

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Análisis de socavación en el puente Puellas por el efecto en la  
confluencia del río Cacazú con la quebrada Puellas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Bach. Daniel Gonzales Ruiz  
Bach. Hans Evanan Tacas

**Asesor:**

Mg. Roberto Roland Yoctun Rios

Lima, noviembre de 2023

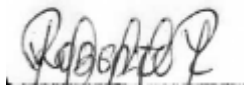
## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo **Mg. ROBERTO ROLAND YOCTUN RIOS** docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**Análisis de socavación en el puente Puellas por el efecto en la confluencia del río Cacazú con la quebrada Puellas**” de los autores, Daniel Gonzales Ruiz y Hans Evanan Tacas tiene un índice de similitud de **9%** verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 27 días del mes de noviembre del año 2023.



---

Mg. Roberto Roland Yoctun Rios

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **30** día(s) del mes de **noviembre** del año 2023 siendo las **9:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Ing. David Diaz Garamendi**, el secretario: **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** y los demás miembros: **Mg. Leonel Chahuares Paucar** y el asesor **Mg. Roberto Roland Yoctun Rios** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Análisis de socavación en el puente Puellas por el efecto en la confluencia del río Cacazú con la quebrada Puellas"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) ..... **HANS EVANAN TACAS**.....

.....b) .....**DANIEL GONZALES RUIZ**.....

.....conducente a la obtención del título profesional de:.....

.....**INGENIERO CIVIL**.....

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **HANS EVANAN TACAS** .....

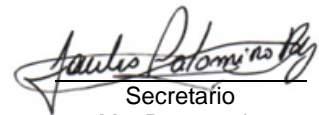
CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>Aprobado</b>	<b>16</b>	<b>B</b>	<b>Bueno</b>	<b>Muy Bueno</b>

Candidato (b): ..... **DANIEL GONZALES RUIZ** .....

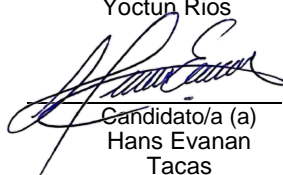
CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>Aprobado</b>	<b>16</b>	<b>B</b>	<b>Bueno</b>	<b>Muy Bueno</b>

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Ing. David Diaz  
Garamendi

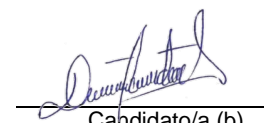
  
\_\_\_\_\_  
Secretario  
Mg. Reymundo  
Jaulis Palomino

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Mg. Roberto Roland  
Yoctun Rios

  
\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)  
Hans Evanan  
Tacas

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Leonel  
Chahuares Paucar

\_\_\_\_\_  
Miembro

  
\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)  
Daniel Gonzales  
Ruiz

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis familiares, amigos y compañero de tesis por el apoyo incondicional.

**Daniel Gonzales Ruiz**

A Dios, por darme la bendición de la vida.

Al Programa Nacional Beca 18 por haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera profesional.

A mis padres, hermanos, amigos y a mi compañero de tesis quien es como un hermano para mí.

A nuestro asesor Mg. Roberto Roland Yoctun Rios por el apoyo brindado.

A nuestro amigo y colega el Ing. Miguel Ángel Gerónimo Correa, por el apoyo durante el proceso de investigación.

**Hans Evanan Tacas**

## DEDICATORIA

A mi Madre.

**Daniel Gonzales Ruiz**

A mis padres con todo amor.

A mi amada Lou, por el apoyo incondicional que me ha brindado por tantos años.

**Hans Evanan Tacas**

# ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. DESARROLLO.....	3
III. METODOLOGÍA .....	4
IV. RESULTADOS.....	5
CONCLUSIONES .....	18
REFERENCIAS .....	19
ANEXOS .....	21

# ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN EN EL PUENTE PUELLAS POR EL EFECTO EN LA CONFLUENCIA DEL RÍO CACAZÚ CON LA QUEBRADA PUELLAS

Daniel Gonzales Ruiz  
<https://orcid.org/0000-0002-6834-4753>  
danielgr@upeu.edu.pe  
Universidad Peruana Unión  
Lima, Perú

