerando profundidades superiores a 0.30 m, obteniéndose la zonificación de las zonas susceptibles a inundación en el caserío Goncha.

Figura 22.

Simulación de inundación en un periodo de retorno de 2 años

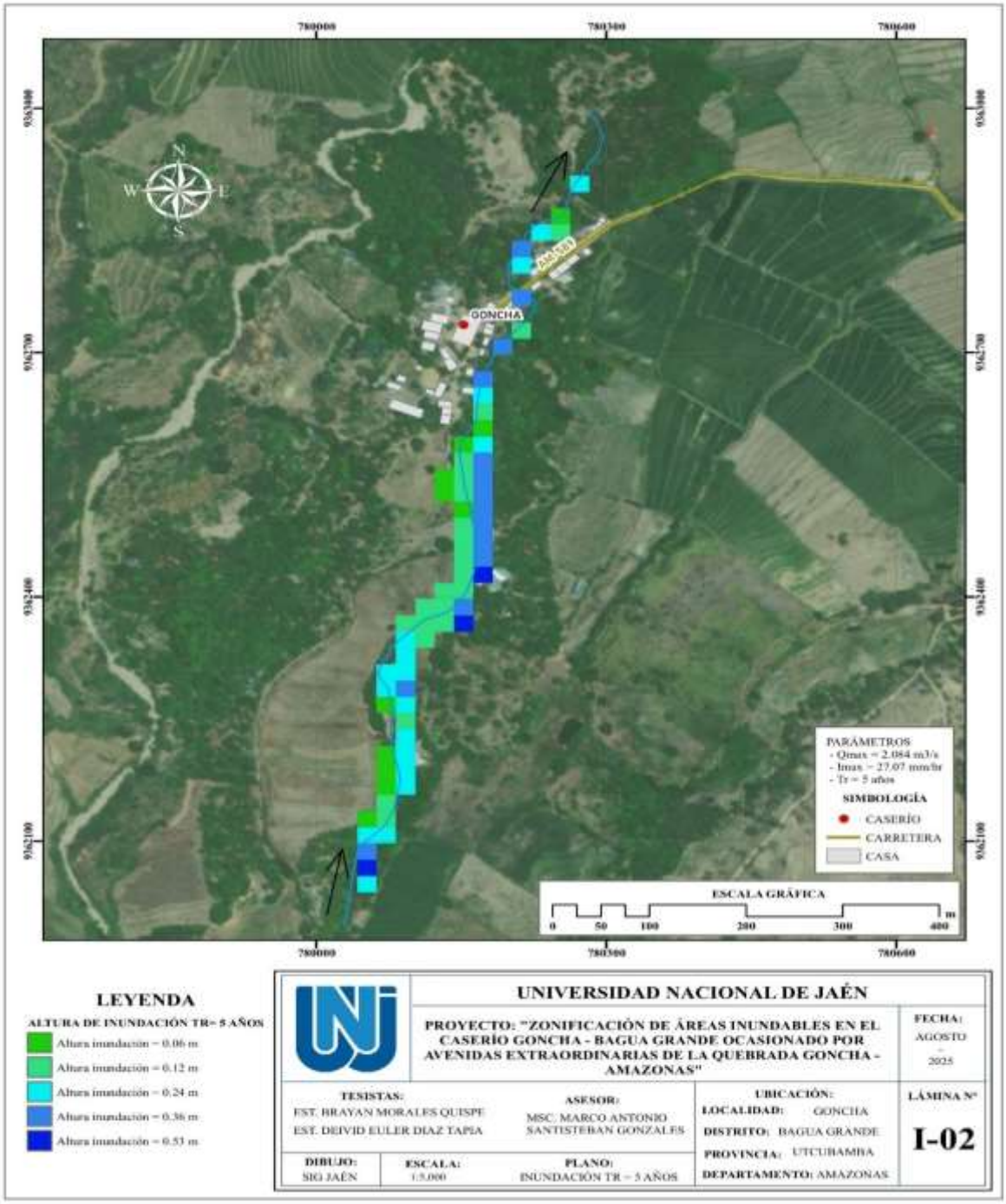


Nota. Representación espacial de la zona inundada obtenida mediante la modelación hidráulica para un período de retorno de 2 años, mostrando la extensión de la inundación a lo largo del cauce evaluado. Fuente: RAS Mapper (2026).

En la figura 22, muestra la extensión de la inundación para un período de retorno de 2 años. Se observa que el flujo se expande principalmente al margen izquierdo de la quebrada, afectando áreas agrícolas y viviendas cercanas. Asimismo, las mayores profundidades de inundación, mayores a 0.40 m, están en las zonas más próximas al cauce.

Figura 23.

Simulación de inundación en un periodo de retorno de 5 años

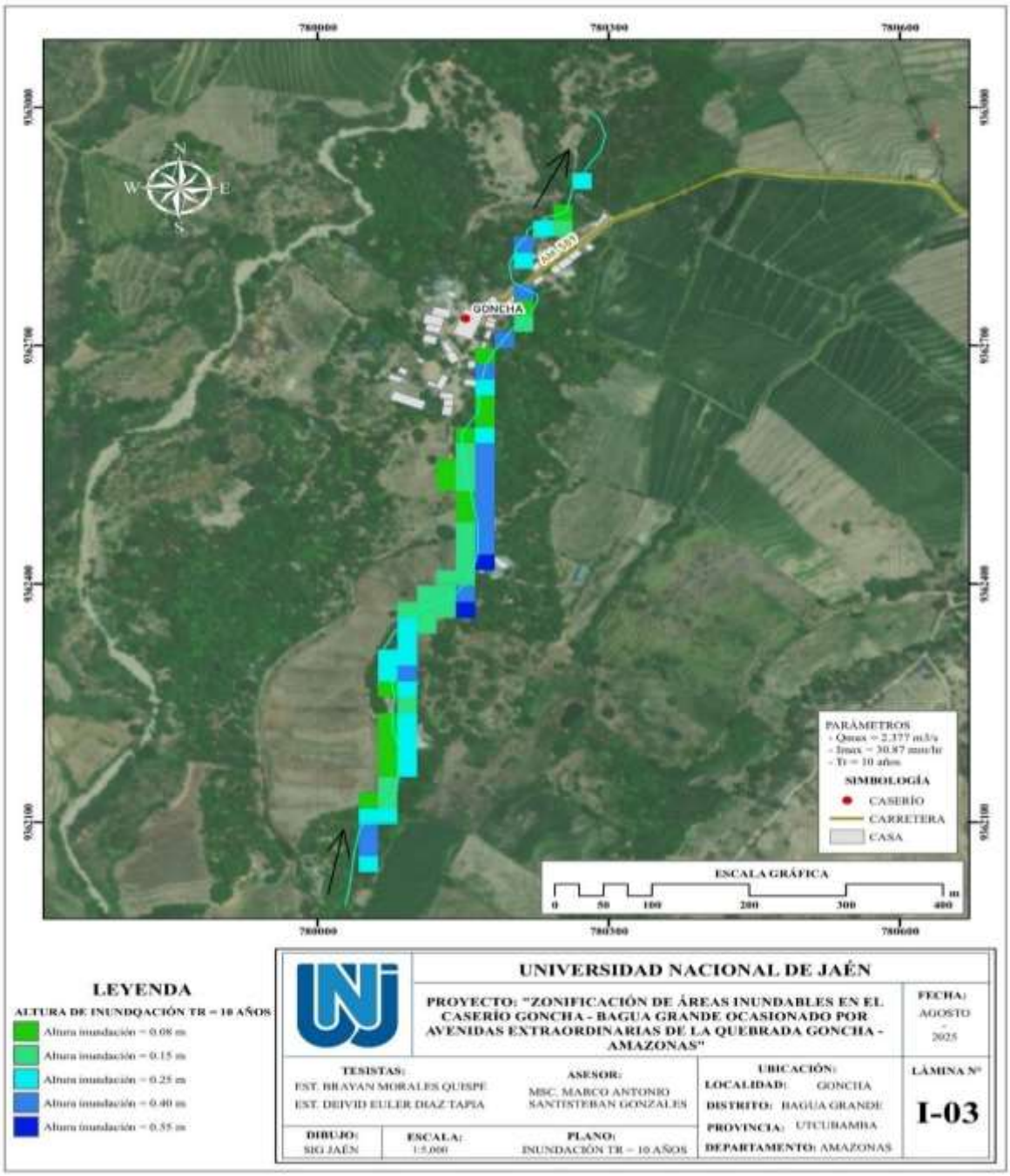


Nota. Representación espacial de la zona inundada obtenida mediante la modelación hidráulica para un período de retorno de 5 años, mostrando la extensión y distribución de la inundación a lo largo del tramo evaluado. Fuente: RAS Mapper (2026).

En la figura 23, muestra la extensión de la inundación en el área de estudio para un periodo de retorno de 5 años. Las zonas más oscuras corresponden a profundidades mayores a 0.53 m. En este periodo se observa que también el flujo en máximas avenidas se desborda por el margen derecho de la quebrada, afectando principalmente a zonas agrícolas.

Figura 24.

Simulación de inundación en un periodo de retorno de 10 años

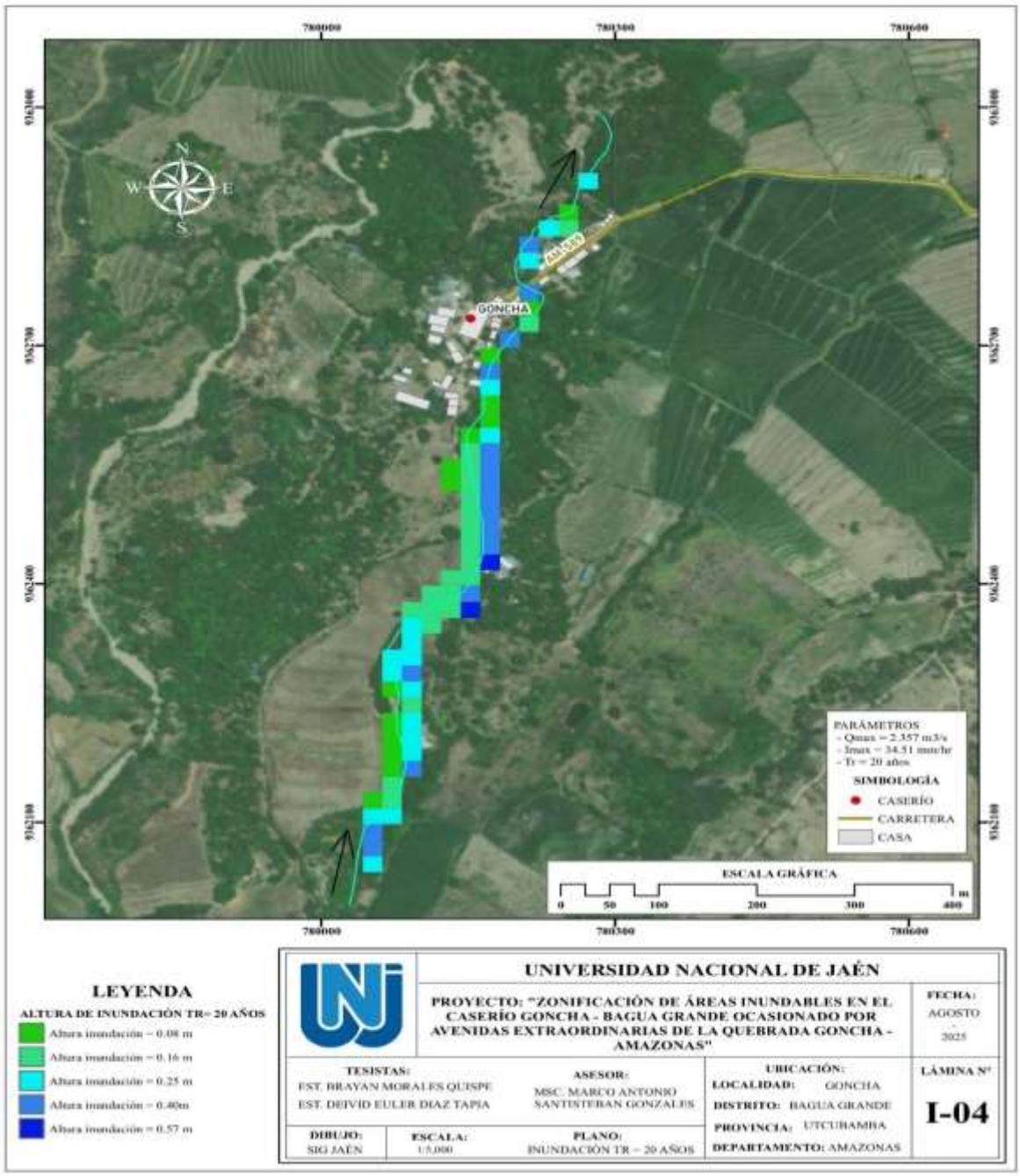


Nota. Representación espacial de la zona inundada obtenida mediante la modelación hidráulica para un período de retorno de 10 años, mostrando la extensión y distribución de la inundación a lo largo del tramo evaluado. Fuente*:* RAS Mapper (2026).

En la figura 24, muestra la extensión de la inundación en el área de estudio para un caudal de 10 años de periodo de retorno. Las zonas más oscuras corresponden a profundidades mayores a 0.55 m. se observa que el flujo también se desborda hacIa el margen derecho afectando a las zonas agrícolas de la población, ya que en la parte alta existen sedimentos y vegetación y esto generaría un mayor desborde.

Figura 25.

Simulación de inundación en un periodo de retorno de 20 años

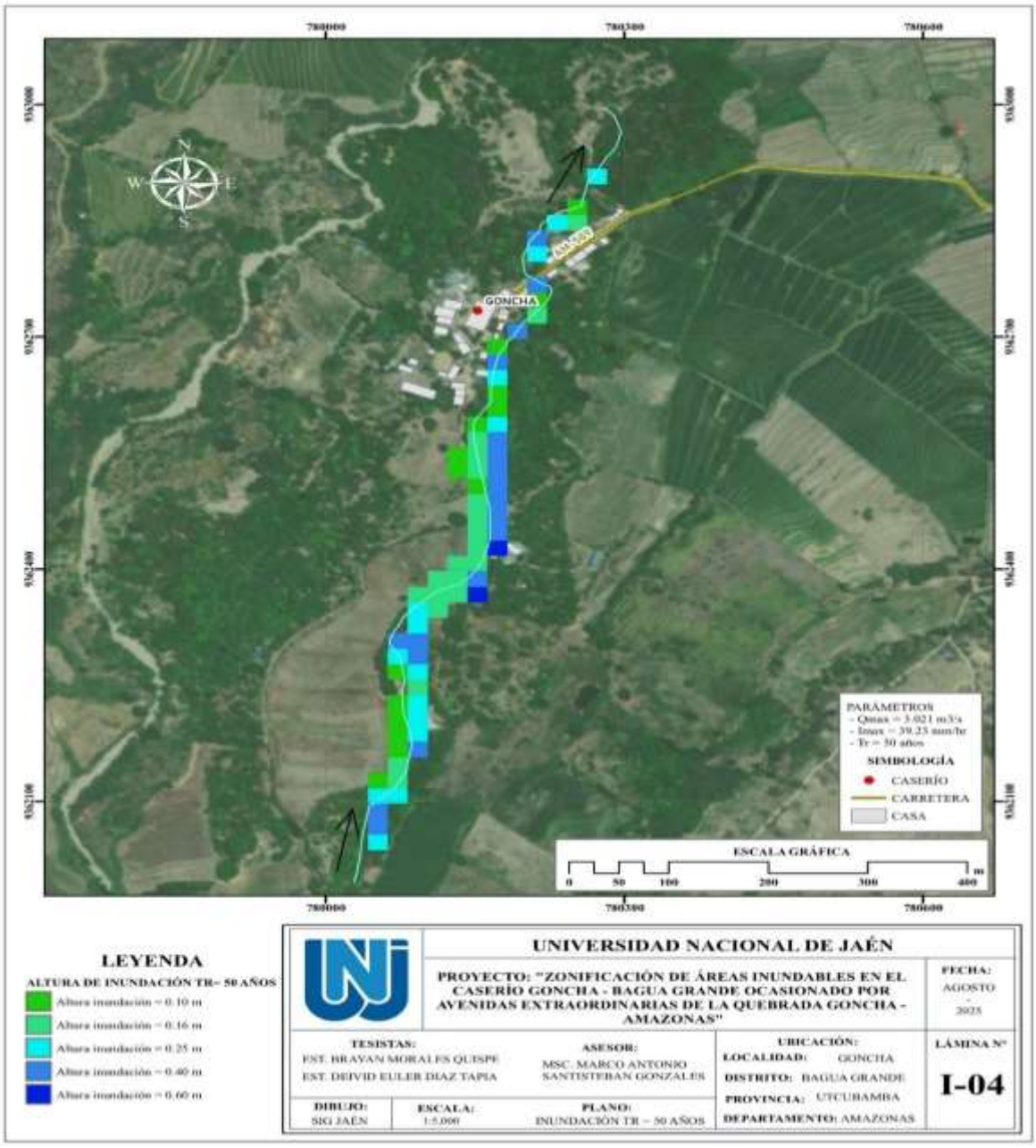


Nota. Representación espacial de la zona inundada obtenida mediante la modelación hidráulica para un período de retorno de 20 años, mostrando la extensión y distribución de la inundación a lo largo del tramo evaluado. Fuente: RAS Mapper (2026).

En la figura 25, muestra la inundación para un período de retorno de 20 años, observándose mayores profundidades alcanzan 0.57 m en el tramo central, mientras que las menores profundidades se ubican en los bordes de la zona inundada. La afectación se presenta sobre terrenos agrícolas y sobre algunas viviendas cercanas al cauce, evidenciando una capacidad hidráulica relativamente adecuada de la quebrada para este escenario.

Figura 26.

Simulación de inundación en un periodo de retorno de 50 años



Nota. Representación espacial de la zona inundada obtenida mediante la modelación hidráulica para un período de retorno de 50 años, mostrando la extensión y distribución de la inundación a lo largo del tramo evaluado. Fuente: RAS Mapper (2026).

La figura 26, muestra la extensión de la inundación para un período de retorno de 50 años. Las mayores profundidades alcanzan aproximadamente 0.60 m y se concentran en el tramo central de la quebrada. La inundación afecta principalmente terrenos agrícolas y algunas viviendas cercanas al cauce; sin embargo, el flujo permanece mayormente contenido dentro de su corredor natural, evidenciando una adecuada capacidad hidráulica de la quebrada Goncha para este escenario.

3.5. Propuesta de medidas estructurales y no estructurales de prevención y/o mitigación en las áreas de inundación, fundamentadas en la zonificación y los resultados del estudio.

Tabla 8.

Medidas estructurales de prevención y mitigación de áreas de inundación en el caserío Goncha

Medida estructural	Descripción
Limpieza y descolmatación del cauce	Realizar periódicamente la limpieza del cauce para retirar sedimentos, vegetación y materiales que reduzcan la capacidad hidráulica de la quebrada, especialmente antes de la temporada de lluvias (Ver anexo 4.1).
Protección localizada contra erosión	Implementar obras puntuales, como enrocados o gaviones, en los sectores donde se identificaron mayores velocidades de flujo y riesgo de socavación, con el fin de proteger el lecho y las márgenes de la quebrada (Ver anexo 4.2).
Estabilización de taludes	Ejecutar acciones de revegetación o estabilización de taludes en zonas con evidencia de erosión, reduciendo el arrastre de sedimentos hacia el cauce y preservando su estabilidad (Ver anexo 4.3).
Conservación de la sección hidráulica	Evitar rellenos, construcciones u otras intervenciones que disminuyan la capacidad hidráulica del cauce, manteniendo las condiciones naturales que permiten conducir adecuadamente los caudales evaluados.

Nota. Medidas estructurales propuestas para la prevención y mitigación de las áreas de inundación en el caserío Goncha, orientadas a mejorar las condiciones hidráulicas del cauce, reducir los procesos de erosión y fortalecer la estabilidad de las zonas vulnerables. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 8 presenta las medidas estructurales propuestas para conservar la capacidad hidráulica de la quebrada Goncha y prevenir el incremento de inundación. Debido a que el modelamiento hidráulico evidenció que el cauce conduce adecuadamente los caudales correspondientes a los períodos de retorno analizados, las acciones planteadas se orientan al mantenimiento preventivo del cauce, la protección localizada frente a procesos de erosión y la conservación de su sección hidráulica, evitando intervenciones de gran magnitud que no se justifican con los resultados obtenidos.

Tabla 9.

Medidas no estructurales de prevención y mitigación de áreas de inundación en el caserío Goncha

Medida no estructural	Descripción
Zonificación del uso del suelo	Incorporar los resultados de la zonificación de inundación en los instrumentos de planificación territorial, restringiendo nuevas edificaciones dentro de la faja marginal de la quebrada (Ver anexo 4.5).
Monitoreo hidrometeorológico	Implementar un sistema de seguimiento de las precipitaciones y niveles de agua que permita detectar oportunamente posibles incrementos del caudal durante eventos extremos.
Sistema de alerta temprana	Establecer mecanismos de alerta dirigidos a la población mediante sirenas, mensajes de texto u otros medios de comunicación para facilitar una respuesta oportuna ante lluvias intensas (Ver anexo 4.4).
Educación y capacitación comunitaria	Desarrollar programas de capacitación sobre gestión del riesgo, rutas de evacuación y medidas de actuación antes, durante y después de una posible inundación.
Actualización de estudios hidrológicos e hidráulicos	Actualizar periódicamente los estudios cuando se presenten cambios en el uso del suelo, crecimiento urbano o eventos hidrológicos extraordinarios que puedan modificar el comportamiento de la quebrada.

Nota. Medidas no estructurales propuestas para la prevención y mitigación de las áreas de inundación en el caserío Goncha, orientadas a la planificación territorial, el monitoreo hidrometeorológico, la implementación de sistemas de alerta temprana y el fortalecimiento de la preparación comunitaria. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 9 reúne las medidas no estructurales orientadas a fortalecer la gestión integral de inundación en el caserío Goncha. Estas acciones priorizan el ordenamiento territorial, el monitoreo hidrometeorológico, los sistemas de alerta temprana y la capacitación de la población, con la finalidad de reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de respuesta ante eventos hidrológicos extraordinarios, manteniendo las condiciones de seguridad identificadas en el presente estudio.

Tabla 10.

Medidas de respuesta y mitigación ante eventos extraordinarios

Medida de mitigación	Descripción
Plan de respuesta ante emergencias	Elaborar un plan que establezca procedimientos de actuación frente a eventos hidrológicos extremos, definiendo responsabilidades y protocolos de coordinación institucional.
Rutas de evacuación	Señalizar y mantener rutas de evacuación que permitan el desplazamiento seguro de la población hacia zonas no expuestas.
Puntos de reunión	Identificar y acondicionar áreas seguras donde la población pueda concentrarse temporalmente durante una emergencia.
Simulacros y coordinación institucional	Realizar simulacros periódicos y fortalecer la coordinación entre la Municipalidad Distrital de Bagua Grande, INDECI, el Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú y los establecimientos de salud para mejorar la capacidad de respuesta.

Nota. Medidas de respuesta y mitigación propuestas ante la ocurrencia de eventos extraordinarios, orientadas a fortalecer la preparación, la evacuación segura, la organización comunitaria y la coordinación institucional en situaciones de emergencia. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 10 presenta las medidas de respuesta orientadas a mejorar la preparación y capacidad de actuación de la población y de las instituciones competentes ante posibles eventos hidrológicos extremos. Aunque el estudio determinó un alto nivel de inundación bajo, la implementación de planes de emergencia, rutas de evacuación, puntos de reunión y simulacros permitirá fortalecer la gestión de inundaciones y minimizar posibles afectaciones en caso de presentarse eventos excepcionales.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la quebrada Goncha evidenciaron una microcuenca de 0.69 km² de área, 3.62 km de perímetro, 1.61 km de longitud máxima del cauce y una pendiente promedio de 2.10 %. Estos resultados muestran que la microcuenca Goncha constituye una unidad hidrográfica de dimensiones relativamente pequeñas en comparación con la microcuenca del río La Quispa estudiada por **Rodríguez (2024)**, quien reportó un área de 96.59 km², perímetro de 50.36 km, longitud del cauce principal de 17.23 km y coeficiente de Gravelius de 1.45. Asimismo, en comparación con la quebrada Huertas estudiada por Dilas (2022)**,** que presentó un área de 98.90 km², perímetro de 51.63 km, longitud máxima de 23.36 km, índice de Gravelius de 1.45, factor de forma de 0.18 y pendiente de cuenca de 50.85%**,** la microcuenca Goncha presenta valores considerablemente menores, con 0.69 km² de área, 3.62 km de perímetro, 1.61 km de longitud máxima y una pendiente de 2.10 %**.** Estas diferencias en las características geomorfológicas influyen en la respuesta hidrológica, la generación y concentración de la escorrentía y, por tanto, en los caudales generados y las áreas potencialmente inundables. Respecto a la precipitación, en la quebrada Goncha se registró una máxima diaria de 84.8 mm y un promedio de máximas diarias de 47.6 mm, concentrándose principalmente entre enero y abril. En contraste, Rodríguez (2024) reportó valores máximos anuales entre 34.40 y 61.02 mm durante el período 1998–2021, mientras que **Dilas (2022)** registró un máximo de 48.6 mm en 1999 para el período 1963–2020. Estas diferencias evidencian la variabilidad espacial de las precipitaciones y resaltan la importancia de emplear información pluviométrica representativa de cada zona de estudio para la estimación de los caudales de diseño, evitando extrapolaciones directas entre microcuencas.