Hans Evanan Tacas  
<https://orcid.org/0000-0002-6627-2899>  
hansevanan@upeu.edu.pe  
Universidad Peruana Unión  
Lima, Perú

## RESUMEN

El puente Puellas, ubicado entre la confluencia del río Cacazú y la quebrada Puellas presenta peligros de inundación y profundas socavaciones, por tal motivo, amerita un análisis detallado de estos fenómenos a través de estudios de ingeniería. El presente Artículo posee como objetivo precisar la socavación en el puente Puellas por el efecto en la confluencia del río Cacazú con la quebrada Puellas, situado en el distrito de Villa Rica, provincia de Oxapampa y departamento de Pasco. Fue aplicada una recolección de datos de la zona, tales como la topografía, exploración de suelos, identificación de las microcuencas, asimismo, la recopilación de información hidrológica e hidráulica, estimación de las zonas inundables aplicando el software IBER por presencia de confluencia y la socavación potencial. Se determinó el relieve topográfico 600 metros en dirección contracorriente así como 200 metros en dirección a favor de la corriente desde la estructura del puente Puellas, mediante las exploraciones de suelos se identificó un estrato de 2 m de profundidad clasificado como gravas bien graduadas GW, el caudal de diseño con periodo de retorno de 500 años es 235.33 m<sup>3</sup>/s produciendo una socavación potencial de 5.00 m con defensas ribereñas y 4.55 m sin defensas ribereñas. Finalmente, la presencia de confluencia entre el río Cacazú y puente Puellas, no genera incidencia en la socavación, sin embargo, existe el peligro de inundaciones por lo que se presenta la alternativa de considerar defensas ribereñas.

**Palabra clave:** Confluencia, socavación, hidrología, hidráulica, IBER.

## Sediment Erosion Analysis at Puellas Bridge due to Confluence Effects of the Cacazú River and Puellas Creek

### ABSTRACT

The Puellas bridge, located between the junction of the Cacazú river and the Puellas stream, presents flood hazards and deep scour; therefore, it deserves a detailed analysis of these phenomena through engineering studies. The aim of this study is to ascertain the scour at the Puellas bridge caused by the confluence of the Cacazú river and the Puellas creek, located in the department of Pasco, district of Villa Rica and in the province of Oxapampa. Field data collection was applied, such as topography, soil exploration, identification of micro-watersheds, like the collection of hydrological and hydraulic information, estimation of flood zones using IBER software for the presence of confluence and potential scour. The topographic relief was determined 600 m upstream and 200 m downstream from the Puellas bridge structure; soil explorations identified a 2 m deep stratum classified as well graded GW gravels; the design flow with a 500-year return period is 235.33 m<sup>3</sup>/s, producing a potential scour of 5.00 m with riparian defenses and 4.55 m without riparian defenses. Finally, the presence of the confluence between the Cacazú river and Puellas bridge does not affect scour; however, there is a risk of flooding, so the alternative of considering river defenses is presented.

**Keywords:** Confluence, scour, hydrology, hydraulics, IBER.

---

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la información sobre los parámetros hidrológicos e hidráulicos para los diseños de los puentes en el Perú son generales, dando como resultados posibles riesgos potenciales. El Perú está conformado por una compleja geografía física donde se presencia flujos de agua (quebradas, ríos, entre otros), en las cuales se presencia las avenidas máximas que transportan distintos cuerpos (material del lecho río, flujos de escombros, entre otros), generando la destrucción de los cimientos de las columnas y estribos de los puentes [1]. Este fenómeno trae como consecuencia daños severos en los cimientos y posibles colapsos, generando impacto en los medios de transporte de la población. Debido a que la información para los parámetros hidrológicos e hidráulicos son generales, mediante esta investigación se presenta las consideraciones de ingeniería para reducir los posibles riesgos de socavación a través de los análisis matemáticos y usos de software.

Numerosos estudios realizados indican que la erosión subterránea es responsable de los problemas estructurales de los estribos y pilares de los puentes en distintos países [2]. En el Perú, debido a sus características accidentadas hidrológicas, se ha sufrido diversos daños de infraestructura en distintos puentes en todo el territorio peruano. En 1998, se encontró 58 viaductos destrozados aparte de 28 dañados, se consideró que todos los daños fueron a causa de problemas hidráulicos fluviales, en la cual destaca el fenómeno de socavación [3].