Se estimaron los caudales máximos para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años, mediante el Método Racional, utilizando registros de precipitación de la estación El Pintor y las características morfométricas de la microcuenca Goncha. Se obtuvo un tiempo de concentración de 25.38 min mediante Kirpich y un tiempo de retardo de 15.23 min, empleados para las curvas IDF y el cálculo de caudales de diseño. El análisis de precipitaciones máximas presentó una media de 47.63 mm, desviación estándar de 13.80 mm y coeficiente de asimetría de 0.97. La prueba Kolmogorov–Smirnov identificó a la distribución Gumbel como la de mejor ajuste ($\Delta = 0.05910$), frente a las distribuciones Normal, Log-Normal, Pearson III y Log-Pearson III. Con Gumbel se elaboraron las curvas

IDF e hietogramas, observándose que la intensidad disminuye al aumentar la duración y aumenta con el período de retorno. Finalmente, los caudales máximos fueron 1.643, 2.084, 2.377, 2.657 y 3.021 m³/s para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años, respectivamente. La tendencia creciente confirma que, a mayor período de retorno, mayor es el caudal de diseño, debido al incremento de la precipitación asociada a eventos extremos. Estos resultados coinciden con lo reportado por **Torrico (2022),** quien estimó caudales máximos del río Tumbes para períodos de retorno de 10, 25 y 50 años, obteniendo 2336.07, 2997.27 y 3513.00 m³/s, respectivamente. Su investigación empleó un análisis de frecuencia hidrológica mediante las distribuciones Normal, Log-Normal, Gamma, Gumbel y Log-Gumbel, cuyos resultados fueron utilizados en la modelación hidráulica con HEC-RAS y la delimitación de áreas inundables mediante ArcGIS. Asimismo, **Chilcon (2023),** mediante el Método Racional, estimó caudales máximos de 127.14, 136.66, 151.56, 163.31 y 175.54 m³/s para períodos de retorno de 50, 100, 250, 500 y 1000 años, respectivamente. Aunque los caudales reportados en ambos estudios son considerablemente mayores que los obtenidos en la presente investigación, debido a las diferencias en el área de drenaje, las características físicas de las cuencas, las condiciones de escorrentía, la intensidad de las precipitaciones y el coeficiente de escorrentía, los tres estudios presentan un comportamiento hidrológico similar: el incremento del período de retorno genera mayores precipitaciones de diseño y, en consecuencia, un aumento progresivo de los caudales máximos de avenida**.**

La modelación hidráulica en HEC-RAS 6.4 evidenció un comportamiento estable de la quebrada Goncha para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años, con caudales de 1.643 a 3.021 m³/s. En todos los escenarios, la línea de agua permaneció por debajo de las márgenes naturales y la línea de energía se mantuvo ligeramente por encima de la superficie libre, sin transiciones bruscas ni flujo supercrítico, confirmando que el cauce posee capacidad para conducir las avenidas analizadas. Los resultados mostraron Fr < 1, correspondiente a un flujo predominantemente subcrítico, y un coeficiente de Manning constante de n = 0.045. Cuando la pendiente disminuyó hasta 0.0001 m/m, la velocidad se redujo a 0.04–0.07 m/s y el área hidráulica aumentó hasta aproximadamente 11 m². En pendientes superiores a 0.020 m/m, las velocidades alcanzaron 1.43–1.47 m/s y el área hidráulica disminuyó a 1.2–1.5 m², condición que podría favorecer erosión y socavación localizada. Las secciones de las progresivas 250 m y 300 m presentaron condiciones favorables de confinamiento, mientras que las progresivas 200 m y 350 m fueron más sensibles por la reducción del borde libre. Sin embargo, incluso para el período de retorno

de 50 años, el flujo permaneció contenido dentro del cauce, sin producir desbordamientos. Estos resultados difieren de los obtenidos por **Jhonatan (2023)** en el río Marañón, donde la modelación con HEC-RAS determinó que las secciones críticas comenzaban a inundarse desde un período de retorno de 50 años, principalmente en la margen derecha, afectando viviendas ubicadas dentro de la faja marginal. Asimismo, el incremento del caudal generó mayores profundidades, velocidades y esfuerzos cortantes, produciendo desbordamientos en varias progresivas. Esta diferencia se explica por las características hidráulicas y geomorfológicas de ambos cauces, ya que el río Marañón transporta caudales superiores a 1300 m^3/s y presenta amplias planicies aluviales, mientras que la quebrada Goncha alcanza un caudal máximo de 3.021 m^3/s para un período de retorno de 50 años, manteniendo capacidad suficiente para contener el flujo y sin producir desbordamientos durante las simulaciones. Como similitud, ambos estudios emplearon el coeficiente de rugosidad de Manning para representar las condiciones hidráulicas del cauce. **Santacruz (2023)** utilizó valores de n = 0.062 para el canal principal, 0.063 para la margen izquierda y 0.058 para la margen derecha del río Marañón, mientras que en la presente investigación se empleó n = 0.045 para la quebrada Goncha. Asimismo, Santacruz (2023) identificó como críticas las secciones 160, 240 y 500, debido al desbordamiento hacia la margen derecha, mientras que la sección 660 permaneció estable. En contraste, en Goncha ninguna sección presentó pérdida de confinamiento; sin embargo, las progresivas 200 m y 350 m mostraron menor altura de resguardo, constituyendo sectores que requieren mayor monitoreo y mantenimiento preventivo ante eventos extremos o procesos de colmatación. De manera similar, Ramos **Vásquez (2023)**, en la quebrada Tumbillán, reportó mediante HEC-RAS desbordamientos, profundidades superiores a 1.50 m y afectación directa de viviendas y parcelas agrícolas, resultados que difieren de los obtenidos en la quebrada Goncha.

Los mapas de zonificación, generados mediante HEC-RAS, RAS Mapper y ArcGIS, permitieron representar la distribución de las profundidades de inundación para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años. Las mayores profundidades se concentraron en el eje del cauce, incrementándose de aproximadamente 0.50 m para 2 años a 0.60 m para 50 años. Sin embargo, la superficie inundada permaneció principalmente confinada al corredor hidráulico de la quebrada Goncha, sin una expansión significativa hacia el área urbana. El incremento del período de retorno aumentó la profundidad, pero no modificó considerablemente la extensión lateral de la inundación, confirmando que el cauce tiene capacidad para conducir los caudales hasta 50 años sin desbordamientos. Las mayores

profundidades se ubicaron en el tramo central, donde la geometría concentra el flujo, mientras que las zonas adyacentes presentaron menores profundidades debido al ensanchamiento de la sección y reducción de la velocidad, evidenciando la influencia de la topografía en la distribución de la inundación. Estos resultados difieren de los obtenidos por **Pacherres (2023)** en el centro poblado San Jacinto, Tumbes, donde mediante el modelo bidimensional IBER 3.2.0, una malla de 5m, coeficientes de rugosidad según el uso del suelo y un caudal para un período de retorno de 50 años, se obtuvieron tirantes de 0.01 a 16.40 m, evidenciando una amplia superficie inundable. La diferencia se atribuye principalmente a las condiciones hidráulicas y geomorfológicas de ambos sectores. Mientras San Jacinto se ubica sobre la planicie de inundación del río Tumbes, favoreciendo una mayor expansión lateral del flujo, Goncha se encuentra junto a una quebrada de menor dimensión y con capacidad hidráulica suficiente para contener los caudales simulados. En consecuencia, en Goncha las áreas inundables se mantienen concentradas en el entorno del cauce, con profundidades máximas de aproximadamente 0.60 m, considerablemente menores que las reportadas por Pacherres (2023). Asimismo, los resultados guardan relación con **Leal et al. (2022)**, quienes, mediante modelación hidráulica y análisis SIG en una pequeña cuenca de Portugal, determinaron que la pendiente del cauce, el ancho del canal y de la zona inundable, así como la rugosidad, influyen significativamente en la variación espacial de las profundidades y velocidades. Además, señalaron que el incremento de los caudales máximos y períodos de retorno puede modificar las relaciones entre profundidad y velocidad. Esto coincide con Goncha, donde el aumento del período de retorno incrementó la profundidad de **0.50 a 0.60 m**, pero no produjo una expansión lateral considerable, debido a las condiciones geométricas del cauce.

Los resultados de la presente investigación permitieron plantear medidas estructurales y no estructurales acordes con las condiciones hidráulicas de la quebrada Goncha. Debido a que el modelamiento evidenció que el cauce mantiene capacidad suficiente para conducir los caudales analizados y no presenta desbordamientos hasta el período de retorno de 50 años, las medidas estructurales propuestas se orientan principalmente al mantenimiento y conservación de la sección hidráulica, limpieza y descolmatación y protección localizada frente a la erosión, con el propósito de evitar que la sedimentación o modificaciones del cauce reduzcan su capacidad de conducción. Estos resultados son consistentes con **Reaney (2022)**, quien señala que las medidas de reducción del riesgo deben orientarse a almacenar y ralentizar la escorrentía, priorizando espacialmente

los sectores donde se concentra el flujo. En el caso de Goncha, la identificación de los puntos hidráulicamente más sensibles permite focalizar las acciones de mantenimiento y protección en sectores con menor altura de resguardo o mayor posibilidad de afectación ante modificaciones del cauce. Asimismo, **Mubeen et al. (2021)** sostienen que la gestión del riesgo de inundaciones debe complementar las medidas estructurales tradicionales con alternativas como la restauración de planicies de inundación, la ampliación de cauces y las estructuras de retención, según las características del territorio. Esta perspectiva coincide con los resultados obtenidos en Goncha, donde el bajo nivel identificado no justifica grandes intervenciones de infraestructura, sino acciones orientadas principalmente a conservar la capacidad hidráulica existente y evitar su deterioro. En relación con las medidas no estructurales, la propuesta de zonificación del uso del suelo, monitoreo hidrometeorológico, sistemas de alerta temprana, capacitación comunitaria y actualización periódica de los estudios es coherente con el enfoque de gestión integral. En este sentido, **Asare et al. (2023)** destacan la importancia de integrar la gestión del riesgo de inundaciones con la planificación espacial y el uso del suelo para reducir la exposición de la población. Por ello, la zonificación propuesta para Goncha constituye no solo un producto cartográfico, sino también un instrumento para orientar futuras decisiones de ocupación y planificación del territorio.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se logró caracterizar satisfactoriamente la microcuenca de la quebrada Goncha, determinándose una superficie de 0.69 km², perímetro de 3.62 km, longitud máxima del cauce de 1.61 km y pendiente promedio de 2.10 %. Asimismo, el análisis pluviométrico permitió identificar una precipitación máxima diaria de 84.8 mm, con un promedio de máximas diarias de 47.6 mm y mayor ocurrencia de precipitaciones entre enero y abril. Estos resultados permitieron establecer las condiciones físicas e hidrometeorológicas necesarias para el desarrollo del análisis hidrológico y la posterior evaluación del comportamiento hidráulico de la quebrada Goncha.

- El análisis hidrológico permitió determinar de manera confiable los caudales máximos de avenida para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años, obteniéndose valores de 1.643, 2.084, 2.377, 2.657 y 3.021 m³/s, respectivamente. Los resultados evidenciaron un incremento progresivo del caudal conforme aumenta el período de retorno

- La modelación hidráulica mediante HEC-RAS 6.4 permitió evaluar la quebrada Goncha para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años. Los resultados mostraron una capacidad suficiente para conducir caudales de hasta 3.021 m³/s, con un régimen predominantemente subcrítico y sin desbordamientos. Las progresivas 200 m y 350 m presentaron menor altura de resguardo y mayor susceptibilidad a erosión; sin embargo, el comportamiento general del cauce fue estable, evidenciando condiciones favorables de conducción para los escenarios analizados.

- La integración de los resultados de la modelación hidráulica de HEC-RAS con el software ArcGIS permitió generar satisfactoriamente los mapas de zonificación de las áreas potencialmente inundables para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años, representando espacialmente la distribución de las profundidades del flujo en el tramo de estudio de la quebrada Goncha. Los mapas evidenciaron que el incremento del período de retorno ocasiona un aumento gradual de la profundidad de la lámina de agua; sin embargo, la extensión lateral de las áreas potencialmente inundables permanece

mayormente confinada al cauce natural, sin afectar de manera significativa al caserío Goncha

- Las medidas estructurales deben orientarse a conservar la capacidad hidráulica de la quebrada Goncha mediante limpieza y descolmatación, mantenimiento de la sección del cauce y protección localizada frente a la erosión, especialmente en los sectores hidráulicamente más sensibles. Por su parte, las medidas no estructurales deben enfocarse en la zonificación del uso del suelo, monitoreo hidrometeorológico, implementación de sistemas de alerta temprana, capacitación de la población y actualización periódica de los estudios hidrológicos e hidráulicos. En conjunto, ambas medidas permitirán mantener las condiciones actuales del cauce, reducir la vulnerabilidad de la población y prevenir un eventual incremento del nivel de inundación.

- La hipótesis de investigación fue refutada, debido a que las zonas inundables identificadas no presentaron una extensión significativa en el caserío Goncha. La modelación hidráulica para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años evidenció que la inundación se concentra principalmente dentro del corredor hidráulico de la quebrada Goncha, incrementándose principalmente la profundidad de inundación y no su extensión lateral. Por tanto, los resultados no respaldan la afirmación de que las áreas inundables sean extensas, sino que demuestran que el cauce mantiene capacidad para conducir los caudales analizados sin producir desbordamientos significativos hacia el área urbana.

5.2. Recomendaciones

- En futuras investigaciones relacionadas con estudios hidrológicos e hidráulicos, la recopilación de información hidrometeorológica sea complementada con series históricas de mayor longitud y con registros provenientes de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, a fin de reducir la incertidumbre en la estimación de las precipitaciones extremas.

- Complementar futuras modelaciones hidráulicas incorporando escenarios de mayor recurrencia (100, 200 y 500 años), así como evaluar el efecto de la colmatación del cauce, la acumulación de sedimentos, la presencia de vegetación y posibles obstrucciones por material de arrastre, debido a que estos factores pueden modificar significativamente la capacidad hidráulica de la quebrada. Asimismo, realizar inspecciones y monitoreos periódicos en las progresivas 200 m y 350 m, donde se identificó una menor altura de resguardo y mayor susceptibilidad a procesos de erosión, con el propósito de conservar la estabilidad del cauce y garantizar el adecuado funcionamiento hidráulico frente a futuros eventos hidrológicos extraordinarios.

- Que la cartografía de zonificación de las áreas potencialmente inundables sea incorporada como instrumento técnico para el ordenamiento territorial y la planificación del desarrollo urbano del caserío Goncha. Asimismo, es conveniente actualizar periódicamente los mapas de inundación considerando nuevos levantamientos topográficos, modificaciones en la morfología del cauce, cambios en el uso del suelo y escenarios hidrológicos asociados al cambio climático, con el propósito de mantener una representación espacial confiable de las zonas susceptibles a inundación. Finalmente, se sugiere complementar la zonificación con modelos bidimensionales de flujo y análisis de vulnerabilidad de los elementos expuestos, a fin de fortalecer la gestión integral de desastres naturales.

- Que la Municipalidad Provincial de Utcubamba, la Municipalidad Distrital de Bagua Grande y las entidades responsables de la gestión del riesgo incorporen las medidas propuestas en sus instrumentos de planificación y gestión territorial, priorizando el mantenimiento periódico del cauce, la protección localizada de las márgenes, el monitoreo hidrometeorológico y la implementación de sistemas de alerta temprana.

Asimismo, actualizar periódicamente los estudios hidrológicos e hidráulicos y evaluar el comportamiento de la quebrada ante escenarios de mayor recurrencia o cambios en el uso del suelo, con el fin de garantizar que las medidas de prevención y mitigación continúen siendo eficaces frente a futuras condiciones hidrológicas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo, F. (2024). *Evaluación de riesgo por inundación fluvial en el centro poblado San Juan de la Virgen, Tumbes – 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Tumbes. https://repositorio.untumbes.edu.pe/items/a0a0a848-2e22-4c15-bd14-5057b6ae208a

Asare, P., Atun, F., & Pfeffer, K. (2023). Nature-Based Solutions (NBS) in spatial planning for urban flood mitigation: The perspective of flood management experts in Accra. *Land Use Policy*, 133, 106865. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837723003319

Bernardo, V., & Velasquez, J. (2021). *Análisis integral de riesgos para la mitigación ante inundaciones en zonas urbanas* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/3c96c1f5-b6ef-48be-ba6e-19b77d044c5d

Chilcon, A. (2023). *Zonificación de áreas inundables en la ciudad de Bagua Grande Ocasionado por avenidas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/8024

Cisneros, S., & Granja, E. (2023). *Analisis del riesgo de inundaciones en seis barrios del sur de quito y planificación de estrategias para la reducción de la vulnerabilidad. Cantón, 2022-2023* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25628

Cevallos, J. (2020). *Determinación de zonas inundables mediante sig y elaboración de propuestas de mitigación en la cabecera cantonal Daule* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad Agraria del Ecuador. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CEVALLOS%20TIGREROS%20JEREMIAS%20JOSE_compressed.pdf

Dávila, A. (2024). *Evaluación de riesgos por inundación de la I.E.I.P.S.M. Juan Blas Valera en la margen izquierda del río Utcubamba, Puerto Naranjitos, Amazonas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza.

https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/4042?locale-attribute=en

Davila, L. (2022). *Políticas de reducción de vulnerabilidad ante inundaciones por desborde del río Lurin en el asentamiento humano El Olivar, Lurin 2021* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/80090

Dilas Gonzales, E. D. L. C. (2022). *Identificación de las Áreas Inundables por la Quebrada Huertas en la Zona Urbana de la localidad de Chilete, Cajamarca-2021* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universodad Nacional de Cajamarca. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5304

Dorta Antequera, PJ, Martín Raya, N., López Díez, A., & Díaz Pacheco, J. (2024). *Identificación de áreas urbanas propensas a inundaciones repentinas: El caso de Santa Cruz de Tenerife*. https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/16745

Falconi, R. (2024). *Probables zonas de afectación por inundación del río Yanayacu* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional Universidad Central del Ecuador. https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/b1f7124f-07fc-4de5-80ba-550780b9f533

Gonzales, E. (2022). *Evaluación de Riesgo por Inundación de la Quebrada San Idelfonso, en el Distrito de el Porvenir*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Reporitorio Institucional de la Universidad Privada del Norte. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30731/Gonzales%20Alfaro%20Jhoselyn%20Edith.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gonzales, J. (2022). *Evaluación de riesgo por inundación de la Quebrada San Idelfonso, en el distrito de El Porvenir* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional de la Universidad Privada del Norte. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30731

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación.* México D.F.: McGraw-Hill Educ ation. https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/metodologia-de-la-investigaci%C3%83%C2%B3n_sampieri.pdf

Instituto Geofísico del Perú. (2020). *Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios simicos en el borde occidental del Perú* https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/4893/ESCENARIO_SISMICO_PERU_IGP2020.pdf

Jhonatan, S. (2023). *Estimación del riesgo por inundación del rio Marañon en la faja marginal de la zona urbana de la localidad Cumba, Utcubamba-Amazonas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6135

Leal, M., Reis, E., & Santos, P. P. (2022). Exploring spatial relationships between stream channel features, water depths and flow velocities during flash floods using HEC-GeoRAS and Geographic Information Systems. *Journal of Geographical Sciences*, *32*(4), 757-782. https://link.springer.com/article/10.1007/s11442-022-1971-z

Mubeen, A., Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Sanchez Torrez, A., & Plavšić, J. (2021). Planning and Suitability Assessment of Large-scale Nature-based Solutions for Flood-risk Reduction: Planning and Suitability Assessment of Large-scale Nature-based Solutions for Flood-risk Reduction. *Water Resources Management*, *35*(10), 3063-3081. https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-021-02848-w

Pacherres, A. (2023). *Evaluación de riesgo originado por inundación fluvial al centro poblado San Jacinto, distrito de San Jacinto, Tumbes.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Tumbes. https://repositorio.untumbes.edu.pe/items/a46f6a4b-8971-4ee1-b412-d8c5be9a72c7

Paredes Delgado, R. I. (2023). *Evaluación del nivel de riesgo de inundación por la quebrada Tumbillan en la localidad de Bellavista viejo de la provincia de Jaén, región*

Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/6012/Paredes%20Delgado%20Ronald%20Ivan.pdf?sequence=5

Reaney, S. M. (2022). Spatial targeting of nature-based solutions for flood risk management within river catchments. *Journal of Flood Risk Management*, *15*(3), 12803. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfr3.12803

Rodríguez Ortiz, M. I. (2024). *Zonificación de áreas inundables en el centro poblado El Arroyo ocasionado por avenidas extraordinarias del río La Quispa–Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6854

Soto, M. (2022). *Análisis del riesgo frente a inundaciones en la Administración Zonal Quitumbe perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito en el periodo de enero a junio 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad Central del Ecuador. https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/6013b778-2209-45fe-9176-5f1610a53f28

Tamayo, & Tamayo, M. (2011). *El proceso de la investigación cientifica.* México D.F.: Limusa. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso__de_la_investigaci_n_cient_fica_Mario_Tamayo.pdf

Tenesaca-Saca, M. E., Reyes-Zambrano, J. L., Vallejo-Vizhuete, D. P., & Chavarría-Párraga, J. E. (2024). Modelación hidrológica e hidráulica para la identificación de zonas de inundación en la quebrada Las Abras, Riobamba. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación. ISSN: 2697-3693.*, *7*(14), 323-343. http://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/228

Torrico, D. (2022). *Estimación de zonas inundables en el río Tumbes: caso sectores El Higuerón – Carretas – Casa Blanqueada – Oidor, provincia de Tumbes, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Tumbes.

https://repositorio.untumbes.edu.pe/items/d44cbd4c-5299-4728-846b-05265449d716

Willys, G. (2021). *Análisis de riesgo por inundaciones en zona urbana de la ciudad de tijuana* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Baja California. https://repositorioinstitucional.uabc.mx/entities/publication/f9dcb0cb-8a16-466c-8f0c-5650f813143c

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarnos y protegernos en cada etapa de nuestra vida, por brindarnos la fortaleza, la salud y la perseverancia necesarias para culminar este proyecto tan anhelado, que representa un importante logro académico y personal.

A nuestros padres y hermana, por su apoyo incondicional, comprensión y palabras de aliento durante todo el proceso de formación profesional, siendo un pilar fundamental para alcanzar la meta de convertirnos en ingenieros civiles.

Bach. Brayan Morales Quispe
Bach. Deivid Euler Diaz Tapia

DEDICATORIA

Este estudio está dedicado a Dios, quien siempre ha sido nuestra guía y protector en cada etapa de nuestra vida, y a quien agradecemos por brindarnos la salud, la fortaleza y la perseverancia necesarias para alcanzar este objetivo académico.

Asimismo, dedicamos este trabajo a nuestros padres y hermanos, quienes, con su amor, apoyo incondicional y constante motivación nos han acompañado en todo momento, permitiéndonos culminar con éxito este anhelado logro profesional.

Bach. Brayan Morales Quispe

Bach. Deivid Euler Diaz Tapia

ANEXOS

Anexo 1

Topografía

Anexo 1.1. Evaluación de información Topográfica

N°	NORTE	ESTE	ELEVACION	DESCRPCION
1	9362811.354	780196.3928	466.14	E1
2	9362778.24	780199.3947	481.8	E4
3	9362756.27	780228.6897	481.824	E6
4	9362788.871	780198.2406	465.644	BORDE
5	9362802.564	780196.5765	465.346	BORDE
6	9362795.917	780198.2138	465.883	BORDE
7	9362808.843	780198.2375	465.345	BORDE
8	9362806.207	780199.9187	465.203	BORDE
9	9362819.784	780201.1093	465.182	BORDE
10	9362816.829	780202.6027	465.095	BORDE
11	9362829.531	780210.0058	465.057	BORDE
12	9362829.406	780207.2164	464.972	BORDE
13	9362834.583	780213.3075	465.038	BORDE
14	9362822.989	780194.3142	466.338	RELLENO
15	9362818.564	780197.5179	466.389	RELLENO
16	9362817.504	780199.5381	465.705	RELLENO
17	9362805.312	780196.0099	466.035	RELLENO
18	9362804.671	780190.7832	466.632	RELLENO
19	9362795.972	780185.5928	466.667	RELLENO
20	9362795.385	780189.1934	466.713	RELLENO
21	9362840.243	780216.8562	465.997	E1
22	9362835.911	780215.1304	465.998	RE
23	9362828.538	780210.499	465.759	RE
24	9362821.56	780205.1019	465.921	RE
25	9362834.707	780225.9007	465.877	RE
26	9362827.207	780230.7877	465.915	RE
27	9362828.816	780236.9767	465.803	RE
28	9362834.994	780213.2489	464.9	RE
29	9362839.736	780213.1525	464.803	QUEBRA
30	9362848.651	780217.018	464.718	QUEBRA
31	9362845.038	780214.828	464.768	QUEBRA
32	9362845.396	780214.4958	465.439	R
33	9362849.115	780216.1122	465.403	R
34	9362851.676	780215.8502	465.481	R
35	9362862.4	780223.5423	465.568	E3
36	9362849.45	780219.6691	465.182	Q
37	9362855.659	780222.3424	465.295	Q
38	9362854.238	780221.0551	465.915	R
39	9362858.349	780216.132	466.125	R
40	9362850.897	780223.4001	465.215	Q
41	9362857.254	780227.3232	465.22	Q
42	9362855.577	780228.4841	465.22	Q
43	9362860.362	780226.6368	465.948	R
44	9362856.537	780230.86	465.873	R

45	9362864.771	780226.328	466	R
46	9362864.184	780235.6315	465.375	Q
47	9362861.562	780236.4958	465.238	Q
48	9362868.937	780236.9248	465.854	R
49	9362871.843	780236.1553	465.848	R
50	9362866.796	780245.2817	465.139	R
51	9362864.07	780242.9802	465.131	Q
52	9362864.947	780248.8658	464.999	Q
53	9362868.963	780253.11	464.978	Q
54	9362870.891	780256.8812	465.086	Q
55	9362878.611	780256.1544	465.03	Q
56	9362887.72	780259.0624	464.966	Q
57	9362895.977	780259.6207	465.429	Q
58	9362894.238	780262.8168	465.437	PNT
59	9362898.215	780260.3895	465.502	PNT
60	9362898.74	780258.2731	465.509	PNT
61	9362892.849	780255.1015	465.462	R
62	9362781.898	780203.7736	467.015	PNTPE
63	9362780.336	780204.0357	467.262	PNTPE
64	9362780.696	780209.9639	466.486	PNTPE
65	9362773.632	780199.9575	466.674	PNTPE
66	9362779.155	780205.6239	467.037	PNTPE
67	9362776.2	780202.3982	467.011	PNTPE
68	9362778.901	780205.5547	467.284	PNTPE
69	9362776.422	780202.5493	467.279	PNTPE
70	9362778.192	780201.3824	467.058	PNTPE
71	9362780.188	780203.4119	466.063	PNTPE
72	9362778.515	780201.3546	466.025	PNTPE
73	9362780.541	780201.2883	465.672	QEJE
74	9362781.761	780201.2733	465.987	Q
75	9362780.312	780199.8186	466.034	Q
76	9362771.549	780207.4852	466.418	CALL
77	9362776.71	780196.7988	466.925	CALL
78	9362760.157	780194.9194	467.397	CALL
79	9362767.021	780191.6218	467.179	CALL
80	9362747.857	780186.9615	467.694	CALL
81	9362749.603	780179.8109	467.803	CALL
82	9362741.51	780181.76	468.041	CALL
83	9362739.542	780173.0338	468.239	CALL
84	9362745.575	780181.179	467.99	CALL*JE
85	9362771.641	780199.493	466.469	CALL*JE
86	9362777.008	780212.437	466.349	E5
87	9362769.461	780213.6881	466.21	Q
88	9362771.165	780216.0261	466.189	Q
89	9362768.024	780213.8983	466.517	R
90	9362769.208	780220.1718	466.23	Q

91	9362765.103	780221.9818	466.214	Q
92	9362767.972	780221.5196	466.048	Q
93	9362765.533	780220.1023	466.217	Q
94	9362765.521	780223.6033	466.207	Q
95	9362761.311	780226.2122	466.323	Q
96	9362756.27	780228.6897	466.824	E6
97	9362777.008	780212.437	466.349	E6
98	9362757.074	780225.5718	466.374	Q
99	9362752.683	780223.3034	467.185	R
100	9362752.791	780226.6245	466.455	Q
101	9362747.5	780221.7595	466.502	Q
102	9362752.522	780227.5767	467.444	R
103	9362743.501	780219.6698	466.45	Q
104	9362744.432	780222.2677	466.453	Q
105	9362739.806	780216.8825	466.477	Q
106	9362744.885	780224.4141	467.541	R
107	9362740.507	780215.7432	466.866	R
108	9362735.942	780213.1509	466.615	Q
109	9362732.259	780211.7709	466.6	Q
110	9362732.186	780208.5221	466.67	Q
111	9362726.786	780207.3376	466.549	Q
112	9362723.403	780202.0553	466.822	Q
113	9362722.346	780203.8721	466.723	Q
114	9362719.352	780198.5284	466.798	Q
115	9362726.287	780204.4176	466.787	E7
116	9362762.344	780211.1669	467.216	R
117	9362757.873	780223.7413	467.832	R
118	9362769.147	780222.6268	467.052	R
119	9362760.716	780229.1383	467.279	R
120	9362768.254	780223.8727	467.097	R
121	9362718.602	780225.9488	468.251	R
122	9362712.908	780215.5827	468.436	R
123	9362724.497	780210.0123	467.543	R
124	9362720.948	780205.7066	467.46	R
125	9362721.102	780207.637	467.921	R
126	9362719.673	780199.0525	466.847	Q
127	9362712.588	780196.1159	466.638	Q
128	9362702.041	780188.7998	467.069	Q
129	9362712.601	780194.3265	466.805	Q
130	9362693.352	780182.4421	467.202	Q
131	9362705.086	780188.9639	467.346	Q
132	9362689.219	780180.1614	467.312	Q
133	9362692.101	780179.0796	467.293	Q
134	9362681.124	780174.0254	467.6	Q
135	9362676.812	780172.3736	467.589	Q
136	9362721.755	780214.8821	468.062	R

137	9362716.533	780220.9709	468.383	R
138	9362723.77	780207.4533	467.782	R
139	9362702.74	780225.4146	469.42	R
140	9362719.705	780197.2681	467.727	R
141	9362732.657	780201.6258	467.591	R
142	9362736.302	780206.1656	467.494	R
143	9362729.278	780203.2838	468.017	R
144	9362738.85	780213.1663	467.458	R
145	9362703.053	780189.6124	467.258	R
146	9362715.777	780193.6893	468.073	R
147	9362723.903	780192.9141	468.105	R
148	9362778.067	780215.6277	466.692	CALLE
149	9362783.59	780211.7668	466.653	CALLE
150	9362781.772	780219.8948	466.834	CALLE
151	9362793.001	780223.6762	466.913	CALLE
152	9362788.895	780228.3276	466.854	CALLE
153	9362799.046	780230.8793	466.62	CALLE
154	9362796.172	780236.1139	466.952	CALLE
155	9362806.793	780239.3369	466.4	CALLE
156	9362804.327	780244.7624	466.421	CALLE
157	9362812.006	780253.1867	466.324	CALLE
158	9362817.271	780248.8542	466.319	CALLE
159	9362822.579	780265.5751	466.116	CALLE
160	9362826.9	780264.5995	466.129	CALLE
161	9362837.036	780282.6924	465.957	CALLE
162	9362836.582	780274.9868	466.124	CALLE
163	9362851.253	780291.3502	466.088	CALLE
164	9362847.578	780294.703	466.027	CALLE
165	9362856.547	780305.3738	466.141	CALLE
166	9362861.237	780303.4345	466.078	CALLE
167	9362676.148	780174.2624	467.589	Q
168	9362660.336	780168.228	468.2	Q
169	9362662.91	780169.348	468.1	Q
170	9362650.746	780167.631	468.7	Q
171	9362627.888	780164.582	469.15	Q
172	9362617.56	780165.456	469.1	Q
173	9362590.719	780147.605	469.4	Q
174	9362707.734	780161.811	469.7	Q
175	9362616.06	780167.0939	469.1	Q
176	9362589.219	780149.2429	469.4	Q
177	9362658.836	780169.8659	468.2	Q
178	9362661.41	780170.9859	468.1	Q
179	9362649.246	780169.2689	468.7	Q
180	9362626.388	780166.2199	469.15	Q
181	9362901.719	780263.6533	464.429	Q
182	9362907.474	780266.926	464.31	Q

183	9362913.311	780269.6153	464.309	Q
184	9362919.369	780273.2171	464.3	Q
185	9362927.947	780277.4042	464.291	Q
186	9362939.055	780284.2116	464.28	Q
187	9362948.288	780290.6841	464.24	Q
188	9362963.66	780294.9102	464.2	Q
189	9362900.317	780267.7197	464.429	Q
190	9362906.073	780270.9924	464.31	Q
191	9362911.909	780273.6816	464.309	Q
192	9362917.968	780277.2835	464.3	Q
193	9362926.546	780281.4705	464.291	Q
194	9362937.654	780288.278	464.28	Q
195	9362946.887	780294.7504	464.24	Q
196	9362962.259	780298.9765	464.2	Q
197	9362974.179	780291.226	464.16	Q
198	9362982.869	780287.5418	464.135	Q
199	9362992.818	780278.3807	464.128	Q
200	9362981.08	780294.186	464.16	Q
201	9362989.77	780290.5018	464.135	Q
202	9362999.72	780281.3406	464.128	Q
203	9362577.219	780145.9637	469.409	Q
204	9362562.837	780146.8475	469.418	Q
205	9362547.778	780149.4015	469.435	Q
206	9362530.053	780152.6205	469.43	Q
207	9362508.079	780157.728	469.444	Q
208	9362493.091	780159.3583	469.463	Q
209	9362478.428	780162.293	469.47	Q
210	9362462.2	780163.3952	469.486	Q
211	9362444.554	780163.1867	469.498	Q
212	9362436.405	780163.1476	469.512	Q
213	9362426.637	780160.6496	469.532	Q
214	9362410.368	780154.9092	469.544	Q
215	9362401.07	780150.4627	469.562	Q
216	9362388.498	780141.0054	469.578	Q
217	9362381.202	780131.7424	469.587	Q
218	9362373.163	780110.493	469.599	Q
219	9362356.082	780092.2138	469.603	Q
220	9362339.505	780076.2832	469.618	Q
221	9362321.516	780067.8351	469.646	Q
222	9362306.526	780061.9834	469.664	Q
223	9362299.122	780064.108	469.676	Q
224	9362283.068	780071.7813	469.69	Q
225	9362250.123	780075.5398	469.702	Q
226	9362232.371	780068.9884	469.719	Q
227	9362207.049	780074.3981	469.756	Q
228	9362181.316	780083.3954	469.782	Q

229	9362138.173	780077.8577	469.795	Q
230	9362109.766	780053.3498	469.8	Q
231	9362089.936	780032.5848	470.512	Q
232	9362035.983	780031.3291	470.544	Q
233	9361995.567	780026.1363	470.92	Q
234	9362006.767	780034.282	470.92	Q
235	9362058.496	780041.624	470.544	Q
236	9362091.726	780050.515	469.8	Q
237	9362117.518	780075.7607	469.795	Q
238	9362165.75	780089.2369	469.782	Q
239	9362199.864	780084.1341	469.756	Q
240	9362238.298	780078.5355	469.702	Q
241	9362271.243	780080.1692	469.69	Q
242	9362303.441	780065.9255	469.664	Q
243	9362315.902	780068.8996	469.646	Q
244	9362336.954	780078.5393	469.618	Q
245	9362352.991	780093.1828	469.603	Q
246	9362370.129	780112.2758	469.599	Q
247	9362378.861	780133.3643	469.587	Q
248	9362386.577	780142.8676	469.578	Q
249	9362398.849	780152.9256	469.562	Q
250	9362409.614	780157.4794	469.544	Q
251	9362425.306	780163.5556	469.532	Q
252	9362442.981	780167.0614	469.498	Q
253	9362461.473	780167.4685	469.486	Q
254	9362482.248	780165.81	469.47	Q
255	9362499.444	780161.6815	469.463	Q
256	9362525.657	780157.4113	469.43	Q
257	9362554.324	780153.5079	469.435	Q
258	9362577.512	780150.95	469.409	Q
259	9361996.668	780020.1852	471.06	R
260	9361995.949	780033.3161	470.3	R
261	9362092.229	780027.1075	470.76	Q
262	9362075.735	780052.6645	469.463	Q
263	9362181.075	780071.8429	469.86	Q
264	9362199.766	780094.1166	469.6	Q
265	9362282.383	780061.5048	469.796	Q
266	9362303.837	780072.2579	469.44	Q
267	9362392.675	780116.4883	469.769	Q
268	9362414.09	780168.7305	469.236	Q
269	9362492.045	780150.651	469.65	Q
270	9362503.23	780167.4868	469.263	Q
271	9362592.892	780141.4452	469.51	Q
272	9362625.565	780186.54	469.02	Q
273	9362947.823	780281.5409	464.08	Q
274	9362952.616	780305.9363	464.64	Q

275	9362992.208	780269.6906	464.08	Q
276	9363002.71	780285.5203	464.008	Q
277	9362925.329	780285.6902	464.291	Q
278	9362905.216	780274.1719	464.31	Q

Nota. Se presenta las coordenadas UTM (Norte y Este) y las elevaciones de cada punto de control topográfico, levantados en la zona de estudio. Esta información sirvió de base para generar el modelo digital de elevaciones (DEM) y las curvas de nivel. Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2

Cálculo del máximo caudal

El análisis del caudal de máximas avenidas permite estimar el flujo máximo que puede registrarse en la quebrada Goncha durante eventos extraordinarios. Esta estimación se realizó a partir de datos de precipitaciones máximas obtenidos de la estación El Pintor, combinados con parámetros morfométricos de la microcuenca y modelación hidráulica en HEC-RAS 6.0

Parámetros de la microcuenca:

Área de la cuenca: 0.693 km²

Perímetro: 3.62 km

Longitud más larga del cauce: 1.61 km

Pendiente promedio del cauce: 2.1%

Tiempo de concentración (Tc) y periodo de retardo (Tr)

Tc según fórmula de Kirpich:

$$Tc = 0.01947x\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en minutos.

L: Longitud del cauce principal (o la distancia más larga que recorre el agua) en metros.

S: Pendiente media de la cuenca

Entonces el Tc = 25.38 min

Tr está dada por la siguiente fórmula

$$Tr = 0.6xTc$$

Entonces el Tr = 15.23 min

Análisis hidrológico

Se aplicó la distribución de Gumbel para determinar las precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50 años). Los cálculos se basaron en la serie de máximas diarias de 30 años.

Para el análisis hidrológico e hidráulico se recomiendan las siguientes fórmulas:

- Distribución de Gumbel para precipitación extrema:

$$XT = X + K * S$$

Donde: XT = Precipitación para un periodo de retorno T,

$\bar{X}$ = media de la serie,

s = desviación estándar,

K = factor de frecuencia.

- DISTRIBUCION DE GUMBEL:

$$K = (yT - 0.5772) * (\frac{\pi}{\sqrt{6}})$$

Donde: XT = precipitación máxima para periodo de retorno T,

$\bar{X}$ = media de la serie,

s = desviación estándar,

yT = variable reducida para T.

- Método racional para el cálculo de caudal de máxima avenida:

$$Q = (C * I * A)/3.6$$

Donde: Q = caudal (m^3/s),

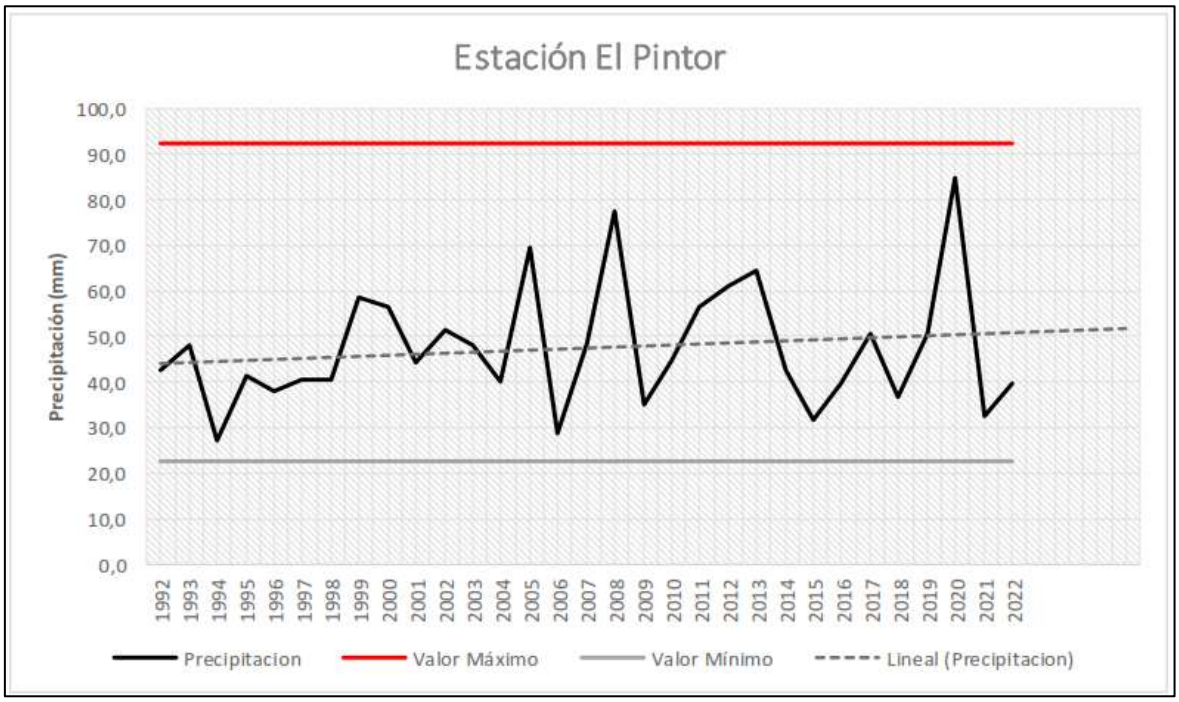
C = coeficiente de escorrentía (adimensional),

I = intensidad de precipitación (mm/h),

A = área de cuenca (ha), el factor 3.6 convierte las unidades a m^3/s.

Estas fórmulas se utilizarán para realizar los cálculos en Excel.

Anexo 2.1. Precipitaciones de Estación el Pintor



Nota. Se muestra que la precipitación anual en la Estación El Pintor, de 1992 a 2022, tiene una ligera tendencia ascendente. Esto indica un incremento gradual de las lluvias en la región, lo que es relevante para la evaluación de las áreas de inundaciones en la zona. Fuente: Senamhi (2012).

Anexo 2.2. Resultados: P24, log(P24)

Nº	**AÑO**			**ORDEN**	**P24**	**log(P24)**
1	1993	14	1	14	47.9	1.6803
2	1994	30	1	30	27.2	1.4346
3	1995	18	1	18	41.2	1.6149
4	1996	24	1	24	37.9	1.5786
5	1997	20	1	20	40.6	1.6085
6	1998	19	1	19	40.7	1.6096
7	1999	6	1	6	58.5	1.7672
8	2000	8	1	8	56.4	1.7513
9	2001	16	1	16	44.5	1.6484
10	2002	9	1	9	51.3	1.7101
11	2003	13	1	13	48.3	1.6839
12	2004	21	1	21	40	1.6021
13	2005	3	1	3	69.4	1.8414
14	2006	29	1	29	28.8	1.4594
15	2007	12	1	12	48.5	1.6857
16	2008	2	1	2	77.5	1.8893
17	2009	26	1	26	35.1	1.5453
18	2010	15	1	15	44.6	1.6493
19	2011	7	1	7	56.5	1.752
20	2012	5	1	5	61	1.7853
21	2013	4	1	4	64.6	1.8102
22	2014	17	1	17	42.7	1.6304
23	2015	28	1	28	31.6	1.4997
24	2016	22	1	22	39.5	1.5966
25	2017	10	1	10	50.7	1.705
26	2018	25	1	25	36.7	1.5647
27	2019	11	1	11	50.5	1.7033
28	2020	1	1	1	**84.8**	**1.9284**
29	2021	27	1	27	32.5	1.5119
30	2022	22	2	23	39.5	1.5966
					P24	**log(P24)**
Numero de datos: **n**					30	
Promedio: **x**					47.63	1.66
Desviación estándar: **s**					13.8	0.12
Coeficiente asimetría: **Cs**					0.97	0.28
Cs/6: **k**					0.16	0.05

Se tiene, la serie de precipitaciones máximas anuales (1993–2022) en la estación El Pintor presenta valores que oscilan entre 27.20 mm y 84.80 mm, con un promedio de 47.63 mm y una desviación estándar de 13.80 mm. El coeficiente de asimetría (Cs = 0.97) indica una ligera tendencia hacia valores extremos elevados, siendo el año 2020 el evento más representativo. En conjunto, los datos reflejan una variabilidad moderada con predominio de valores medios, pero con presencia de eventos extremos que condicionan el análisis de frecuencias.

Anexo 2.3. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov

CUADRO 4: PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV - SMIRNOV
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA EL PINTOR

m	x_m	$F_o(x_m)$	$F(x_m)$ Normal	$\|F_o(x_m)-F(x_m)\|$ Normal	$F(y_m)$ Log - Normal	$\|F_o(y_m)-F(y_m)\|$ Log - Normal	$F(y_m)$ Pearson III	$\|F_o(y_m)-F(y_m)\|$ Pearson III	$F(y_m)$ Log Pearson III	$\|F_o(y_m)-F(y_m)\|$ Log Pearson III	$F(x_m)$ Gumbel	$\|F_o(x_m)-F(x_m)\|$ Gumbel
1	84.80	0.967742	0.99646359	0.02872	0.986779	0.01904	0.989852	0.02211	0.986902	0.01916	0.9824	0.01467
2	77.50	0.935484	0.98478237	0.04930	0.970926	0.03544	0.978388	0.04290	0.974686	0.03920	0.9656	0.03015
3	69.40	0.903226	0.94264686	0.03942	0.932661	0.02943	0.972721	0.06950	0.968884	0.06566	0.9284	0.02521
4	64.60	0.870968	0.89056554	0.01960	0.891968	0.02100	0.938186	0.06722	0.934923	0.06396	0.8905	0.01951
5	61.00	0.838710	0.83364166	0.00507	0.848491	0.00978	0.936624	0.09791	0.933418	0.09471	0.8504	0.01165
6	58.50	0.806452	0.78450135	0.02195	0.810259	0.00381	0.871436	0.06498	0.871279	0.06483	0.8151	0.00860
7	56.50	0.774194	0.73974196	0.03445	0.774342	0.00015	0.865494	0.09130	0.865634	0.09144	0.7817	0.00751
8	56.40	0.741935	0.73738468	0.00455	0.772416	0.03048	0.859306	0.11737	0.859754	0.11782	0.7799	0.03798
9	51.30	0.709677	0.60477111	0.10491	0.657092	0.05259	0.838105	0.12843	0.839641	0.12996	0.6708	0.03890
10	50.70	0.677419	0.58793467	0.08948	0.641343	0.03608	0.768279	0.09086	0.773037	0.09562	0.6556	0.02183
11	50.50	0.645161	0.58228469	0.06288	0.635996	0.00917	0.758722	0.11356	0.763893	0.11873	0.6504	0.00526
12	48.50	0.612903	0.52503937	0.08786	0.579979	0.03292	0.747239	0.13434	0.752817	0.13991	0.5957	0.01720
13	48.30	0.580645	0.51926622	0.06138	0.574137	0.00651	0.735328	0.15468	0.741391	0.16075	0.5899	0.00930
14	47.90	0.548387	0.50770901	0.04068	0.562332	0.01394	0.719456	0.17107	0.726037	0.17765	0.5783	0.02988
15	44.60	0.516129	0.41300576	0.10312	0.459812	0.05632	0.717632	0.20150	0.724314	0.20819	0.4751	0.04108
16	44.50	0.483871	0.41018599	0.07368	0.456596	0.02728	0.715828	0.23196	0.722541	0.23867	0.4718	0.01211
17	42.70	0.451613	0.36035537	0.09126	0.398153	0.05346	0.715828	0.26421	0.722541	0.27093	0.4114	0.04017
18	41.20	0.419355	0.32053218	0.09882	0.349275	0.07008	0.704793	0.28544	0.711844	0.29249	0.3603	0.05910
19	40.70	0.387097	0.3076772	0.07942	0.333098	0.05400	0.667849	0.28075	0.675883	0.28879	0.3432	0.04392
20	40.60	0.354839	0.30513363	0.04971	0.329875	0.02496	0.657657	0.30282	0.665958	0.31112	0.3398	0.01508
21	40.00	0.322581	0.29007254	0.03251	0.310643	0.01194	0.636641	0.31406	0.645336	0.32276	0.3194	0.00321
22	39.50	0.290323	0.27779419	0.01253	0.294786	0.00446	0.617139	0.32682	0.626106	0.33578	0.3025	0.01217

23	39.50	0.258065	0.27779419	0.01973	0.294786	0.03672	0.576290	0.31823	0.585630	0.32757	0.3025	0.04442
24	37.90	0.225806	0.24029444	0.01449	0.245478	0.01967	0.576290	0.35048	0.585630	0.35982	0.2497	0.02391
25	36.70	0.193548	0.21408781	0.02054	0.210415	0.01687	0.513598	0.32005	0.522798	0.32925	0.2120	0.01846
26	35.10	0.161290	0.18186878	0.02058	0.167031	0.00574	0.511138	0.34985	0.520288	0.35900	0.1653	0.00404
27	32.50	0.129032	0.13638995	0.00736	0.106767	0.02227	0.496087	0.36705	0.505097	0.37606	0.1011	0.02795
28	31.60	0.096774	0.12263713	0.02586	0.089260	0.00751	0.496093	0.39932	0.505097	0.40832	0.0828	0.01401
29	28.80	0.064516	0.0861556	0.02164	0.046439	0.01808	0.491054	0.42654	0.499994	0.43548	0.0395	0.02506
30	27.20	0.032258	0.06933475	0.03708	0.029592	0.00267	0.488532	0.45627	0.497455	0.46520	0.0235	0.00876
X	47.63											
S	13.80											
CS	0.966											
n	30		Dmáx	0.10491		0.07008		0.45627		0.46520		0.05910
a	0.05		Dcritico > Dmax	Si se ajusta		Si se ajusta		No se ajusta		No se ajusta		Si se ajusta
Dcritico	0.24240		Mejor Ajuste	3		2		4		5		**1**

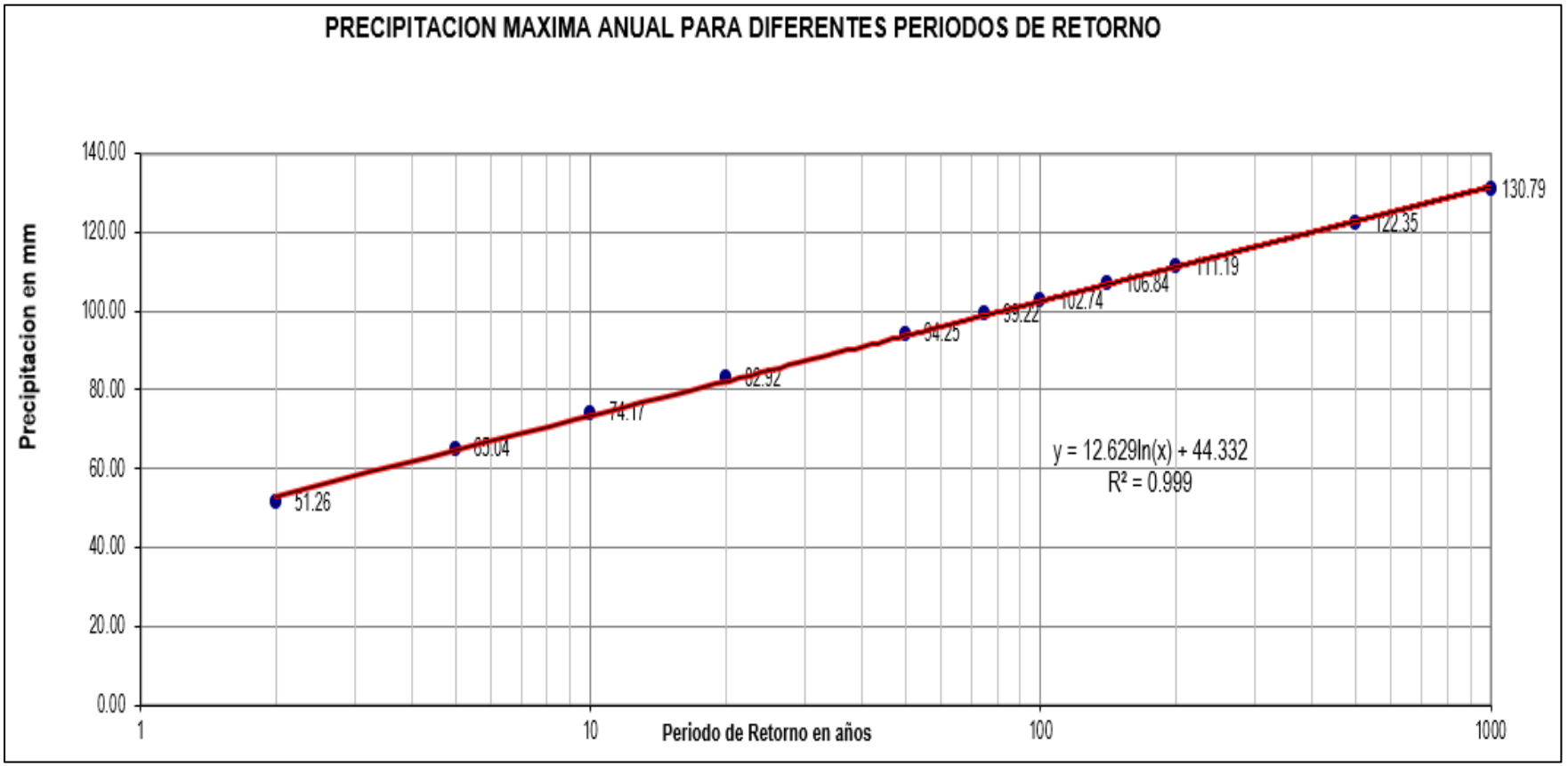
Nota. La prueba Kolmogorov–Smirnov mostró que las distribuciones Normal, Log-Normal y Gumbel se ajustan a la serie de precipitaciones máximas anuales, mientras que Pearson III y Log-Pearson III no resultan adecuadas. Entre los modelos aceptados, la distribución Gumbel presentó el mejor ajuste ($\Delta = 0.05910$), siendo la más representativa para el análisis de frecuencias y estimación de precipitaciones de diseño en la estación. Fuente: Senamhi (2025).