En la actualidad, el Manual de Puentes (2018) establece una serie de criterios técnicos de consideraciones para el diseño de Puentes, en las cuales se menciona estas investigaciones: Estudios Topográficos, Estudios de Hidrología e Hidráulica, Estudios Geológicos y Geotécnicos, entre otros [1]. En el capítulo de Estudios de Hidrología e Hidráulica de la referencia descrita, se hace mención que se debe considerar el fenómeno de socavación, sin embargo, no hay un alcance más detallado cuando pueda suceder una confluencia de flujos de agua que estarán presentes en el puente a proyectar. La confluencia de ríos es un análisis ingenieril que presenta escasez en su consideración para los diseños de puentes.

La actual investigación cuenta con la finalidad de especificar el influjo en la socavación existente cuando se produce un encuentro de caudales acuáticos aplicado en el cruce del río Cacazú con la quebrada Puellas en los estribos del puente Puellas, situado en el distrito de Villa Rica, provincia de Oxapampa, departamento de Pasco. Por consiguiente, se efectuó el análisis topográfico, hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos y modelaciones hidráulicas con el Software Iber, con la finalidad de determinar los distintos parámetros que intervinieron en la evaluación de la socavación

---

## II. DESARROLLO

La socavación de puentes es un problema complejo que ha sido objeto de estudio por más de setenta décadas en distintos laboratorios donde se realizan modelos físicos. Es difícil determinar adecuadamente las profundidades de socavación en la estructura de un viaducto, lo que ocasiona que muchas veces se sobreestime o se subestime su magnitud. Por lo tanto, siempre es recomendable que las decisiones se tomen con base en el conocimiento del cauce y su interacción con la estructura, fundamentándose en estudios de hidrología, hidráulica, geotecnia y estructuras [4].

Existen diversos tipos de evaluación de la socavación de viaductos. Un análisis de la socavación en los estribos del puente Cascajal en el distrito de Olmos en Perú, determinó que, ante máximas avenidas, entre los modelos teóricos aplicados y la utilización del software Hec-Ras existe mayor ajuste efectivo con la ecuación de Froehlich [5]. En otro estudio referido a la socavación del puente Colpa Alta en Huánuco, se emplearon métodos teóricos tales como Artamanov, Straub y Maza; insertados dentro del software Hec-Ras, los cuales dan resultados dispersos siendo el de Artamanov la menor socavación y Straub la mayor [2]. Técnicamente se define que, a mayor tiempo de periodo de retorno, más socavación existe en los pilares de un puente; para reducir la profundidad de socavación se recomienda emplear enrocados cerca de los pilares [6]. Sí en el análisis ingenieril para la comparación de resultados entre modelos unidimensionales (HEC-RAS) y bidimensionales (IBER), este segundo presenta mayor ventaja para tener una gran amplitud en localizar los

puntos donde se pueden generar problemas de erosión o sedimentológicos debido al incremento de velocidades u otros parámetros [7].

La estimación del derrumbamiento en un puente específico nace de un estudio detallado hidrológico, en la cual se analiza el afluente del río que pertenece a una cuenca. Los ríos pertenecen a cuencas de diferentes tamaños, desde unas pequeñas hectáreas hasta miles de kilómetros cuadrados. A su vez, éstas pueden estar constituidos en un orden jerárquico, iniciando desde un conjunto de pequeñas cuencas para formar una de gran tamaño. Las redes de avenamiento de una hoya hidrográfica está conformada por uniones y además, corrientes de agua (confluencia) desde pequeñas hasta las más grandes, la cual se utiliza para establecer sistemas de clasificación, como el orden de los ríos [8].



Fig. 1. Orden del río. Fuente: El marco físico: la cuenca, 2009.

En las confluencias, puede existir el alto riesgo de inundaciones como también la socavación en estructuras de los puentes. En el análisis de los desbordamientos de convergencias ubicadas en la quebrada Avendaño, Río Moche del año 2021, tras su problemática de inundaciones en zonas de viviendas se determinó que, en máximas avenidas sobre suelos denominados como gravas medias y gruesas, si pueden ocurrir inundaciones tras los modelamientos bidimensionales con el software Iber 2.5.1. Una solución propuesta fue el diseño de diques con enrocados con una altura de 3 metros, y además, 4 metros de ancho de corona; por último, diámetro de roca de 1.20 m [9].