Anexo 2.4. Estación pluviométrica el Pintor

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA EL PINTOR																
				Promedio:	x =	47.6333	y =	1.6615			Coeficiente de corrección de Pmax por Nº de lecturas (OMM)					
				Desviación estándar:	s =	13.7992	sy =	0.1203					f (2 lecturas) =	1.13		
				Cs/6 :	k =	0.1609	k =	0.0463								
T (años)	P(X≤x_T)	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			**P_{MAX} mm**	**P_{MAX} (corregida) mm**	
		K_T	x_T	K_T	x_T	K_T	x_T	10^{x_T}	K_T	x_T	K_T	Xt	10^{x_T}			
2	0.500	0.0000	47.6	-0.1643	45.4	0.00	1.6615	45.9	-0.1567	45.5	-0.0462	1.6559	45.3	**45.4**	**51.26**	
5	0.800	0.8416	59.2	0.7195	57.6	0.84	1.7627	57.9	0.7580	58.1	0.8250	1.7607	57.6	**57.6**	**65.04**	
10	0.900	1.2816	65.3	1.3046	65.6	1.28	1.8156	65.4	1.3349	66.1	1.3072	1.8187	65.9	**65.6**	**74.17**	
20	0.950	1.6449	70.3	1.8658	73.4	1.64	1.8593	72.3	1.8666	73.4	1.7198	1.8683	73.8	**73.4**	**82.92**	
50	0.980	2.0537	76.0	2.5923	83.4	2.05	1.9084	81.0	2.5281	82.5	2.1998	1.9260	84.3	**83.4**	**94.25**	
75	0.987	2.2164	78.2	2.9111	87.8	2.22	1.9280	84.7	2.8104	86.4	2.3954	1.9495	89.0	**87.8**	**99.22**	
100	0.990	2.3263	79.7	3.1367	90.9	2.33	1.9412	87.3	3.0078	89.1	2.5292	1.9656	92.4	**90.9**	**102.74**	
140	0.993	2.4500	81.4	3.4001	94.6	2.45	1.9561	90.4	3.2360	92.3	2.6811	1.9839	96.4	**94.6**	**106.84**	
200	0.995	2.5758	83.2	3.6791	98.4	2.58	1.9712	93.6	3.4751	95.6	2.8373	2.0027	100.6	**98.4**	**111.19**	
500	0.998	2.8782	87.3	4.3947	108.3	2.88	2.0076	101	4.0788	103.9	3.2193	2.0486	111.8	**108.3**	**122.35**	
1000	0.999	3.0902	90.3	4.9355	115.7	3.09	2.0331	107.	4.5274	110.1	3.4930	2.0815	120.6	**115.74**	**130.79**	

El cálculo de precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno en la estación El Pintor muestra que, conforme aumenta el tiempo de retorno, también se incrementa la magnitud de la lluvia esperada. Para valores bajos (2 a 10 años) las precipitaciones se sitúan entre 51 y 74 mm, mientras que para periodos mayores (100 a 200 años) alcanzan entre 102 y 111 mm, llegando hasta 130.8 mm para 1000 años tras aplicar la corrección de la OMM. Entre las distribuciones empleadas, la Gumbel se confirma como la de mejor ajuste, siendo la más representativa para fines de diseño hidrológico.

Anexo 2.5. Precipitación máxima anual para diferentes periodos de retorno



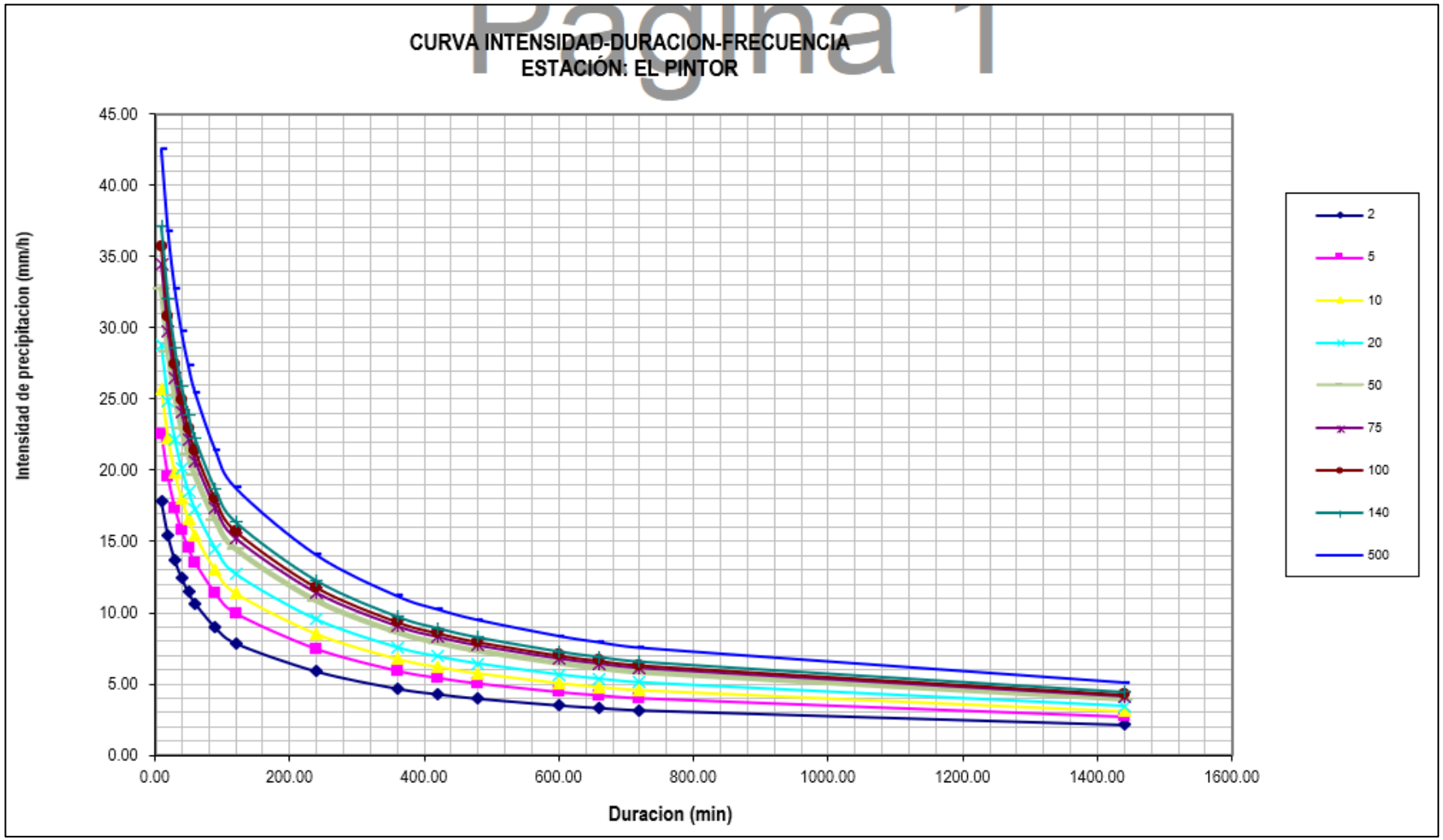
Se tiene la relación de la cantidad de lluvia máxima anual con su frecuencia de ocurrencia. Muestra que, por ejemplo, una lluvia de más de 130 mm tiene un periodo de retorno de 200 años, es decir, se espera que ocurra cada 200 años. Esto es clave para evaluar las zonas de inundaciones y planificar medidas de prevención.

Anexo 2.6. Intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA EL PINTOR											
DURACIÓN		**PERÍODO DE RETORNO (años)**									
Hr	**min**	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**75**	**100**	**140**	**200**	**500**
0.17	10	17.8	22.58	25.75	28.79	32.72	34.45	35.67	37.1	38.61	42.48
0.33	20	15.38	19.52	22.26	24.88	28.28	29.77	30.83	32.06	33.37	36.71
0.5	30	13.7	17.38	19.82	22.16	25.19	26.51	27.45	28.55	29.71	32.7
0.67	40	12.44	15.79	18	20.13	22.88	24.08	24.94	25.93	26.99	29.7
0.83	50	11.46	14.54	16.58	18.54	21.07	22.18	22.97	23.89	24.86	27.36
1	60	10.67	13.54	15.43	17.26	19.61	20.65	21.38	22.23	23.14	25.46
1.5	90	8.97	11.39	12.98	14.52	16.5	17.37	17.99	18.71	19.47	21.42
2	120	7.86	9.98	11.38	12.72	14.46	15.22	15.76	16.39	17.06	18.77
4	240	5.89	7.47	8.52	9.53	10.83	11.4	11.8	12.27	12.77	14.06
6	360	4.68	5.94	6.77	7.57	8.61	9.06	9.38	9.76	10.15	11.17
7	420	4.29	5.44	6.21	6.94	7.89	8.3	8.6	8.94	9.31	10.24
8	480	3.98	5.05	5.76	6.43	7.31	7.7	7.97	8.29	8.63	9.49
10	600	3.51	4.45	5.07	5.67	6.45	6.79	7.03	7.31	7.6	8.37
11	660	3.32	4.21	4.81	5.37	6.11	6.43	6.66	6.92	7.21	7.93
12	720	3.16	4.01	4.57	5.11	5.81	6.12	6.34	6.59	6.86	7.55
24	1440	2.14	2.71	3.09	3.45	3.93	4.13	4.28	4.45	4.63	5.1

La tabla muestra las intensidades máximas de precipitación para distintas duraciones (10 min a 24 h y periodos de retorno (2–500 años), evidenciando que las intensidades disminuyen al aumentar la duración, pero crecen conforme se incrementa el periodo de retorno.

Anexo 2.7. Cuadro de curvas IDF

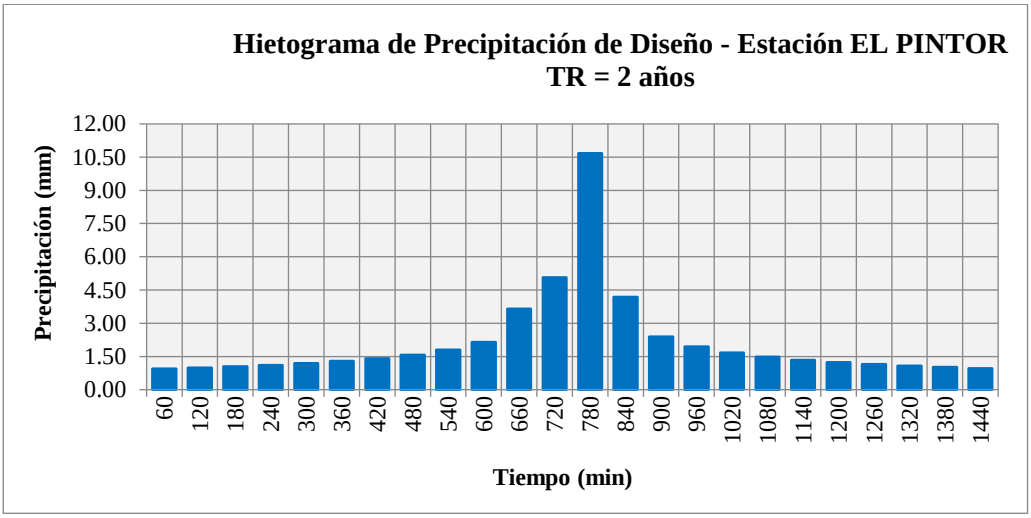


Se muestra la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia de las lluvias. Indica que las lluvias más intensas son también las más raras (con periodos de retorno de hasta 500 años). Esta información es fundamental para estimar las áreas de inundación y planificar medidas preventivas.

Anexo 2.8. Hietograma de precipitación 24 h para un Tr de 2 años

Cálculo Hietograma - Curva IDT de TR = 2 años						Bloque Alterno		Patrón de Precipitaciones					
T (min)	I (mm/hr)	Lluvia Acum. (mm)	Increm. Lluvia (mm)	Intensidad Bloque (mm/h)		Intensidad Bloque (mm/h)	Precip. Bloque (mm)	T/D	Precip. Acum (mm)	P/Pacum	P/Pacum x P (tr) **51.26**	P (mm)	I (mm/hr)
60	10.67	10.67	10.67	21.34	24	1.88	0.94	0.04	0.94	0.02	0.94	0.94	1.88
120	7.86	15.73	5.06	10.12	22	1.97	0.99	0.08	1.92	0.04	1.92	0.99	1.97
180	6.46	19.37	3.64	7.28	20	2.09	1.04	0.13	2.97	0.06	2.97	1.04	2.09
240	5.89	23.56	4.19	8.37	18	2.22	1.11	0.17	4.08	0.08	4.08	1.11	2.22
300	5.19	25.95	2.4	4.79	16	2.37	1.19	0.21	5.26	0.1	5.26	1.19	2.37
360	4.68	28.09	2.14	4.27	14	2.57	1.28	0.25	6.55	0.13	6.55	1.28	2.57
420	4.29	30.03	1.94	3.89	12	2.81	1.41	0.29	7.95	0.16	7.95	1.41	2.81
480	3.98	31.82	1.79	3.58	10	3.13	1.57	0.33	9.52	0.19	9.52	1.57	3.13
540	3.72	33.49	1.67	3.34	8	3.58	1.79	0.38	11.31	0.22	11.31	1.79	3.58
600	3.51	35.06	1.57	3.13	6	4.27	2.14	0.42	13.45	0.26	13.45	2.14	4.27
660	3.32	36.54	1.48	2.96	4	7.28	3.64	0.46	17.09	0.33	17.09	3.64	7.28
720	3.16	37.95	1.41	2.81	2	10.12	5.06	0.5	22.15	0.43	22.15	5.06	10.12
780	3.02	39.29	1.34	2.68	1	21.34	10.67	0.54	32.82	0.64	32.82	10.67	21.34
840	2.9	40.57	1.28	2.57	3	8.37	4.19	0.58	37.01	0.72	37.01	4.19	8.37
900	2.79	41.8	1.23	2.47	5	4.79	2.4	0.63	39.4	0.77	39.4	2.4	4.79
960	2.69	42.99	1.19	2.37	7	3.89	1.94	0.67	41.34	0.81	41.34	1.94	3.89
1020	2.6	44.14	1.15	2.29	9	3.34	1.67	0.71	43.01	0.84	43.01	1.67	3.34
1080	2.51	45.25	1.11	2.22	11	2.96	1.48	0.75	44.49	0.87	44.49	1.48	2.96
1140	2.44	46.32	1.07	2.15	13	2.68	1.34	0.79	45.84	0.89	45.84	1.34	2.68
1200	2.37	47.36	1.04	2.09	15	2.47	1.23	0.83	47.07	0.92	47.07	1.23	2.47
1260	2.3	48.38	1.01	2.03	17	2.29	1.15	0.88	48.21	0.94	48.21	1.15	2.29
1320	2.24	49.36	0.99	1.97	19	2.15	1.07	0.92	49.29	0.96	49.29	1.07	2.15
1380	2.19	50.33	0.96	1.92	21	2.03	1.01	0.96	50.3	0.98	50.3	1.01	2.03
1440	2.14	51.26	0.94	1.88	23	1.92	0.96	1	51.26	1	51.26	0.96	1.92

Anexo 2.9. Hietograma de precipitación 24 h para un Tr de 2 años



Se muestra una lluvia de diseño de 24 horas con un período de retorno de 2 años. El pico de precipitación se concentra a los 780 minutos, alcanzando un valor máximo de 10.5 mm. El gráfico modela cómo se distribuye una lluvia común, siendo que la mayor intensidad ocurre en la mitad del evento, lo que es crucial para la simulación de inundaciones.

Anexo 2.10. Caudal máximo para Tr = 2 año

Cálculo de caudal máximo utilizando el método Racional					
Serie de datos de entrada					
N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	69.3	áreas semiurbanas		0.4	0.4
Datos Calculados C ponderado: 0.4 Área total: 69.3 ha Resultado de los cálculos:					
Cálculo del I máxima:	21.34 mm/hr	Intensidad máxima de lluvia estimada Se obtiene de curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia)			
El resultado se obtuvo aplicando la fórmula racional: Q=(C*I*A) / 3.6 Luego reemplazando: Q = (0.4*21.34*0.693) / 3.6 Resultado: Q = 1.64 m3/s					

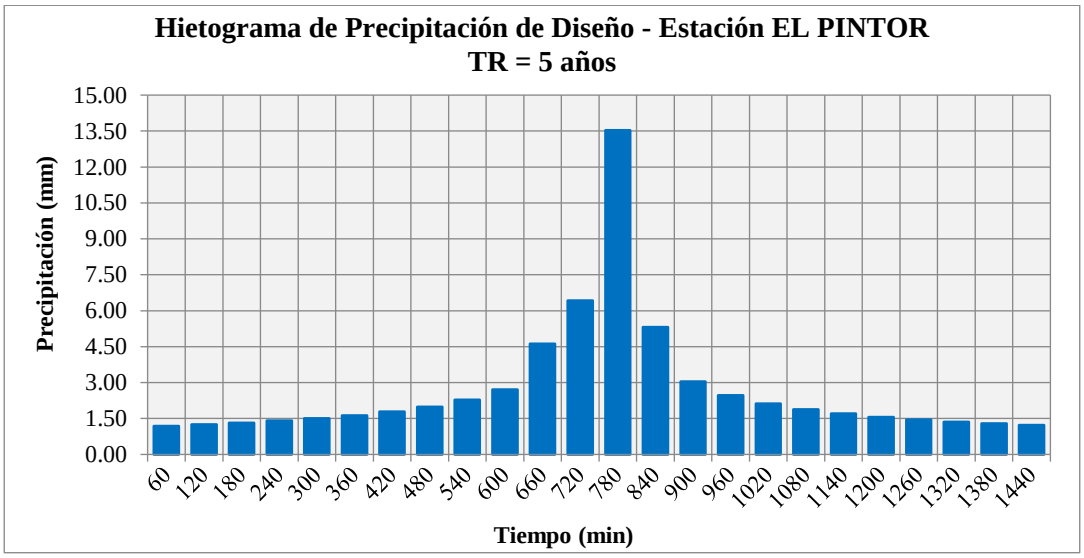
Se tiene el cálculo del caudal máximo mediante el Método Racional, considerando un área de cuenca de 69.3 ha, un coeficiente de escorrentía de 0.4 y una intensidad máxima de 21.34 mm/h, resultó en un caudal de 1.643 m³/s.

Anexo 2.11. Hietograma de precipitación 24 h para un Tr de 5 años

Cálculo Hietograma - Curva IDT de TR = 5 años						Bloque Alterno		Patrón de Precipitaciones					
T (min)	I (mm/hr)	Lluvia Acum. (mm)	Increm. Lluvia (mm)	Intensidad Bloque (mm/h)		Intensidad Bloque (mm/h)	Precip. Bloque (mm)	T/D	Precip. Acum (mm)	P/Pacum	P/Pacum x P (tr) **65.04**	P (mm)	I (mm/hr)
60	13.54	13.54	13.54	27.07	24	2.38	1.19	0.04	1.19	0.02	1.19	1.19	2.38
120	9.98	19.95	6.42	12.84	22	2.50	1.25	0.08	2.44	0.04	2.44	1.25	2.50
180	8.19	24.58	4.62	9.24	20	2.65	1.32	0.13	3.77	0.06	3.77	1.32	2.65
240	7.47	29.89	5.31	10.62	18	2.81	1.41	0.17	5.17	0.08	5.17	1.41	2.81
300	6.59	32.93	3.04	6.08	16	3.01	1.51	0.21	6.68	0.10	6.68	1.51	3.01
360	5.94	35.64	2.71	5.42	14	3.26	1.63	0.25	8.31	0.13	8.31	1.63	3.26
420	5.44	38.10	2.47	4.93	12	3.57	1.78	0.29	10.09	0.16	10.09	1.78	3.57
480	5.05	40.38	2.27	4.55	10	3.98	1.99	0.33	12.08	0.19	12.08	1.99	3.98
540	4.72	42.50	2.12	4.24	8	4.55	2.27	0.38	14.35	0.22	14.35	2.27	4.55
600	4.45	44.48	1.99	3.98	6	5.42	2.71	0.42	17.07	0.26	17.07	2.71	5.42
660	4.21	46.36	1.88	3.76	4	9.24	4.62	0.46	21.69	0.33	21.69	4.62	9.24
720	4.01	48.15	1.78	3.57	2	12.84	6.42	0.50	28.10	0.43	28.10	6.42	12.84
780	3.83	49.85	1.70	3.40	1	27.07	13.54	0.54	41.64	0.64	41.64	13.54	27.07
840	3.68	51.48	1.63	3.26	3	10.62	5.31	0.58	46.95	0.72	46.95	5.31	10.62
900	3.54	53.04	1.56	3.13	5	6.08	3.04	0.63	49.99	0.77	49.99	3.04	6.08
960	3.41	54.55	1.51	3.01	7	4.93	2.47	0.67	52.46	0.81	52.46	2.47	4.93
1020	3.29	56.00	1.45	2.91	9	4.24	2.12	0.71	54.58	0.84	54.58	2.12	4.24
1080	3.19	57.41	1.41	2.81	11	3.76	1.88	0.75	56.45	0.87	56.45	1.88	3.76
1140	3.09	58.77	1.36	2.73	13	3.40	1.70	0.79	58.16	0.89	58.16	1.70	3.40
1200	3.00	60.10	1.32	2.65	15	3.13	1.56	0.83	59.72	0.92	59.72	1.56	3.13
1260	2.92	61.38	1.29	2.57	17	2.91	1.45	0.88	61.18	0.94	61.18	1.45	2.91
1320	2.85	62.63	1.25	2.50	19	2.73	1.36	0.92	62.54	0.96	62.54	1.36	2.73
1380	2.78	63.85	1.22	2.44	21	2.57	1.29	0.96	63.82	0.98	63.82	1.29	2.57
1440	2.71	65.04	1.19	2.38	23	2.44	1.22	1.00	65.04	1.00	65.04	1.22	2.44

Para un período de retorno (TR) de 5 años, la precipitación total acumulada de la tormenta es de 65.04 mm. La intensidad máxima de la lluvia es de 27.07 mm/hr, y la mínima es de 2.38 mm/hr.

Anexo 2.12. Hietograma de precipitación 24 h para un Tr de 5 años



Se muestra que la precipitación comienza en 1.2 mm en el primer intervalo (0-60 min) y aumenta gradualmente. El pico de precipitación se registra en el intervalo de 720 a 780 minutos con 13.5 mm. Después del pico, la precipitación disminuye hasta alcanzar 1.2 mm en el último intervalo (1380-1440 min). La duración total del evento es de 1440 min.

Anexo 2.13. Caudal máximo para Tr = 5 años

Cálculo de caudal máximo utilizando el método Racional					
Serie de datos de entrada					
N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	69.3	áreas semi-urbanas		0.4	0.4
Datos Calculados C ponderado: 0.4 Área total: 69.3 ha Resultado de los cálculos:					
Cálculo del I máxima:	21.34 mm/hr	Intensidad máxima de lluvia estimada Se obtiene de curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia)			
El resultado se obtuvo aplicando la fórmula racional: Q = (C*I*A) / 3.6 Luego reemplazando: Q = (0.4*27.07*0.693) / 3.6 Resultado: Q = 2.084 m3/s					

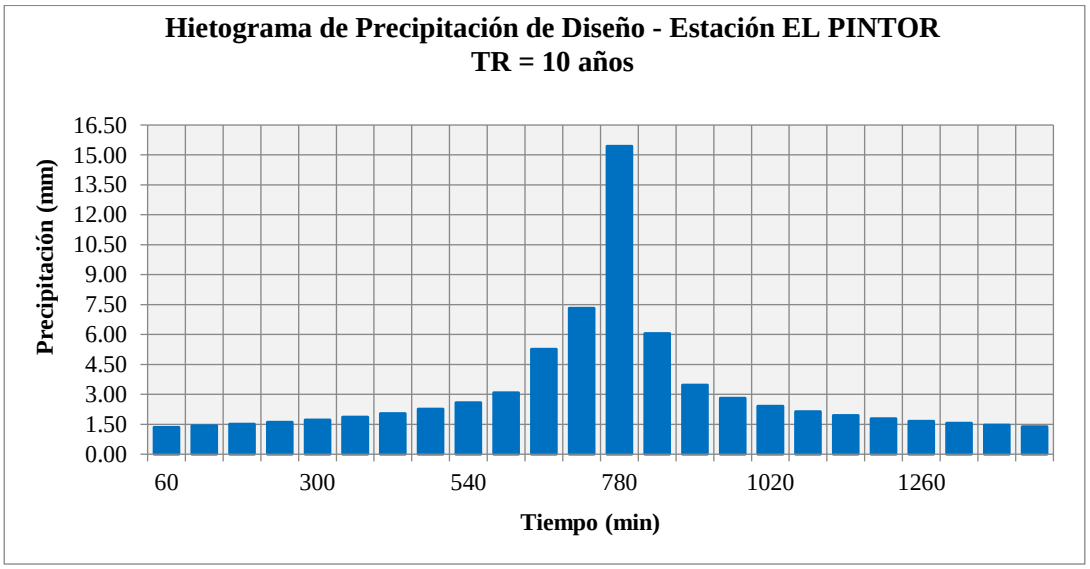
Se muestra el cálculo del caudal máximo mediante el Método Racional, considerando un área de cuenca de 69.3 ha, un coeficiente de escorrentía de 0.4 y una intensidad máxima de 27.07 mm/h, resultó en un caudal de 2.084 m³/s.

Anexo 2.14. Hietograma de precipitación 24 h para un Tr de 10 años

Cálculo Hietograma - Curva IDT de TR = 10 años						Bloque Alterno		Patrón de Precipitaciones					
T (min)	I (mm/hr)	Lluvia Acum. (mm)	Increm. Lluvia (mm)	Intensidad Bloque (mm/h)		Intensidad Bloque (mm/h)	Precip. Bloque (mm)	T/D	Precip. Acum (mm)	P/Pacum	P/Pacum x P (tr) **74.17**	P (mm)	I (mm/hr)
60	15.43	15.43	15.43	30.87	24	2.71	1.36	0.04	1.36	0.02	1.36	1.36	2.71
120	11.38	22.75	7.32	14.64	22	2.85	1.43	0.08	2.78	0.04	2.78	1.43	2.85
180	9.34	28.02	5.27	10.54	20	3.02	1.51	0.13	4.29	0.06	4.29	1.51	3.02
240	8.52	34.08	6.06	12.11	18	3.21	1.60	0.17	5.90	0.08	5.90	1.60	3.21
300	7.51	37.55	3.47	6.93	16	3.44	1.72	0.21	7.62	0.10	7.62	1.72	3.44
360	6.77	40.64	3.09	6.18	14	3.72	1.86	0.25	9.47	0.13	9.47	1.86	3.72
420	6.21	43.45	2.81	5.62	12	4.07	2.03	0.29	11.51	0.16	11.51	2.03	4.07
480	5.76	46.04	2.59	5.18	10	4.53	2.27	0.33	13.77	0.19	13.77	2.27	4.53
540	5.38	48.46	2.41	4.83	8	5.18	2.59	0.38	16.37	0.22	16.37	2.59	5.18
600	5.07	50.72	2.27	4.53	6	6.18	3.09	0.42	19.46	0.26	19.46	3.09	6.18
660	4.81	52.87	2.14	4.28	4	10.54	5.27	0.46	24.73	0.33	24.73	5.27	10.54
720	4.57	54.90	2.03	4.07	2	14.64	7.32	0.50	32.05	0.43	32.05	7.32	14.64
780	4.37	56.84	1.94	3.88	1	30.87	15.43	0.54	47.48	0.64	47.48	15.43	30.87
840	4.19	58.70	1.86	3.72	3	12.11	6.06	0.58	53.54	0.72	53.54	6.06	12.11
900	4.03	60.48	1.78	3.57	5	6.93	3.47	0.63	57.00	0.77	57.00	3.47	6.93
960	3.89	62.20	1.72	3.44	7	5.62	2.81	0.67	59.82	0.81	59.82	2.81	5.62
1020	3.76	63.86	1.66	3.32	9	4.83	2.41	0.71	62.23	0.84	62.23	2.41	4.83
1080	3.64	65.46	1.60	3.21	11	4.28	2.14	0.75	64.37	0.87	64.37	2.14	4.28
1140	3.53	67.02	1.55	3.11	13	3.88	1.94	0.79	66.31	0.89	66.31	1.94	3.88
1200	3.43	68.53	1.51	3.02	15	3.57	1.78	0.83	68.10	0.92	68.10	1.78	3.57
1260	3.33	69.99	1.47	2.93	17	3.32	1.66	0.88	69.76	0.94	69.76	1.66	3.32
1320	3.25	71.42	1.43	2.85	19	3.11	1.55	0.92	71.31	0.96	71.31	1.55	3.11
1380	3.17	72.81	1.39	2.78	21	2.93	1.47	0.96	72.78	0.98	72.78	1.47	2.93
1440	3.09	74.17	1.36	2.71	23	2.78	1.39	1.00	74.17	1.00	74.17	1.39	2.78

Para un período de retorno (TR) de 10 años, la precipitación total acumulada de la tormenta es de 74.17 mm. La intensidad máxima de la lluvia, ubicada en el centro del evento, es de 30.87 mm/hr, mientras que la mínima es de 2.71 mm/hr.

Anexo 2.15. Hietograma de precipitación 24 h para un Tr de 10 años



Se muestra que la precipitación comienza en 1.5 mm en el primer intervalo (0-60 min) y aumenta gradualmente. El pico de precipitación se registra en el intervalo de 780 a 840 minutos con 15.5 mm. Después del pico, la precipitación disminuye progresivamente hasta alcanzar 1.5 mm en el último intervalo (1380-1440 min). La duración total del evento es de 1440 minutos (24 horas).

Anexo 2.16. Caudal máximo para Tr = 10 años

Cálculo de caudal máximo utilizando el método Racional					
Serie de datos de entrada					
N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	69.3	áreas semi-urbanas		0.4	0.4
Datos Calculados C ponderado: 0.4 Área total: 69.3 ha Resultado de los cálculos:					
Cálculo del I máxima:	21.34 mm/hr	Intensidad máxima de lluvia estimada Se obtiene de curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia)			
El resultado se obtuvo aplicando la fórmula racional: Q = (C*I*A) / 3.6 Luego reemplazando: Q = (0.4*30.87*0.693) / 3.6 Q = 2.377 Resultado: m3/s					

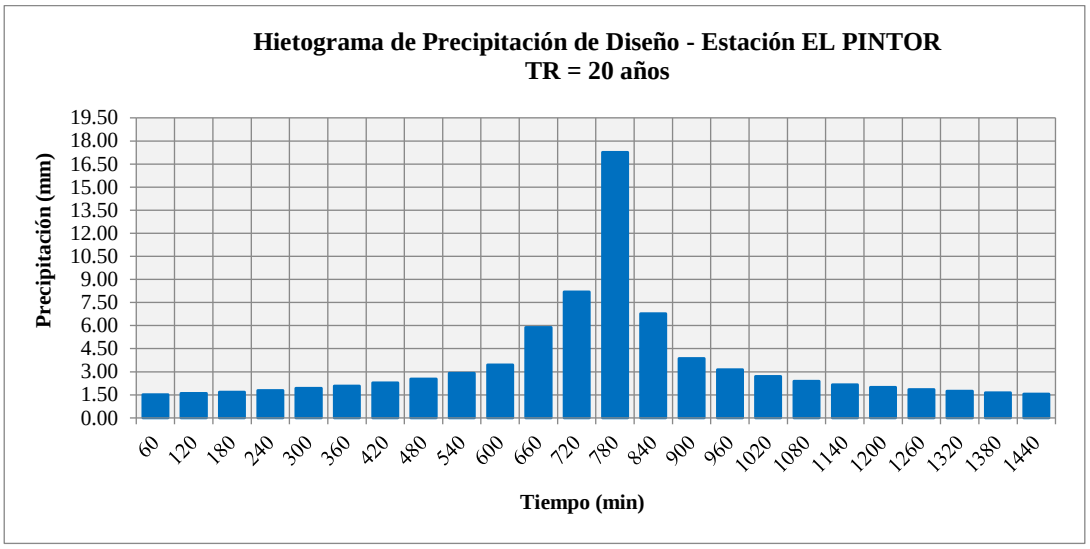
Se tiene el cálculo del caudal máximo mediante el Método Racional, considerando un área de cuenca de 69.3 ha, un coeficiente de escorrentía de 0.4 y una intensidad máxima de 30.87 mm/h, resultó en un caudal de 2.377 m³/s.

Anexo 2.17. Hietograma de precipitación 24 h para un Tr de 20 años

Cálculo Hietograma - Curva IDT de TR = 20 años						Bloque Alterno		Patrón de Precipitaciones					
T (min)	I (mm/hr)	Lluvia Acum. (mm)	Increm. Lluvia (mm)	Intensidad Bloque (mm/h)		Intensidad Bloque (mm/h)	Precip. Bloque (mm)	T/D	Precip. Acum (mm)	P/Pacum	P/Pacum x P (tr) **82.92**	P (mm)	I (mm/hr)
60	17.26	17.26	17.26	34.51	24	3.04	1.52	0.04	1.52	0.02	1.52	1.52	3.04
120	12.72	25.44	8.18	16.36	22	3.19	1.60	0.08	3.11	0.04	3.11	1.60	3.19
180	10.44	31.33	5.89	11.78	20	3.37	1.69	0.13	4.80	0.06	4.80	1.69	3.37
240	9.53	38.10	6.77	13.54	18	3.59	1.79	0.17	6.59	0.08	6.59	1.79	3.59
300	8.40	41.98	3.87	7.75	16	3.84	1.92	0.21	8.51	0.10	8.51	1.92	3.84
360	7.57	45.43	3.46	6.91	14	4.15	2.08	0.25	10.59	0.13	10.59	2.08	4.15
420	6.94	48.58	3.14	6.29	12	4.55	2.27	0.29	12.87	0.16	12.87	2.27	4.55
480	6.43	51.47	2.90	5.80	10	5.07	2.53	0.33	15.40	0.19	15.40	2.53	5.07
540	6.02	54.17	2.70	5.40	8	5.80	2.90	0.38	18.30	0.22	18.30	2.90	5.80
600	5.67	56.71	2.53	5.07	6	6.91	3.46	0.42	21.75	0.26	21.75	3.46	6.91
660	5.37	59.10	2.39	4.79	4	11.78	5.89	0.46	27.65	0.33	27.65	5.89	11.78
720	5.11	61.38	2.27	4.55	2	16.36	8.18	0.50	35.83	0.43	35.83	8.18	16.36
780	4.89	63.55	2.17	4.34	1	34.51	17.26	0.54	53.08	0.64	53.08	17.26	34.51
840	4.69	65.62	2.08	4.15	3	13.54	6.77	0.58	59.86	0.72	59.86	6.77	13.54
900	4.51	67.62	1.99	3.99	5	7.75	3.87	0.63	63.73	0.77	63.73	3.87	7.75
960	4.35	69.54	1.92	3.84	7	6.29	3.14	0.67	66.87	0.81	66.87	3.14	6.29
1020	4.20	71.39	1.85	3.71	9	5.40	2.70	0.71	69.57	0.84	69.57	2.70	5.40
1080	4.07	73.19	1.79	3.59	11	4.79	2.39	0.75	71.97	0.87	71.97	2.39	4.79
1140	3.94	74.92	1.74	3.48	13	4.34	2.17	0.79	74.14	0.89	74.14	2.17	4.34
1200	3.83	76.61	1.69	3.37	15	3.99	1.99	0.83	76.13	0.92	76.13	1.99	3.99
1260	3.73	78.25	1.64	3.28	17	3.71	1.85	0.88	77.99	0.94	77.99	1.85	3.71
1320	3.63	79.85	1.60	3.19	19	3.48	1.74	0.92	79.72	0.96	79.72	1.74	3.48
1380	3.54	81.40	1.56	3.11	21	3.28	1.64	0.96	81.36	0.98	81.36	1.64	3.28
1440	3.45	82.92	1.52	3.04	23	3.11	1.56	1.00	82.92	1.00	82.92	1.56	3.11

Para un período de retorno (TR) de 20 años, la precipitación total acumulada de la tormenta, calculada con el método del bloque alterno, es de 82.92 mm. Esta precipitación se distribuye a lo largo de un evento de 1440 minutos (24 horas). La intensidad máxima de la lluvia es de 34.51 mm/hr, la cual se registra en el pico central de la tormenta. Por otro lado, la intensidad mínima es de 3.04 mm/hr, correspondiente a los intervalos de tiempo inicial y final del evento. Los incrementos de precipitación más significativos son de 17.26 mm (el mayor) y 1.52 mm (el menor).

Anexo 2.18. Hietograma de precipitación 24 h para un Tr de 20 años



Se muestra la distribución de una tormenta de diseño para la estación El Pintor, con un período de retorno de 20 años. La gráfica indica que la precipitación aumentó progresivamente hasta un pico de 17 mm a los 780 minutos, y luego disminuyó gradualmente. Este análisis es crucial para calcular el caudal máximo y diseñar sistemas de drenaje que eviten inundaciones.

Anexo 2.19. Caudal máximo para Tr = 20 años

Cálculo de caudal máximo utilizando el método Racional					
Serie de datos de entrada					
N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	69.3	áreas semi-urbanas		0.4	0.4
Datos Calculados C ponderado: 0.4 Área total: 69.3 ha Resultado de los cálculos:					
Cálculo del I máxima:	21.34 mm/hr	Intensidad máxima de lluvia estimada Se obtiene de curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia)			
El resultado se obtuvo aplicando la fórmula racional: Q = (C*I*A) / 3.6 Luego reemplazando: Q = (0.4*34.51*0.693) / 3.6 Q = 2.657 Resultado: m3/s					

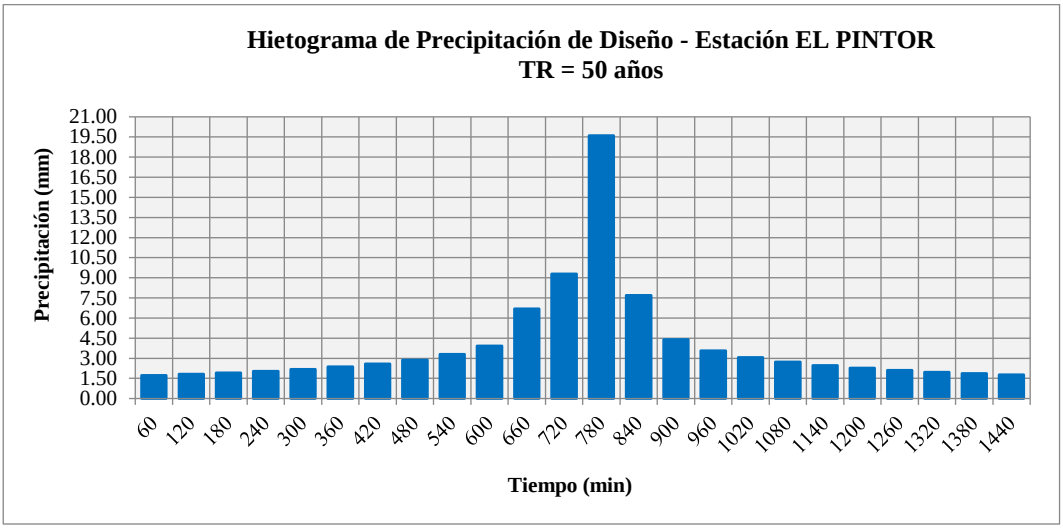
Se tiene el cálculo del caudal máximo mediante el Método Racional, considerando un área de cuenca de 69.3 ha, un coeficiente de escorrentía de 0.4 y una intensidad máxima de 34.51 mm/h, resultó en un caudal de 2.657 m^3/s.

Anexo 2.20. Hietograma de precipitación 24 h para un Tr de 50 años

Cálculo Hietograma - Curva IDT de TR = 50 años						Bloque Alterno		Patrón de Precipitaciones					
T (min)	I (mm/hr)	Lluvia Acum. (mm)	Increm. Lluvia (mm)	Intensidad Bloque (mm/h)		Intensidad Bloque (mm/h)	Precip. Bloque (mm)	T/D	Precip. Acum (mm)	P/Pacum	P/Pacum x P (tr) **94.25**	P (mm)	I (mm/hr)
60	19.61	19.61	19.61	39.23	24	3.45	1.72	0.04	1.72	0.02	1.72	1.72	3.45
120	14.46	28.91	9.30	18.60	22	3.63	1.81	0.08	3.54	0.04	3.54	1.81	3.63
180	11.87	35.61	6.70	13.39	20	3.83	1.92	0.13	5.46	0.06	5.46	1.92	3.83
240	10.83	43.31	7.70	15.39	18	4.08	2.04	0.17	7.49	0.08	7.49	2.04	4.08
300	9.54	47.71	4.40	8.81	16	4.37	2.18	0.21	9.68	0.10	9.68	2.18	4.37
360	8.61	51.64	3.93	7.86	14	4.72	2.36	0.25	12.04	0.13	12.04	2.36	4.72
420	7.89	55.21	3.57	7.15	12	5.17	2.59	0.29	14.62	0.16	14.62	2.59	5.17
480	7.31	58.51	3.29	6.59	10	5.76	2.88	0.33	17.50	0.19	17.50	2.88	5.76
540	6.84	61.57	3.07	6.14	8	6.59	3.29	0.38	20.80	0.22	20.80	3.29	6.59
600	6.45	64.46	2.88	5.76	6	7.86	3.93	0.42	24.73	0.26	24.73	3.93	7.86
660	6.11	67.18	2.72	5.44	4	13.39	6.70	0.46	31.42	0.33	31.42	6.70	13.39
720	5.81	69.76	2.59	5.17	2	18.60	9.30	0.50	40.72	0.43	40.72	9.30	18.60
780	5.56	72.23	2.47	4.93	1	39.23	19.61	0.54	60.34	0.64	60.34	19.61	39.23
840	5.33	74.59	2.36	4.72	3	15.39	7.70	0.58	68.03	0.72	68.03	7.70	15.39
900	5.12	76.86	2.27	4.53	5	8.81	4.40	0.63	72.44	0.77	72.44	4.40	8.81
960	4.94	79.04	2.18	4.37	7	7.15	3.57	0.67	76.01	0.81	76.01	3.57	7.15
1020	4.77	81.15	2.11	4.21	9	6.14	3.07	0.71	79.08	0.84	79.08	3.07	6.14
1080	4.62	83.19	2.04	4.08	11	5.44	2.72	0.75	81.80	0.87	81.80	2.72	5.44
1140	4.48	85.16	1.98	3.95	13	4.93	2.47	0.79	84.27	0.89	84.27	2.47	4.93
1200	4.35	87.08	1.92	3.83	15	4.53	2.27	0.83	86.53	0.92	86.53	2.27	4.53
1260	4.24	88.94	1.86	3.73	17	4.21	2.11	0.88	88.64	0.94	88.64	2.11	4.21
1320	4.13	90.75	1.81	3.63	19	3.95	1.98	0.92	90.62	0.96	90.62	1.98	3.95
1380	4.02	92.52	1.77	3.54	21	3.73	1.86	0.96	92.48	0.98	92.48	1.86	3.73
1440	3.93	94.25	1.72	3.45	23	3.54	1.77	1.00	94.25	1.00	94.25	1.77	3.54

Se muestra el cálculo de un hietograma de bloque alterno para un período de retorno de 50 años, con una precipitación total de 94.25 mm en 1440 minutos (24 horas). Se observa que el pico de intensidad es de 39.23 mm/hr a los 780 minutos, y la precipitación incremental más alta es de 19.61 mm en ese mismo intervalo. Esta distribución de la lluvia, con los valores más altos en el medio, es una herramienta clave en la hidrología para simular el peor escenario de una tormenta y diseñar infraestructuras que puedan manejar los caudales máximos resultantes.

Anexo 2.21. Hietograma de precipitación 24 h para un Tr de 50 años



Se evidencia que se alcanza su punto máximo de 19.50 mm a los 780 minutos, y luego disminuye simétricamente. Este tipo de análisis hidrológico es esencial para el diseño de infraestructuras como sistemas de drenaje y alcantarillado, ya que permite estimar el caudal pico que el sistema debe manejar para evitar inundaciones ante un evento extremo.

Anexo 2.22. Caudal máximo para Tr = 50 años

Cálculo de caudal máximo utilizando el método Racional					
Serie de datos de entrada					
N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	69.3	áreas semi-urbanas		0.4	0.4
Datos Calculados C ponderado: 0.4 Área total: 69.3 ha Resultado de los cálculos:					
Cálculo del I máxima:	21.34 mm/hr	Intensidad máxima de lluvia estimada Se obtiene de curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia)			
El resultado se obtuvo aplicando la fórmula racional: Q = (C*I*A) / 3.6 Luego reemplazando: Q = (0.4*39.23*0.693) / 3.6 Q = 3.021 Resultado: m3/s					

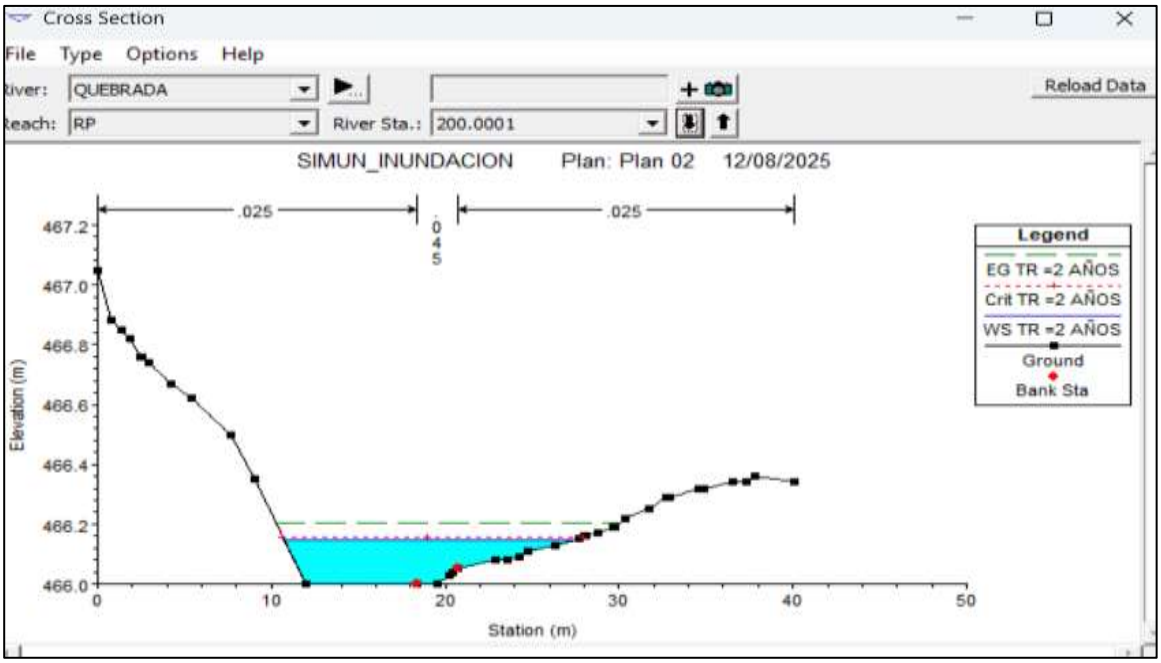
Se tiene el cálculo del caudal máximo mediante el Método Racional, considerando un área de cuenca de 69.3 ha, un coeficiente de escorrentía de 0.4 y una intensidad máxima de 39.23 mm/h, resultó en un caudal de 3.021 m^3/s.

Anexo 3

Análisis de simulación HEC-RAS

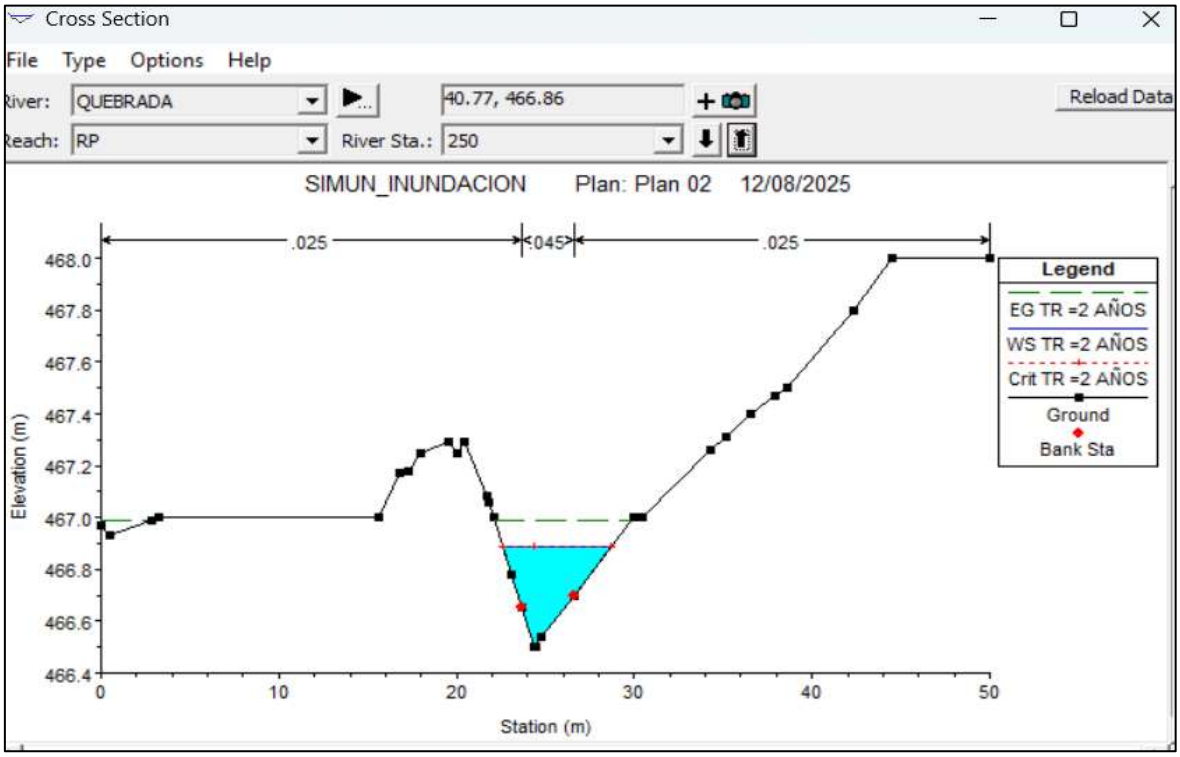
Simulación en HEC-RAS para Tr = 2años

Anexo 3.1. Seccion para Tr = 2 años – progresiva 200



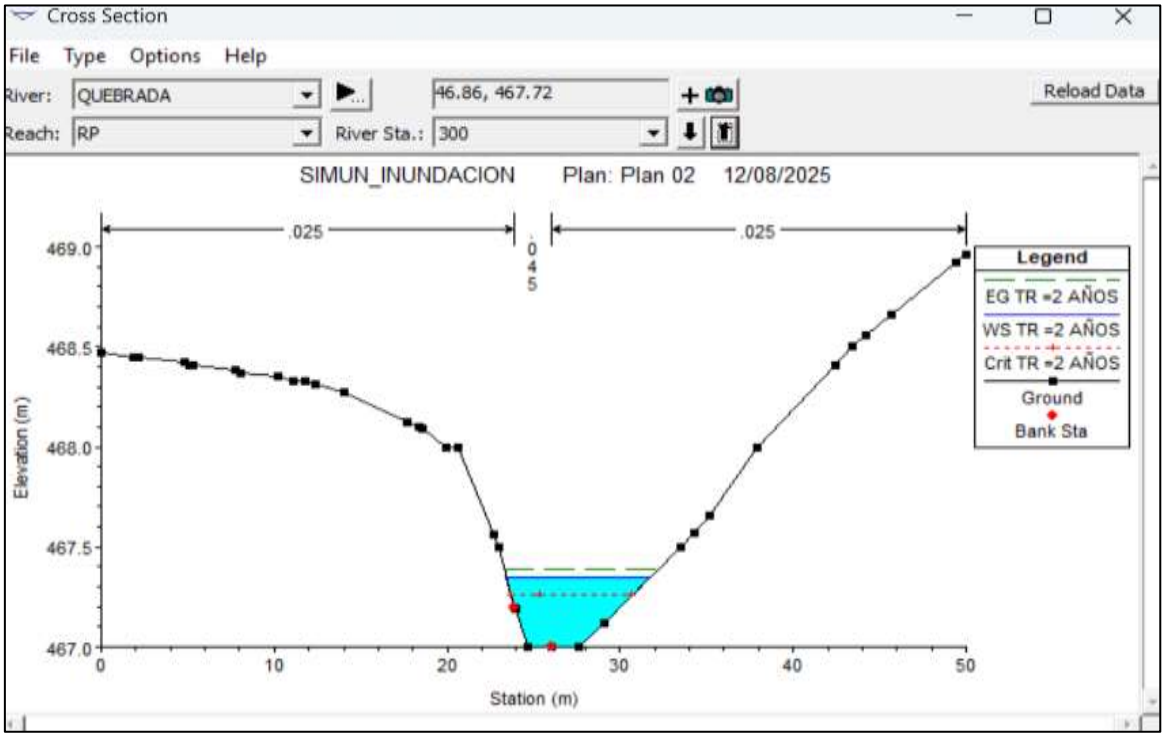
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 200 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 2 años, mostrando la relación entre la geometría del terreno y el nivel de la lámina de agua. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.2. Sección para Tr = 2 años – progresiva 250