En distintas investigaciones se ha aplicado el uso del software Iber, para demostrar su efectividad en las determinaciones de inundaciones y por consiguiente la toma de decisiones para prevenir y reducir su impacto.

En el estudio de modelado hidráulico en Iber para evitar inundaciones en la región de Tesechoacán, México; determinándose que la zona de estudio presentó una peligrosidad alta de inundación, el cual fue validada y comparada con imágenes satelitales a través de las llanuras de inundación [10]. Entre las herramientas para el mapeo hidrológico en relieve se aplican usos de imágenes satelitales como también el uso de drones, como es el caso del modelado de la simulación hidráulica en 2D del segmento puente Av. Felipe II – Tres puentes del río Yanuncay en Ecuador, en la cual se realizó simulaciones sin presencia de rellenos y con rellenos; obteniendo en el primer caso desbordamiento del río y en el segundo caso se pudo mitigar [11]. El software Iber, a través de un análisis detallado no solo permite determinar las zonas inundables sino también ayuda a definir los niveles de riesgos existentes (por inundación), tal cual fue presentada en la investigación de Mori Tania en el 2020 [12].

---

### III. METODOLOGÍA

El presente artículo se desarrolló como una investigación tipo aplicada que busca solucionar una problemática de aplicación inmediata, clasificada con un enfoque cuantitativo por los índices numéricos emanados a través de recopilación de información y fundamentos generados con los modelamientos hidrológicos, geotécnicos e hidráulicos [13]. Finalmente, se permitió demostrar la hipótesis de falla por

socavación en la subestructura tipo estribo en el Puente Puellas se debe a los parámetros hidráulicos, geotécnicos, hidrológicos y geomorfológicos generados debido a la afluencia del río Cacazú con la quebrada Puellas, a través de una investigación descriptiva en la se hizo mención de las propiedades y características determinadas de cada competente que marco significancia en los análisis y conclusiones.

La población está enfocada por la socavación en las subestructuras tipo estribos de los puentes en general, sin embargo, para la presente investigación la muestra es representada por la socavación en el estribo del Puente Puellas en efecto de una confluencia entre el río Cacazú y la quebrada Puellas.

De lo mencionado en los párrafos anteriores, el proceso metodológico, tal como se muestra en la Figura 2, se inició desde la recopilación preliminar del reporte asociada al área geográfica del sector estudiado ubicado en el km 82+650 Red Vial Nacional Ruta PE 05N, sobre la Quebrada Puellas y asentado en la población menor CC NN Puellas, ubicado en el departamento de Pasco, provincia de Oxapampa, distrito de Villa Rica. Posteriormente, se efectuó el registro al área de análisis con la implementación necesaria para el levantamiento topográfico y la exploración geotécnica (seguido con los ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas). Además, la investigación continuó con la recopilación de la información hidráulica e hidrológica de acuerdo a las estaciones meteorológicas y el análisis con la revisión bibliográfica para determinar los parámetros necesarios. Finalmente, considerando los parámetros antes mencionados, se realizó el modelamiento hidráulico e hidrológico a través del software IBER permitiendo fijar la existencia de aluvión y posteriormente, socavación en el estribo del Puente Puellas, a través de la existencia de la confluencia del río Cacazú y la quebrada Puellas, en conjunto con el análisis de presencia de defensas ribereñas y sin ellas.



Fig. 2. Proceso metodológico de investigación: Fuente: Elaboración propia.

#### IV. RESULTADOS

##### Estudio topográfico

Se efectuó el reconocimiento del área de estudio, determinándose las cuencas que influyen en el análisis, estas fueron la microcuenca del río Cacazu y la quebrada Puellas, así como la posición de la estructura y subestructura. Definida la posición de la estructura se procedió a realizar la medición topográfica de 600 metros corriente arriba y 200 metros corriente abajo, de acuerdo con las pautas del Manual de Puentes.

### Análisis de mecánica de suelos

Se realizó una exploración en el campo, determinándose cuatro excavaciones de profundidad de 2.00 m. Se recopilaron muestras y se enviaron al laboratorio de ensayo de materiales.