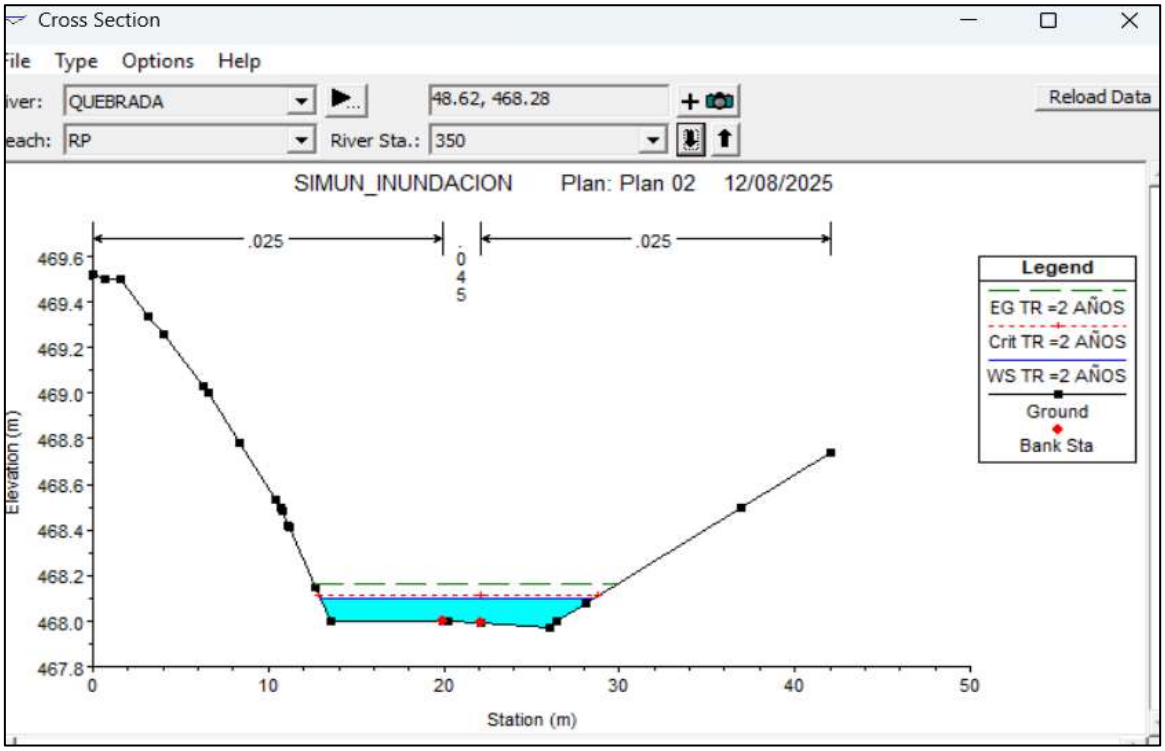
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 250 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 2 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.3. Sección para Tr = 2 años – progresiva 300



Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 300 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 2 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.4. Sección para Tr = 2 años – progresiva 350



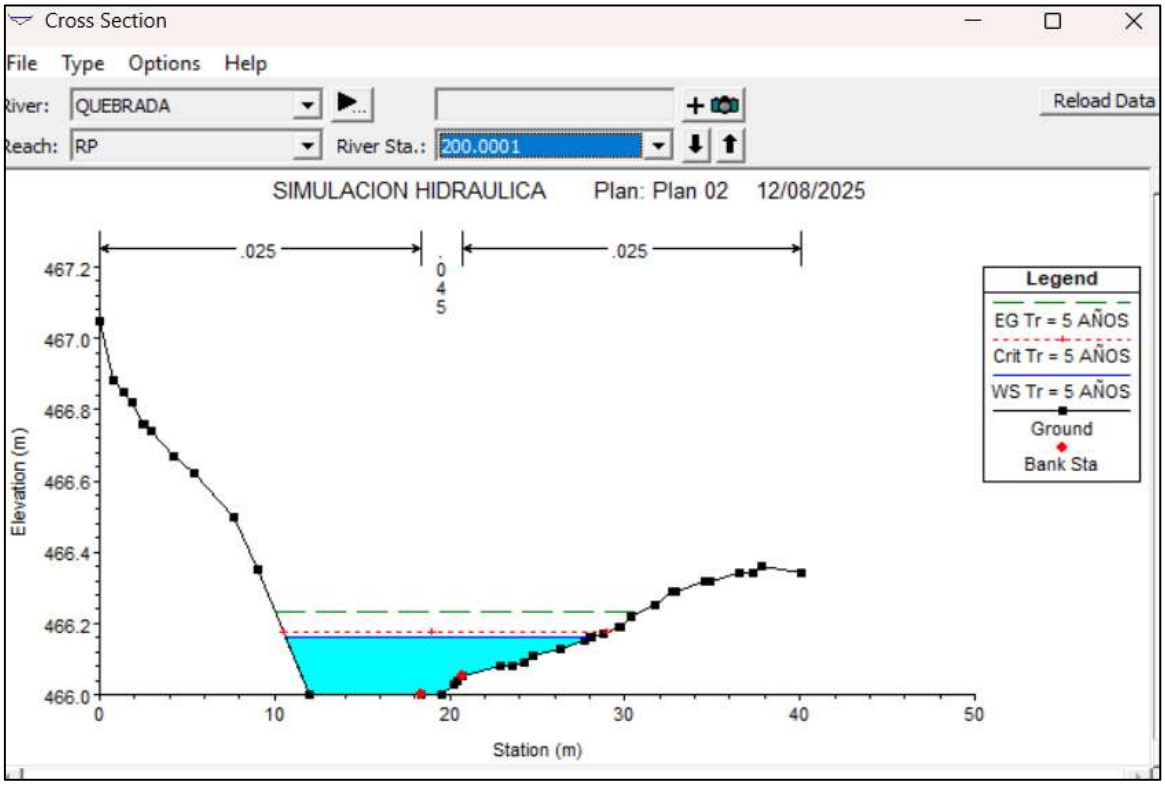
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 350 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 2 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.5. Resultados de la simulación en Tr = 2 años

TR =2 AÑOS	Q Total	Elevación	Pendiente	Velocidad	Área de flujo	Froude #	Manning
	(m3/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)		n
TR =2 AÑOS	1.64	470.56	0.021041	0.15	1.29	0.48	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	470.17	0.000964	0.26	4.49	0.17	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	470.03	0.008448	0.26	2.2	0.39	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.92	0.001076	0.16	4.16	0.16	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.83	0.002941	0.08	3.09	0.2	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.74	0.001352	0.17	4.16	0.18	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.68	0.001107	0.24	4.07	0.18	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.58	0.004763	0.27	3.4	0.32	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.56	0.000178	0.04	8.33	0.06	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.55	0.000183	0.04	7.33	0.06	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.54	0.000092	0.05	9.74	0.05	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.53	0.000525	0.09	5.86	0.11	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.45	0.004497	0.19	2.61	0.29	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	469.06	0.016194	0.43	2.22	0.56	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	468.1	0.020926	0.7	1.47	0.7	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	467.35	0.004002	0.64	1.99	0.37	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	466.89	0.021405	1.43	1.19	0.84	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	466.15	0.01274	0.66	1.69	0.57	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	465.72	0.001196	0.21	4.03	0.18	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	465.55	0.016797	0.4	2.34	0.56	0.045
TR =2 AÑOS	1.64	464.6	0.020101	0.68	1.55	0.69	0.045

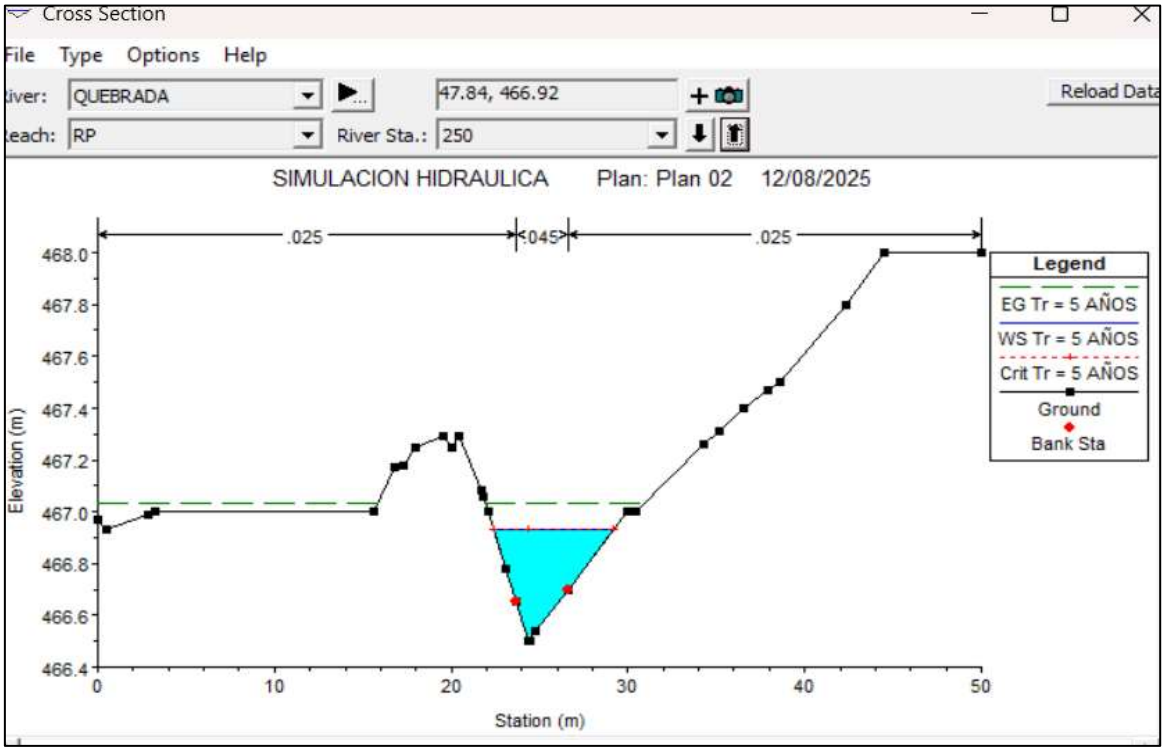
Nota. En un evento hidrológico con un período de retorno (TR) de 2 años, se observa un caudal total (QTotal) constante de 1.64 metros cúbicos por segundo (m3/s) a lo largo de 21 puntos de medición. Las elevaciones del agua disminuyen progresivamente desde un máximo de 470.56 metros (m) hasta un mínimo de 464.60 metros (m), lo que indica un descenso continuo a lo largo del tramo estudiado. La velocidad (V) del agua y el área de flujo (A) presentan una relación inversamente proporcional: cuando la velocidad es baja (0.04 m/s), el área de flujo es alta (8.33 m2 y 7.33 m2), lo que sugiere tramos anchos y de poca profundidad. Por el contrario, cuando la velocidad es alta (como 1.43 m/s), el área de flujo es considerablemente menor (1.19 m2), indicando tramos más estrechos. La pendiente (Sf) varía significativamente, desde valores muy bajos (e.g., 0.000092 m/m) hasta altos (e.g., 0.021405 m/m). Esto influye directamente en el Número de Froude (Fr), que en su mayoría es menor a 1.0, lo que clasifica el flujo como subcrítico. El valor de Manning (n) se mantiene constante en 0.045, lo que indica que se trata de un canal o superficie con rugosidad uniforme. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.6. Sección para Tr = 5 años – progresiva 200



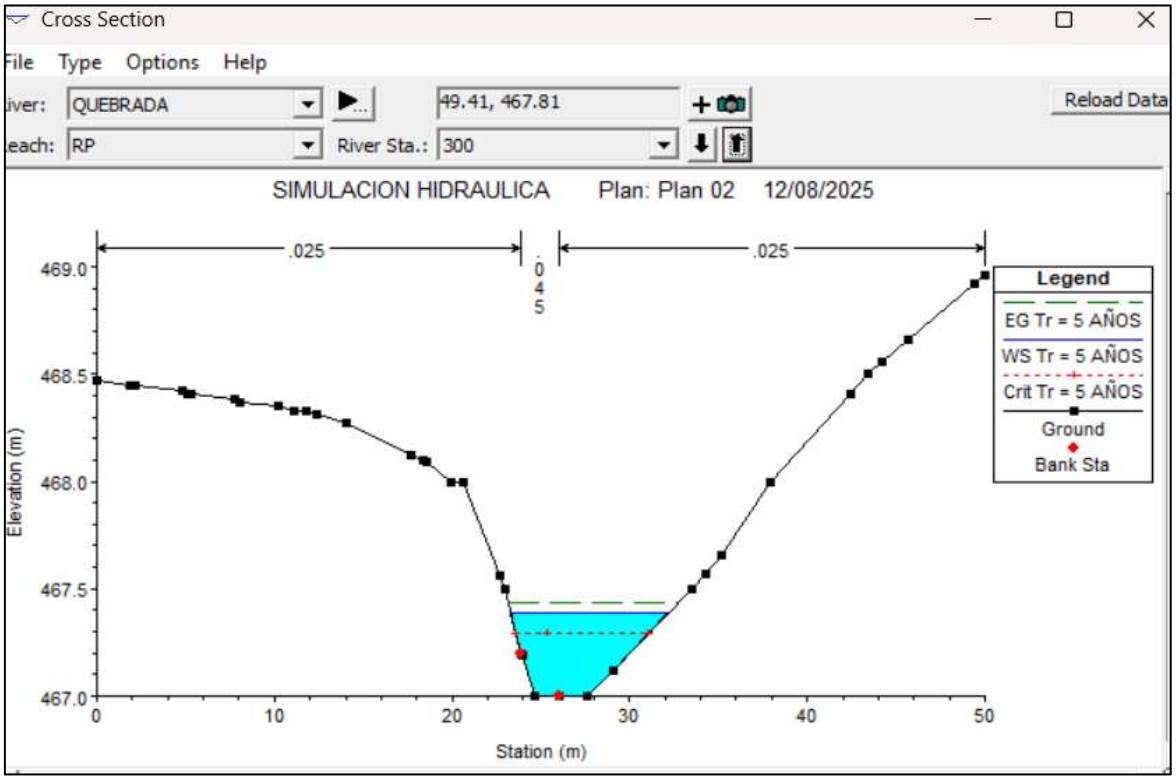
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 200 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 5 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.7. Sección para Tr = 5 años – progresiva 250



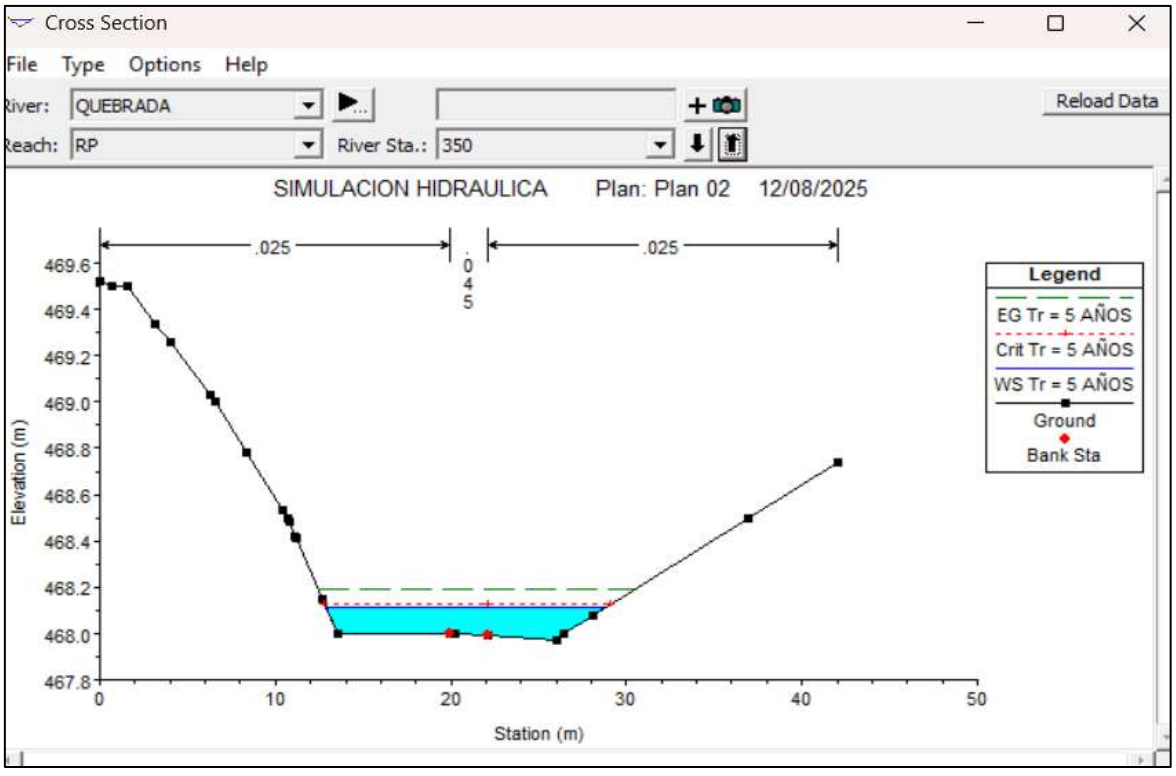
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 250 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 5 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.8. Sección para Tr = 5 años – progresiva 300



Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 300 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 5 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.9. Sección para Tr = 5 años – progresiva 350



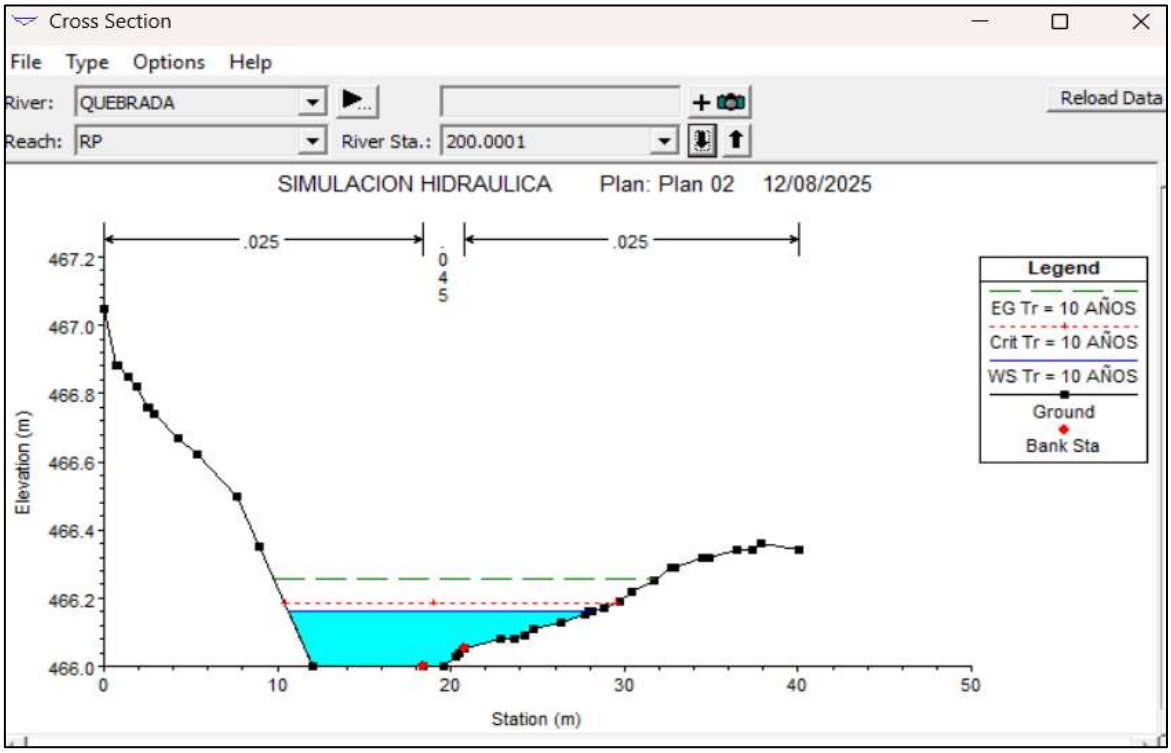
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 350 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 5 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.10. Resultados de la simulación en Tr = 5 años

Tr = 5 AÑOS	Q Total	Elevacion	Pendiente	Velocidad	Area de flujo	Froude #	Manning
	(m3/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)		
Tr = 5 AÑOS	2.08	470.68	0.020995	0.28	1.5	0.56	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	470.2	0.001028	0.29	5.11	0.18	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	470.08	0.00852	0.31	2.6	0.41	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.96	0.001139	0.18	4.84	0.17	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.87	0.002903	0.13	3.64	0.22	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.77	0.001307	0.19	5.02	0.18	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.71	0.001338	0.27	4.45	0.2	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.61	0.002704	0.25	4.67	0.25	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.59	0.000194	0.06	9.67	0.07	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.58	0.000216	0.06	8.32	0.07	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.57	0.000112	0.06	10.94	0.05	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.56	0.000547	0.11	6.98	0.11	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.5	0.004646	0.24	3.06	0.31	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	469.1	0.015422	0.46	2.6	0.56	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	468.19	0.021398	0.77	1.7	0.72	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	467.43	0.004157	0.71	2.32	0.38	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	467.03	0.019115	1.47	1.45	0.81	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	466.23	0.014632	0.75	1.9	0.62	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	465.76	0.001323	0.24	4.63	0.19	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	465.59	0.015855	0.44	2.75	0.56	0.045
Tr = 5 AÑOS	2.08	464.69	0.020784	0.75	1.79	0.71	0.045

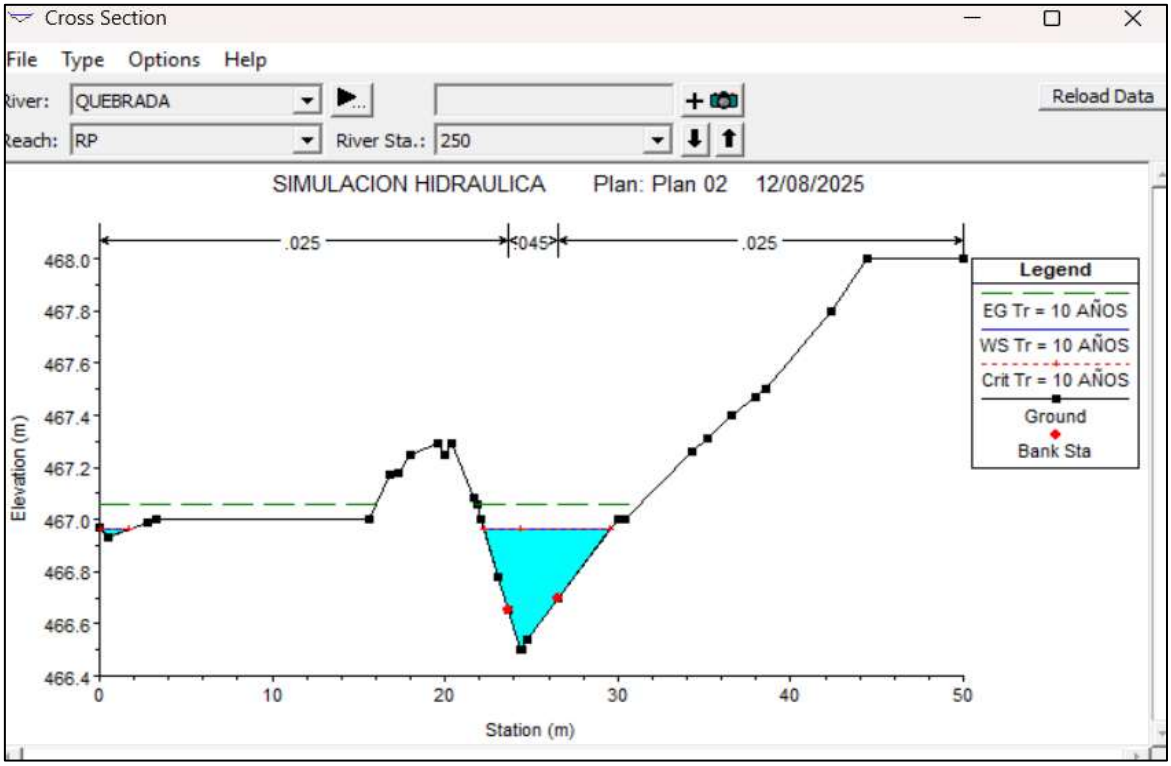
Nota. Para un período de retorno (T_R) de 5 años, la simulación de flujo de agua en un canal muestra un caudal total (Q_{Total}) constante de 2.08 metros cúbicos por segundo (m^3/s). A lo largo de la simulación, la elevación del agua disminuye progresivamente de 470.68 metros (m) a 464.69 metros (m). La pendiente y la velocidad del flujo varían considerablemente. En tramos con pendientes elevadas (0.020995 m/m), la velocidad del agua es mayor (0.28 m/s) y el área de flujo es menor (1.5 m2). Por otro lado, en áreas con pendientes muy bajas (0.000112 m/m), la velocidad disminuye (0.06 m/s) y el área de flujo se amplía (10.94 m^2), lo que indica un flujo más lento y de mayor profundidad. El Número de Froude (Fr) se mantiene consistentemente por debajo de 1.0, lo que clasifica el flujo en su mayoría como subcrítico; esto sugiere un flujo tranquilo, con poca turbulencia, que está más influenciado por las fuerzas de gravedad que por las fuerzas inerciales; el coeficiente de rugosidad de Manning (n) se mantiene constante en 0.045 en todos los puntos de medición. Esto sugiere que el material y las características de la superficie del canal no cambian a lo largo del tramo simulado. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.11. Sección para Tr = 10 años – progresiva 200