Se realizaron ensayos de pruebas granulométrico con el fin de obtener dividendos de partículas de diámetros nominales desde la malla 3 pulgadas hasta el grano fino (material pasante la malla No. 200) [14]. En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis granulométrico.

Los resultados muestran que el suelo está denominado como graba bien graduada GW, significando que están compuestos por partículas de distintos tamaños (forma graduada), siendo de diámetro D50 27.48 mm.

**Tabla 1.** Resumen de resultados del análisis granulométrico y clasificación de suelos

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	Fuente: Elaboración propia.
		01 PASA (%)	02 PASA (%)	03 PASA (%)	04 PASA (%)	
3"	76.200	100.00	100.0	100.0	100.0	Estudio hidrológico La microcuenca Cacazú no cuenta con estaciones
2½"	60.350	89.05	95.4	92.8	90.1	
2"	50.800	83.21	77.2	85.6	78.5	
1½"	37.500	76.77	59.4	67.1	60.8	
1"	25.400	56.39	46.6	44.3	42.5	
¾"	19.100	42.30	39.4	34.3	31.7	
½"	12.700	30.35	32.4	25.0	21.3	
⅜"	9.520	24.74	28.2	20.8	18.9	
¼"	6.350	19.10	22.4	16.3	14.2	
N°4	4.750	16.79	19.4	14.6	12.7	
N°8	2.360	8.27	11.9	6.6	5.5	
N°10	2.000	7.47	4.9	4.4	3.6	
N°16	1.180	6.27	3.8	3.8	3.1	
N°20	0.850	4.62	3.2	3.5	2.9	
N°30	0.600	3.17	2.7	3.0	2.4	
N°40	0.425	2.48	2.3	2.6	2.1	
N°50	0.300	1.17	1.9	2.2	1.7	
N°60	0.250	0.62	1.5	1.8	1.3	
N°80	0.180	0.31	1.0	1.2	0.9	
N°100	0.150	0.29	0.6	0.7	0.5	
N°200	0.075	0.26	0.1	0.2	0.0	
< N° 200	FONDO	0.00	0.0	0.0	0.0	
Índice de Humedad (%)		1.92	0.60	1.02	2.65	
Gravedad Especifica		2.55	2.57	2.57	2.57	
Clasificación		GW	GW	GW	GW	

pluviométricas ni hidrométricas, por lo que se utilizó las estaciones de aledañas cuencas. Estos centros son gestionados y cuidados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), así como información cartográfica a través del IGN (Instituto Geográfico Nacional), obteniéndose así la siguiente información.

La información analizada tuvo como fin obtener los flujos de diseño para distintos intervalos de recurrencia del Puente Puellas y también, el río Cacazu [15]. Como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 2. Estaciones pluviométricas

Estación	Tipo	Fuente	Dpto.	Ubicación			Parámetro	Período	N° (número de datos)
				Altitud (msnm)	Lat.	Long.			
Oxapampa /000557/DZ- 11	Meteorológica	SENAMHI	Pasco	1850	10°35' S	75°23'W	PM24h	1970 - 1972 / 1996 - 2014 / 2016 - 2017 1965 - 1978 / 1996 -	25
Pozuzo /000556/DZ- 11	Meteorológica	SENAMHI	Pasco	1000	10°03' S	75°33'W	PM24h	1999 / 2006 - 2014 / 2017 - 2018	29
Pichanaky /000476/DZ- 11	Meteorológica	SENAMHI	Junín	546	10°57' S	74°48'W	PM24h	1996 - 2016	21
San Ramon /000561/DZ- 11	Meteorológica	SENAMHI	Junín	800	11°07' S	75°20'W	PM24h	1940 - 1948 / 1954 - 1968 / 1974 - 1979	30

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Periodos de retorno

ESTRUCTURA	RIESGO OCURRENCIA (%)	DE PERIODO DE VIDA UTIL (años)	DE PERIODO DE RETORNO ADOPTADO (años)
Puentes	0.25	40	175
Defensas ribereñas	0.25	40	140
Alcantarillas mayores y badenes	0.30	25	71
Alcantarillas menores y de alivio	0.35	15	35
Cunetas y zanjas	0.40	15	30
Sub drenes	0.40	15	30
Socavación en puentes y defensas			500

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, MTC.

## Análisis de datos dudosos

Para iniciar el análisis, se realizó una prueba inicial para evaluar la confiabilidad de los datos registrados para un día específico en la estación. Esta prueba siguió el Método del Water Resources Council [16], que consiste en determinar valores máximos y mínimos de precipitación aceptables mediante el cálculo de umbrales altos y bajos para datos dudosos [17].

Se continuó con la prueba Smirnov-Kolmogorov [18], la cual se dirigió a establecer la distribución matemática para ajustar los registros de precipitación desde lo máximo histórica.

Se halló el comportamiento de los dato internos por log – normal, log Pearson III, Pearson III y Gumbel.

**Tabla 4.** Resumen de resultados del análisis granulométrico y clasificación de suelos

<b>Estación meteorológica</b>	<b>Función de distribución</b>
Oxapampa	Log Person III
Pozuzo	Log Normal
Pichanakyi	Log Normal
San Ramon	Log Person III

Fuente: Elaboración propia.

Determinación de la lluvia máxima promedio para diversos intervalos de recurrencia.

Según los promedios de precipitación en distintos periodos los cuales tendrán un retorno que se realizó mediante el método de las isoyetas, por ser más preciso en comparación de otros métodos como Media Aritmética y Polígono de Thiessen, ya que nos permite considerar las consecuencias orográficas en la estimación de la precipitación en la cuenca. El método consiste en trazar isolíneas de precipitación empleando los datos de precipitación de las estaciones, para un periodo determinado en el área de estudio [19].

El “Análisis geoestadístico” del programa ArcGIS es la herramienta, que hace posible crear superficies puntuales. Permitiendo llegar a datos precisos en este caso sobre precipitaciones [19] para diferentes periodos de retorno, los cuales son analizadas por medios geoestadísticos.

De acuerdo a los datos establecidos para la Tabla 5, se indica las cifras de precipitaciones máximas promedios para distintos lapsos de recurrencia que la quebrada Puellas (C-01) y del rio Cacazu (C-02).

**Tabla 5.** Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno

Cuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	Precipitación Máxima Promedio(mm)									
		Tr 2 años	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 30 años	Tr 35 años	Tr 71 años	Tr 100 años	Tr 150 años	Tr 175 años	Tr 500 años
C-01											
Quebrada Puellas	19.61	64.81	79.72	89.48	104.31	106.29	115.96	120.64	126.29	128.46	143.64
C-01 A											
Quebrada Puellas	19.58	64.81	79.72	89.49	104.31	106.29	115.97	120.64	126.30	128.47	143.65
C-02											
Microcuenca del Río Cacazu	98.23	62.35	76.89	86.46	101.10	102.8	112.6	117.3	122.9	125.1	140.2

Fuente: Elaboración propia

## Determinación de Intensidades de diseño

Definidas las precipitaciones máximas, se evaluaron las “curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)” [20] respecto a la Quebrada Puellas y de la Microcuenca del río Cacazu.

Utilizando el método Frederich-Bell [21], el análisis se realizó para estimar la precipitación extrema durante una hora con un lapso de recurrencia de 10 años mediante la fórmula de Yance Tueros.

En la Figura 3 y 4, se muestran las curvas IDF resultantes, para la Quebrada Puellas (C-01) y de la Microcuenca del río Cacazu (C-02) respectivamente.