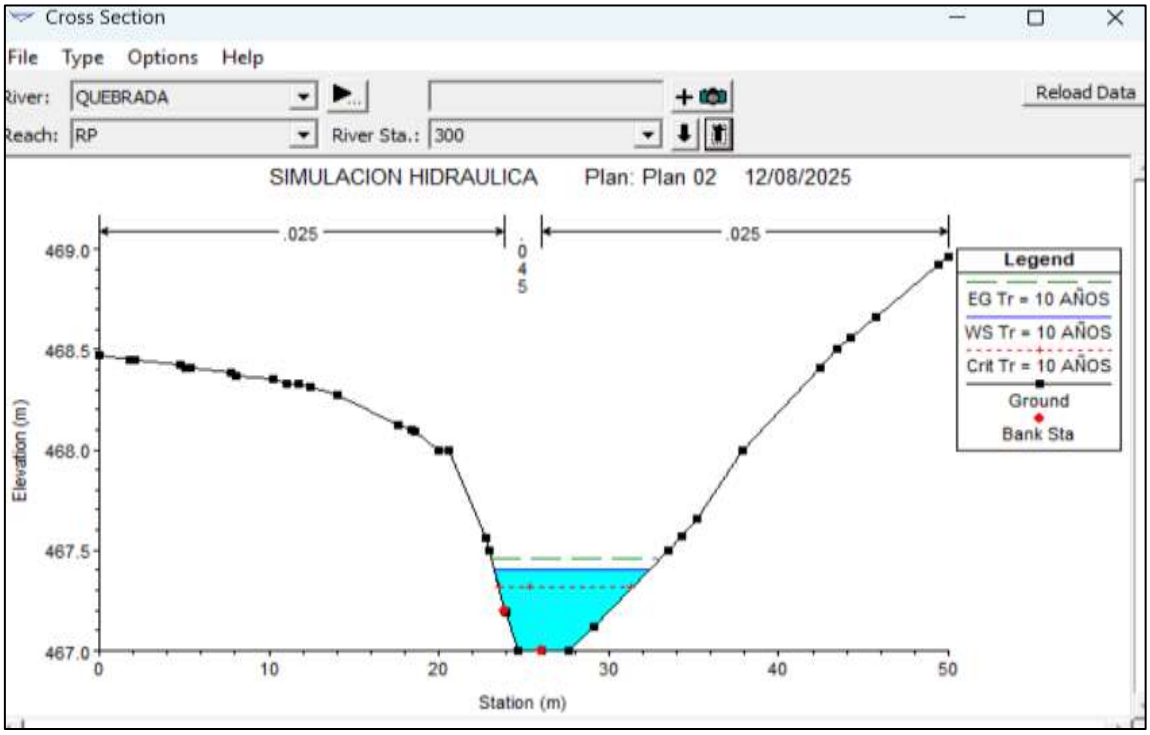
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 200 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 10 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.12. Sección para Tr = 10 años – progresiva 250



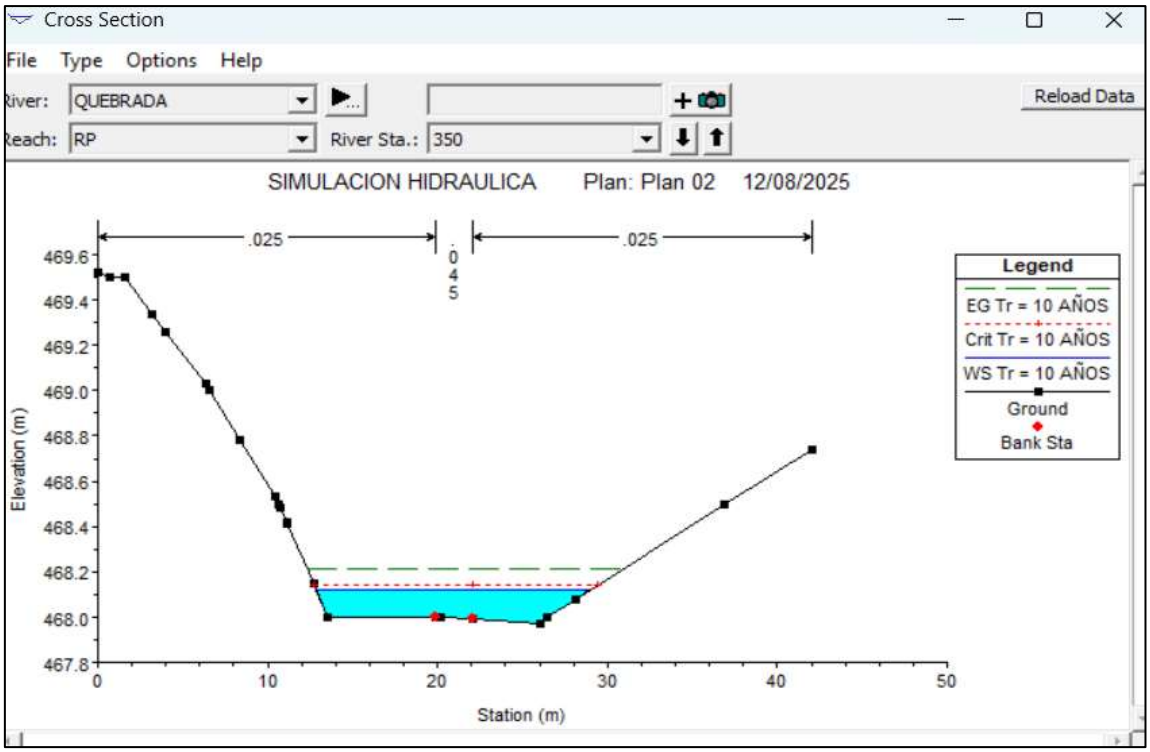
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 250 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 10 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.13. Sección para Tr = 10 años – progresiva 300



Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 300 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 10 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.14. Sección para Tr = 10 años – progresiva 350



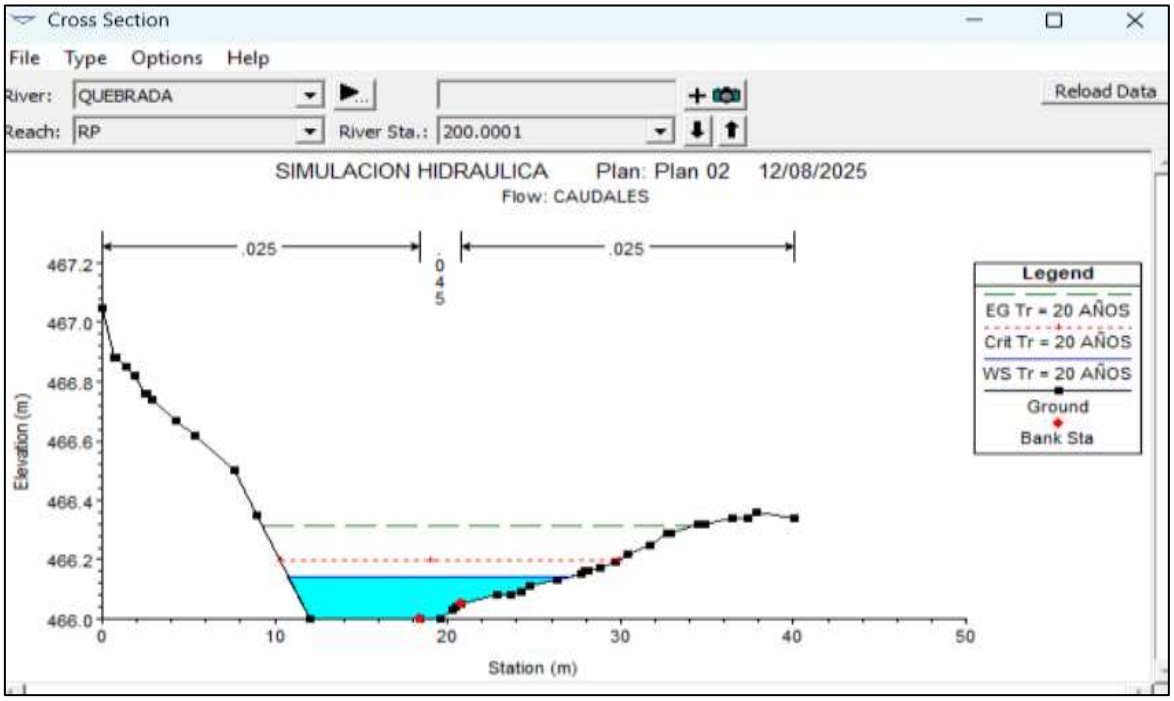
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 350 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 10 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.15. Resultados de la simulación en Tr = 10 años

Tr = 10 AÑOS	Q Total	Elevacion	Pendiente	Velocidad	Area de flujo	Froude # Chl	Manning
	(m3/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)		
Tr = 10 AÑOS	2.38	470.7	0.021011	0.35	1.63	0.59	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	470.21	0.001105	0.3	5.43	0.19	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	470.09	0.007303	0.33	3.02	0.39	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.97	0.001183	0.2	5.26	0.17	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.88	0.002815	0.16	4.02	0.23	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.79	0.00128	0.21	5.55	0.18	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.72	0.001484	0.3	4.68	0.21	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.63	0.002159	0.25	5.42	0.23	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.6	0.000203	0.07	10.46	0.07	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.59	0.000236	0.07	8.91	0.07	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.58	0.000124	0.07	11.66	0.06	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.57	0.000558	0.12	7.65	0.12	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.51	0.004843	0.27	3.32	0.32	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	469.11	0.015206	0.48	2.83	0.57	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	468.21	0.021314	0.81	1.85	0.73	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	467.45	0.004526	0.76	2.47	0.4	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	467.06	0.016008	1.43	1.71	0.76	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	466.25	0.017984	0.84	1.95	0.69	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	465.77	0.001386	0.26	5.01	0.2	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	465.6	0.015331	0.45	3.01	0.56	0.045
Tr = 10 AÑOS	2.38	464.7	0.021143	0.79	1.94	0.73	0.045

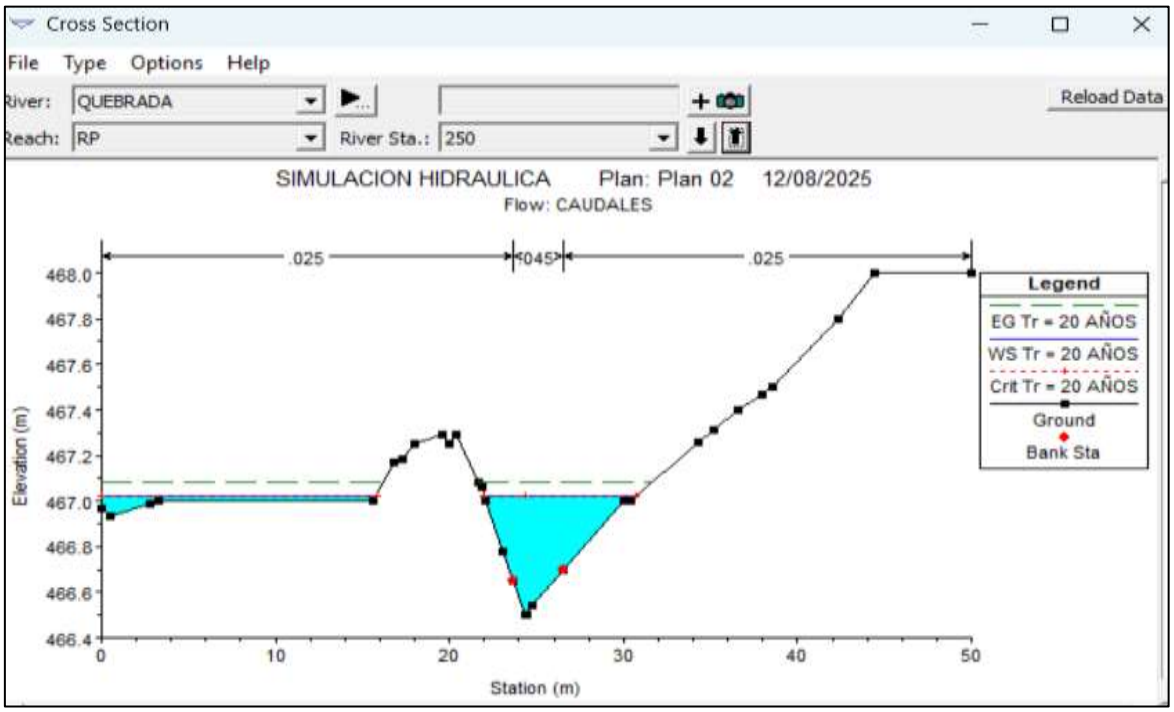
Nota. Para un evento hidrológico con un período de retorno (T_R) de 10 años, los resultados de la simulación muestran un caudal total (Q_{Total}) constante de 2.38 metros cúbicos por segundo (m^3/s). La elevación del agua disminuye a lo largo del tramo, yendo desde 470.70 m hasta 464.70 m. A lo largo del tramo, la elevación del agua disminuye de manera constante. Las pendientes (Sf) son muy variables, fluctuando entre un mínimo de 0.000124 m/m y un máximo de 0.021314 m/m. Esta variación topográfica es el factor principal que influye en el comportamiento del flujo. La simulación demuestra una clara relación inversa entre la velocidad (V) y el área de flujo (A). En los puntos donde la velocidad es baja, como 0.07 m/s, el área de flujo es considerablemente mayor (11.66 m^2), lo que indica un flujo lento y amplio. Por el contrario, en tramos donde la velocidad es alta, como 0.81 m/s, el área de flujo se reduce a 1.85 m^2, lo que sugiere un canal más estrecho y profundo; el Número de Froude (Fr) en casi todos los puntos de medición es inferior a 1.0, lo que categoriza el flujo como subcrítico. Esto indica que el flujo es tranquilo y estable, dominado por la gravedad. El coeficiente de rugosidad de Manning (n) permanece constante en 0.045, lo que asegura que las variaciones observadas en el flujo se deben a la topografía del lecho del canal y no a cambios en el material del mismo. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.16. Sección para Tr = 20 años – progresiva 200



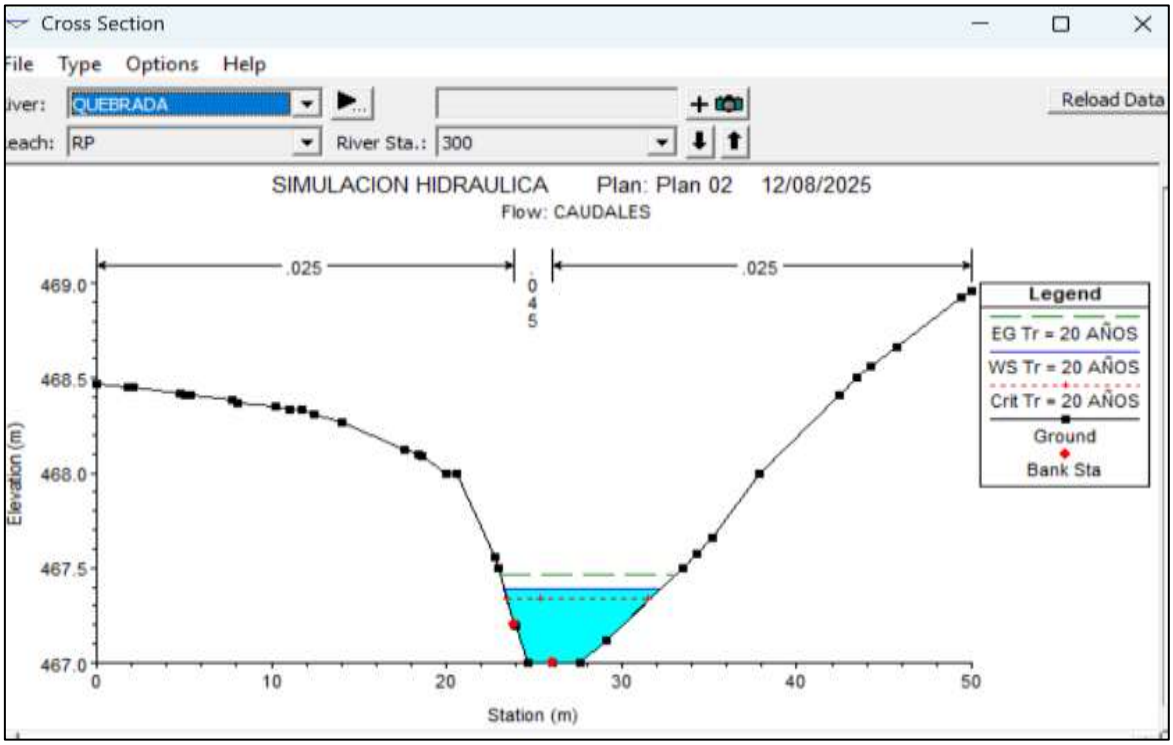
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 200 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 20 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.17. Sección para Tr = 20 años – progresiva 250



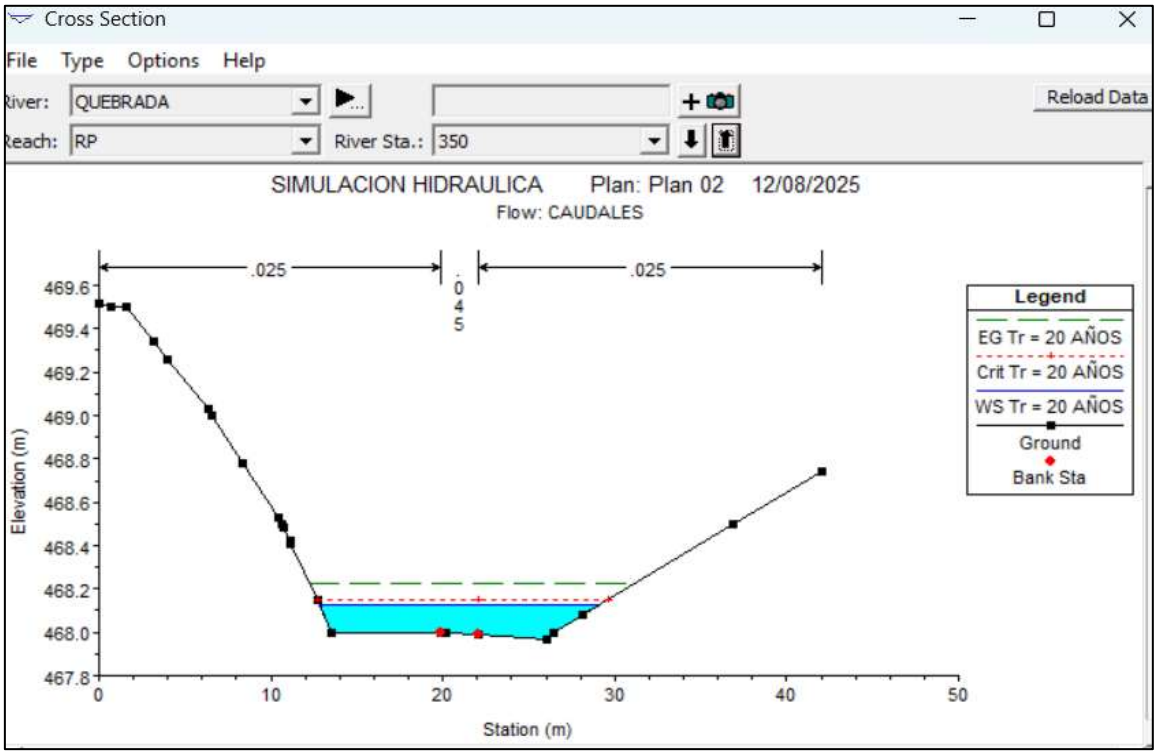
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 250 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 20 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.18. Sección para Tr = 20 años – progresiva 300



Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 300 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 20 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.19. Sección para Tr = 20 años – progresiva 350



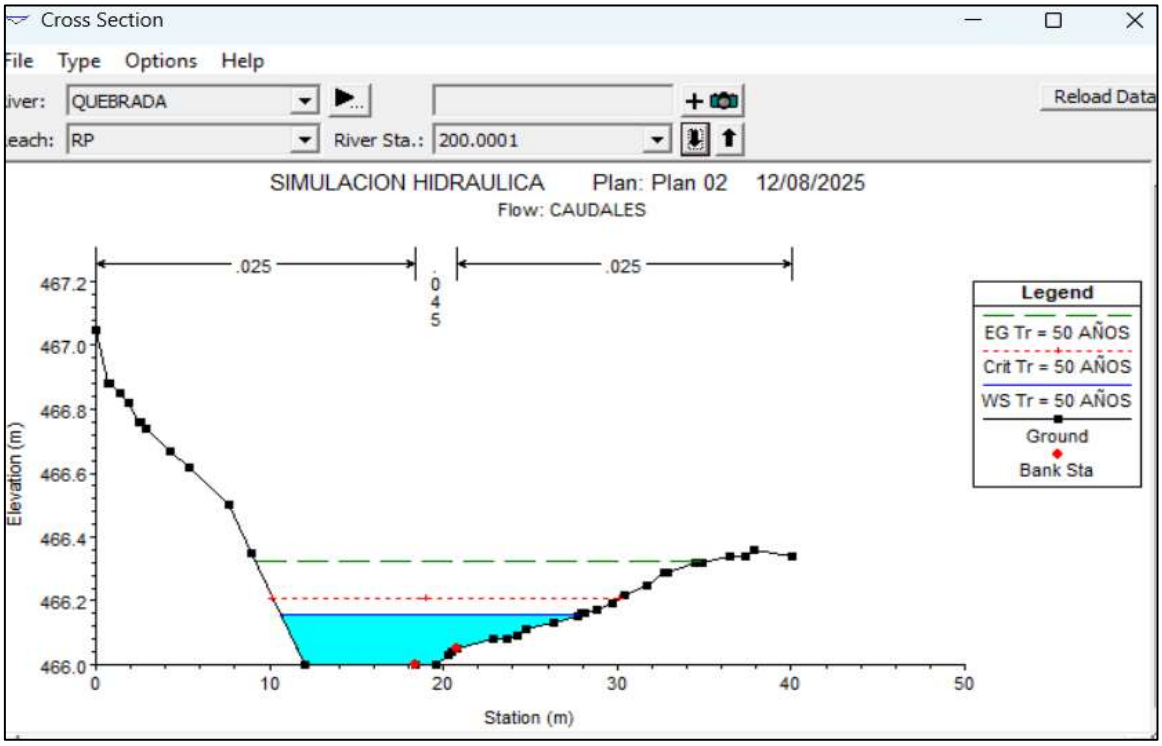
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 350 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 20 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.20. Resultados de la simulación en Tr = 20 años

Tr = 20 AÑOS	Q Total	Elevacion	Pendiente	Velocidad	Area de flujo	Froude #	Manning
	(m3/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)		
Tr = 20 AÑOS	2.66	470.72	0.021041	0.41	1.76	0.61	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	470.22	0.001169	0.32	5.72	0.2	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	470.11	0.006514	0.35	3.39	0.38	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.98	0.00122	0.22	5.66	0.18	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.9	0.00282	0.18	4.34	0.24	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.8	0.001258	0.22	6.03	0.18	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.73	0.001593	0.32	4.91	0.22	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.64	0.001861	0.25	6.07	0.22	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.62	0.000212	0.08	11.15	0.07	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.6	0.000255	0.08	9.42	0.08	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.6	0.000136	0.08	12.28	0.06	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.58	0.000571	0.13	8.22	0.12	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.52	0.004935	0.29	3.58	0.33	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	469.12	0.014618	0.5	3.06	0.56	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	468.23	0.021871	0.86	1.97	0.75	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	467.46	0.006432	0.89	2.36	0.48	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	467.08	0.008839	1.18	2.65	0.58	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	466.31	0.037991	1.11	1.61	0.98	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	465.78	0.001437	0.27	5.34	0.2	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	465.61	0.015049	0.47	3.24	0.56	0.045
Tr = 20 AÑOS	2.66	464.72	0.021232	0.83	2.08	0.74	0.045

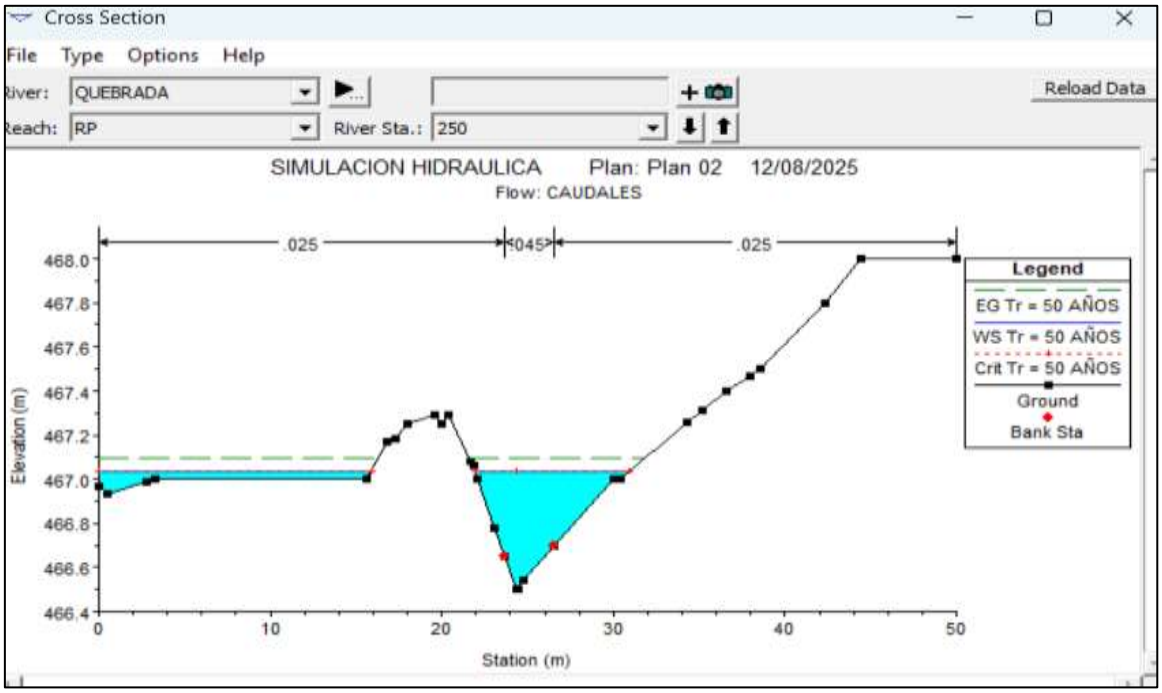
Nota. En el caso de un evento de 20 años de período de retorno (T_R), la simulación hidráulica muestra un caudal total (Q_{Total}) constante de 2.66 metros cúbicos por segundo (m^3/s). A lo largo de la simulación, la elevación del agua disminuye de 470.72 metros (m) a 464.72 metros (m). La relación entre la velocidad (V) y el área de flujo (A) es inversamente proporcional. En los tramos más amplios, con áreas de flujo mayores (12.28 m^2), la velocidad del agua es baja (0.08 m/s). Por el contrario, en las secciones más estrechas, el área de flujo se reduce (1.61 m^2), lo que provoca un aumento significativo de la velocidad (1.11 m/s). Esto muestra cómo la geometría del canal afecta directamente las propiedades del flujo; el Número de Froude (Fr) es en su mayoría menor que 1.0, lo que indica que el flujo es subcrítico, un régimen tranquilo donde la gravedad domina. Sin embargo, en un punto específico (elevación de 466.31 m), el número de Froude alcanza 0.98, acercándose al flujo crítico y sugiriendo un tramo con cambios abruptos en la profundidad. La pendiente (Sf) varía a lo largo del canal, lo que contribuye a las fluctuaciones en la velocidad y el área de flujo. El coeficiente de rugosidad de Manning (n) se mantiene constante en 0.045, lo que sugiere que la superficie del canal es homogénea a lo largo de todo el tramo. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.21. Sección para Tr = 50 años – progresiva 200



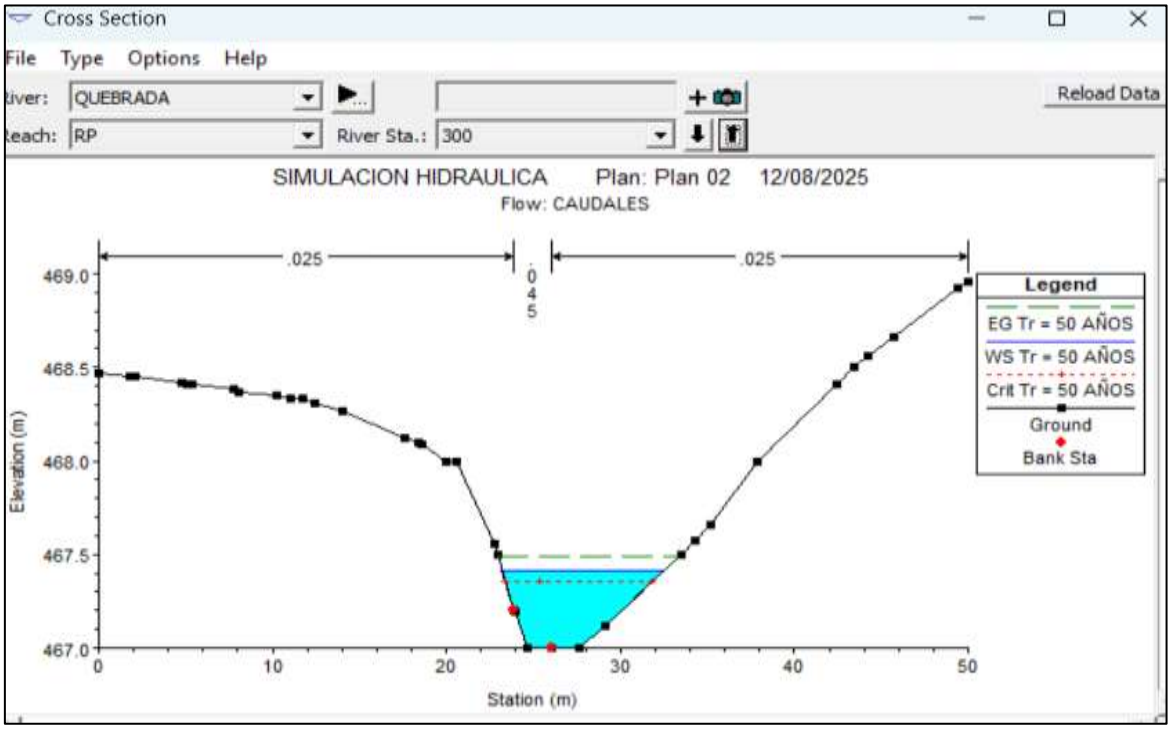
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 200 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 50 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.22. Sección para Tr = 50 años – progresiva 250



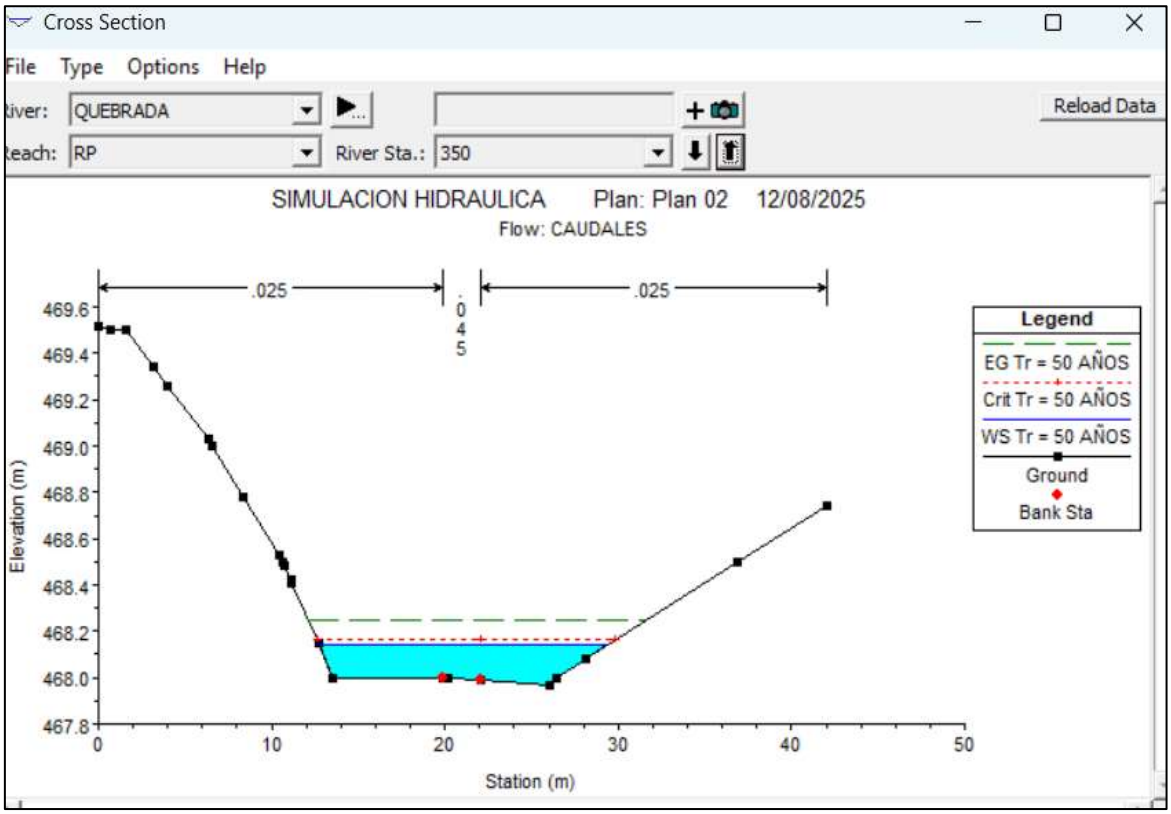
Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 250 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 50 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.23. Sección para Tr = 50 años – progresiva 300



Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 300 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 50 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.24. Sección para Tr = 50 años – progresiva 350



Nota. Sección transversal correspondiente a la progresiva 350 m, obtenida de la modelación hidráulica para un período de retorno de 50 años, mostrando la geometría de la sección y el nivel alcanzado por la lámina de agua. Fuente*:* HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 3.25. Resultados de la simulación en Tr = 50 años

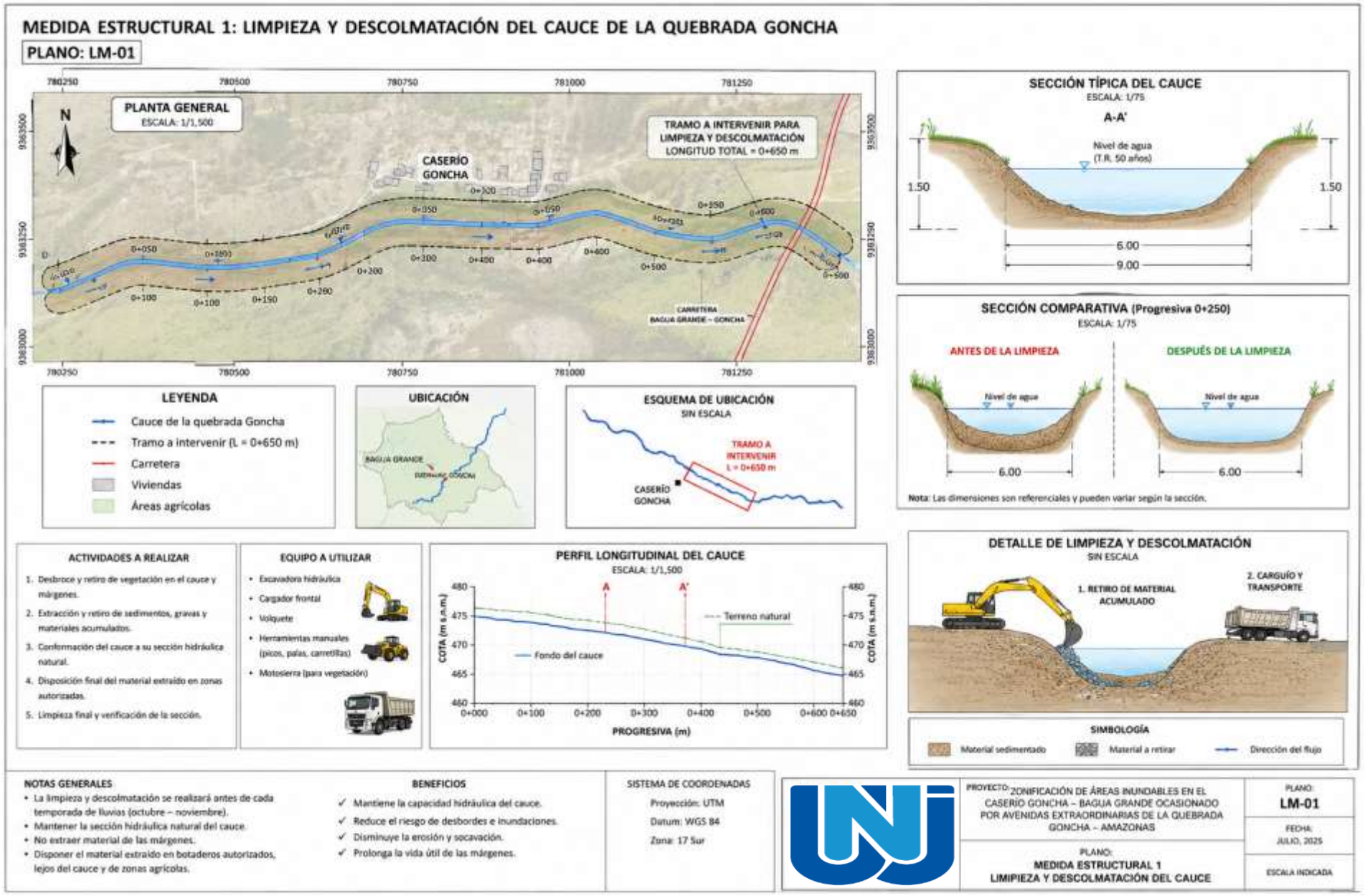
Tr = 50 AÑOS	Q Total	Elevacion	Pendiente	Velocidad	Area de flujo	Froude #	Manning
	(m3/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)		
Tr = 50 AÑOS	3.02	470.74	0.021039	0.47	1.92	0.64	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	470.24	0.001239	0.34	6.1	0.2	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	470.12	0.005866	0.36	3.84	0.37	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	470	0.001257	0.23	6.16	0.19	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	469.91	0.002822	0.21	4.75	0.24	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	469.82	0.001228	0.23	6.63	0.18	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	469.74	0.001692	0.34	5.22	0.23	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	469.66	0.001582	0.25	6.9	0.21	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	469.63	0.00022	0.09	12.04	0.07	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	469.62	0.000274	0.09	10.09	0.08	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	469.61	0.000148	0.09	13.1	0.06	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	469.6	0.000573	0.14	8.99	0.12	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	469.53	0.005035	0.32	3.91	0.34	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	469.13	0.014421	0.52	3.32	0.57	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	468.25	0.021723	0.9	2.15	0.76	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	467.49	0.006532	0.93	2.57	0.48	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	467.1	0.009242	1.23	2.94	0.59	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	466.33	0.035071	1.13	1.82	0.96	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	465.8	0.001476	0.29	5.78	0.21	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	465.62	0.015345	0.5	3.49	0.57	0.045
Tr = 50 AÑOS	3.02	464.73	0.020372	0.86	2.3	0.73	0.045

Nota. Para un período de retorno (T_R) de 50 años, la simulación hidráulica muestra un caudal total (QTotal) constante de 3.02 metros cúbicos por segundo (m^3/s). A lo largo del tramo, la elevación del agua disminuye progresivamente, comenzando en 470.74 metros (m) y terminando en 464.73 metros (m). La velocidad del agua (V) y el área de flujo (A) mantienen una relación inversa. En las secciones más amplias, donde el área de flujo es grande (13.1 m^2), la velocidad es baja (0.09 m/s). Esto indica un flujo lento y profundo. En contraste, en las secciones más estrechas, el área de flujo se reduce (1.82 m^2), lo que provoca un aumento significativo de la velocidad (1.13 m/s); el Número de Froude (Fr) en la mayoría de los puntos es menor a 1.0, lo que clasifica el flujo como subcrítico; esto significa que el flujo es tranquilo y estable, dominado por la gravedad. Sin embargo, en un tramo, el número de Froude alcanza 0.96, muy cerca del flujo crítico, sugiriendo un punto de transición donde el flujo podría volverse inestable. La pendiente (Sf) del canal presenta una alta variabilidad, con valores que van desde 0.000148 m/m hasta 0.035071 m/m. Esta fluctuación en la topografía es la causa principal de los cambios en la velocidad y el área de flujo. El coeficiente de rugosidad de Manning (n) permanece constante en 0.045, lo que asegura que las variaciones observadas son resultado de la geometría del canal y no de la rugosidad de su superficie. Fuente: HEC-RAS – 6.4 (2026).

Anexo 4

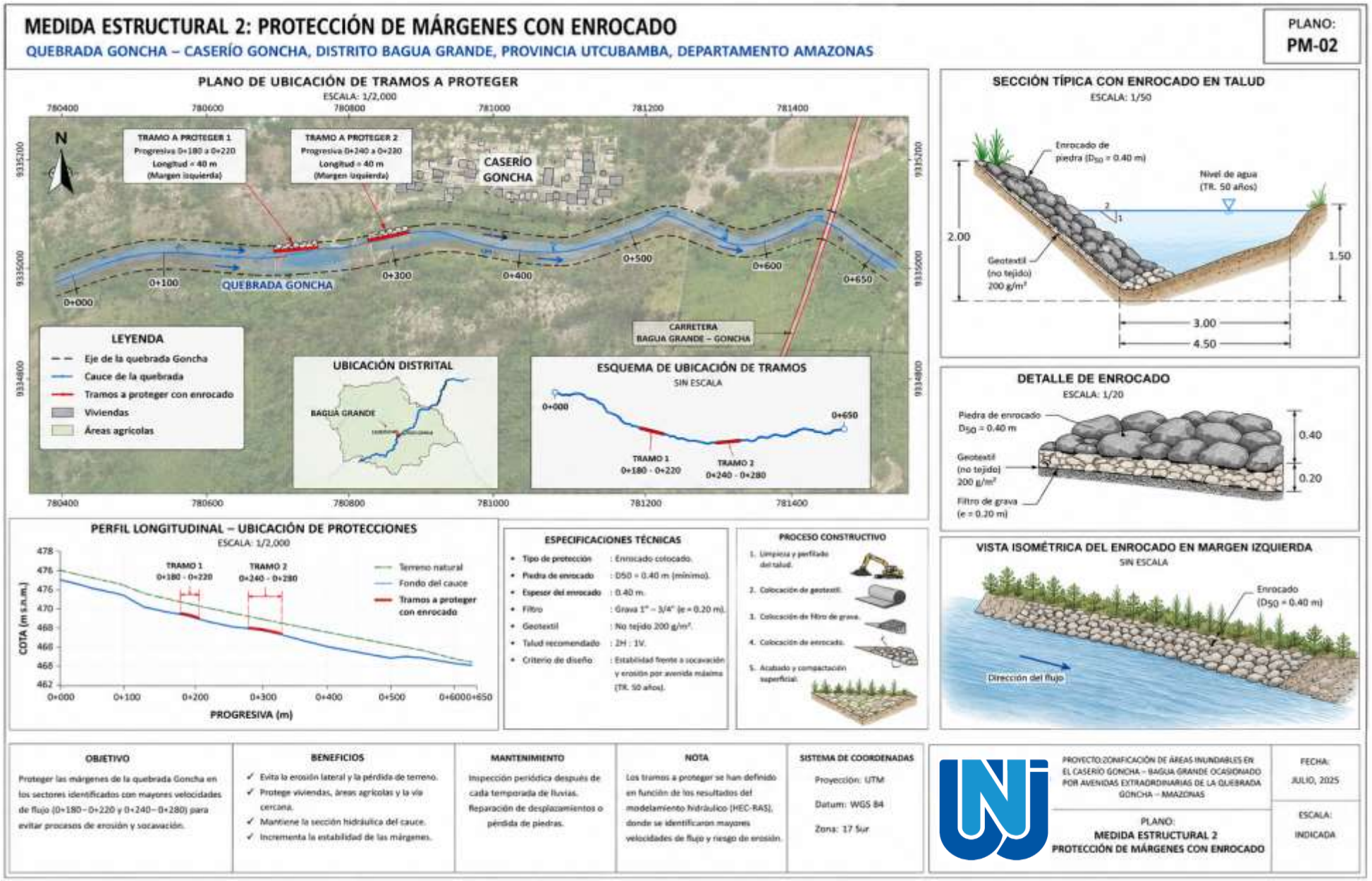
Propuestas

Anexo 4.1. Medida estructural 1



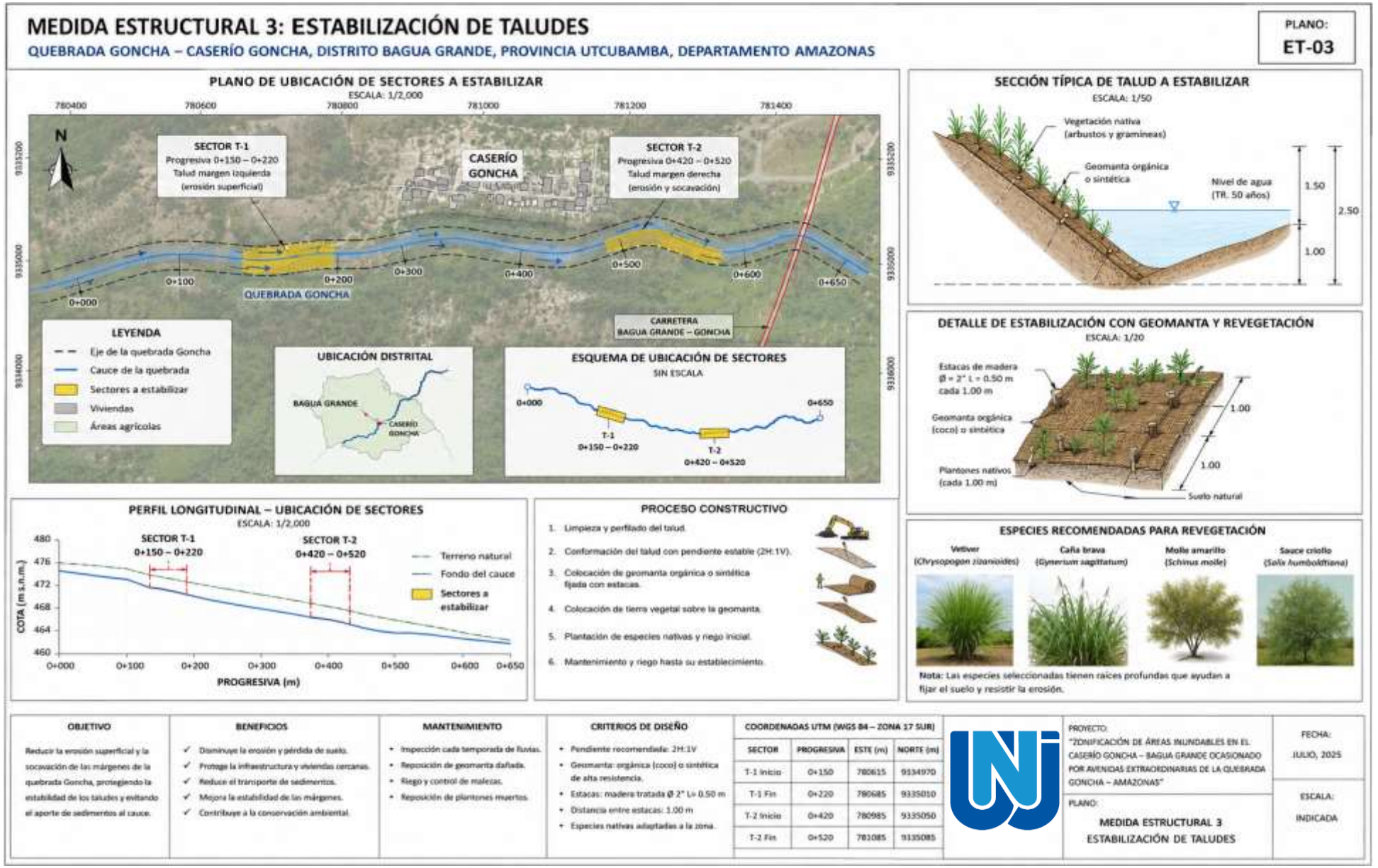
Fuente: ArcGIS Desktop 10.8 (2020).

Anexo 4.2. Medida estructural 2



Fuente: ArcGIS Desktop 10.8 (2020).

Anexo 4.3. Medida estructural 3



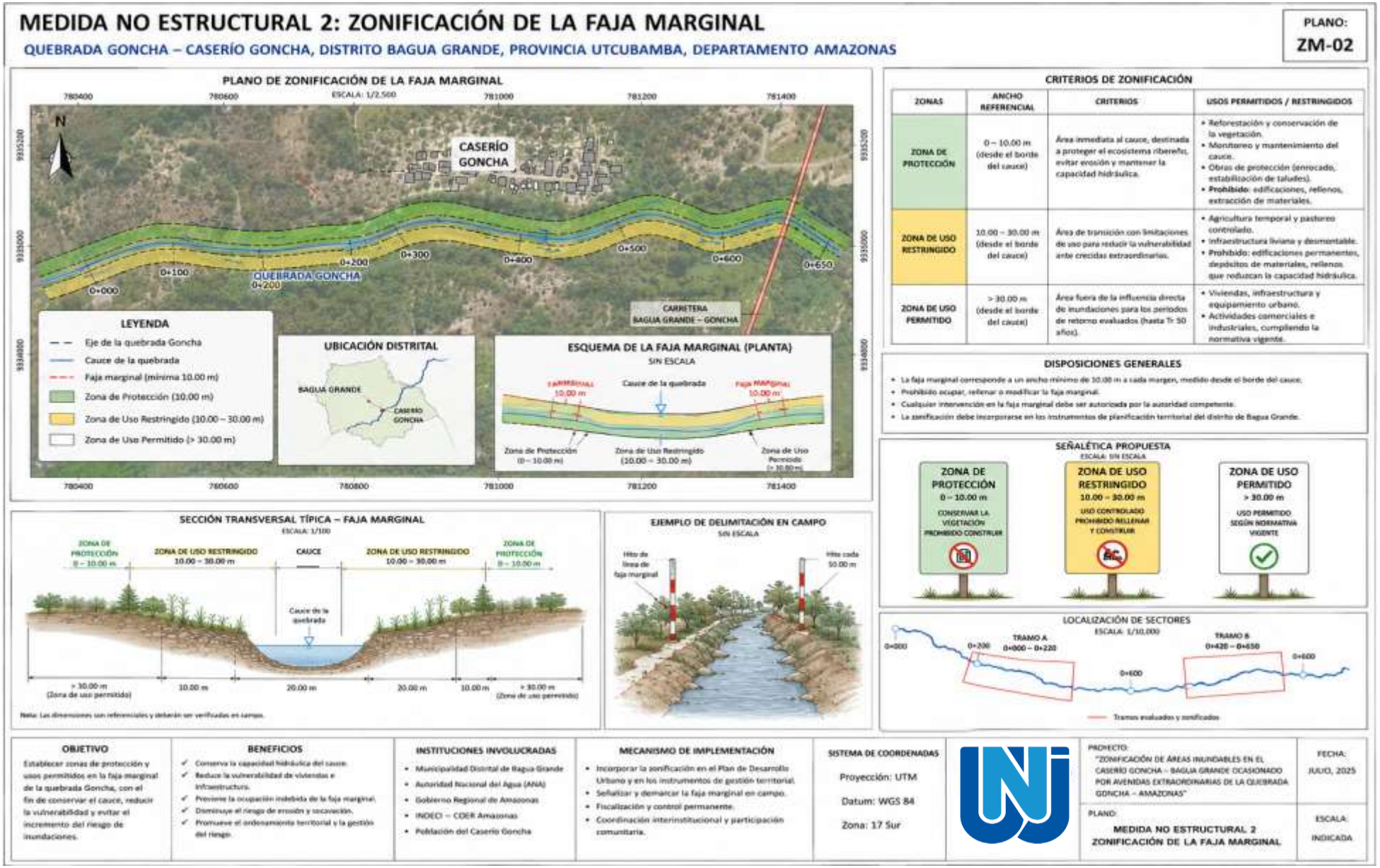
Fuente: ArcGIS Desktop 10.8 (2020).

Anexo 4.4. Medida no estructural 1



Fuente: ArcGIS Desktop 10.8 (2020).

Anexo 4.5. Medida no estructural 2



Fuente: ArcGIS Desktop 10.8 (2020).