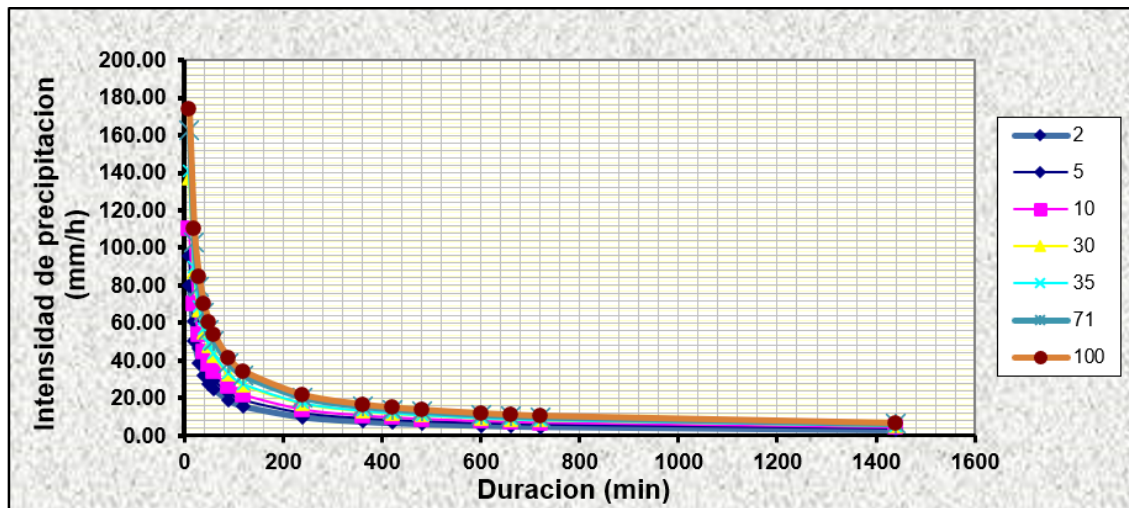


Fig. 3. Curvas I-D-F – Quebrada Puellas (C-01). Fuente: Elaboración propia.

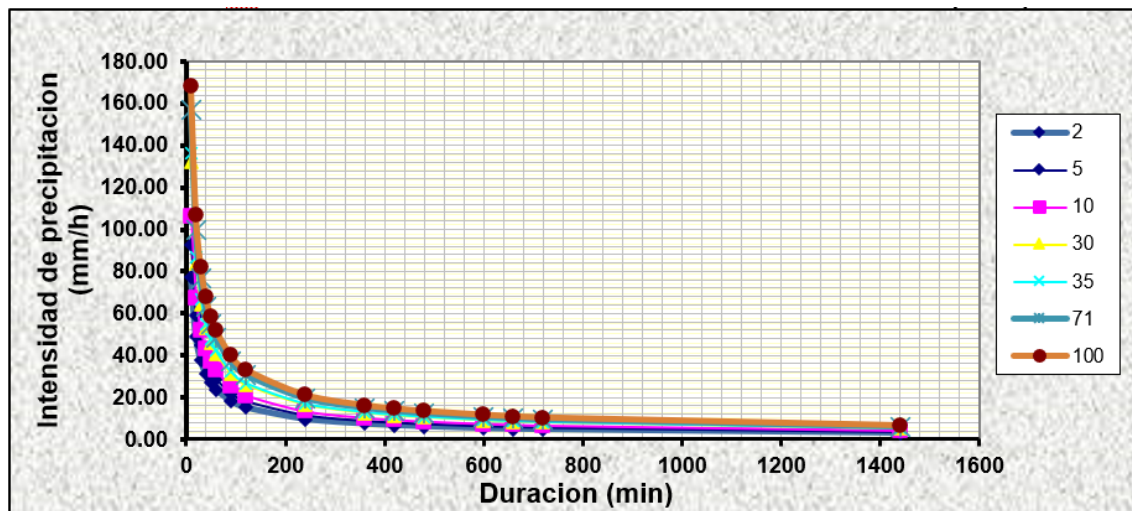


Fig. 4. Curvas i-d-f – microcuenca del río Cacazú (c-02). Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos establecidos para la Tabla 6 se observa las cifras de Intensidad por un lapso de tiempo de retorno, correspondiente, a la quebrada Puellas (C-01) y al río Cacazu (C-02).

Tabla 6. Intensidad de diseño

CUENCAS	PROGRESIVA Km.	Tc (horas)	Tc ≥ 0.17 (horas)	INTENSIDAD PARA CADA CUENCA EN DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO (mm/h)				
				35	71	140	175	500
C-01								
Quebrada Puellas C-01A	-	1.12	1.12	40.61	46.75	53.51	55.94	68.95
Quebrada Puellas C-02	82+638	1.12	1.12	40.50	46.63	53.38	55.80	68.77
Microcuenca del Rio Cacazu	-	3.46	3.46	18.70	21.53	24.65	25.77	31.77

Fuente: elaboración propia.

Determinación del número de curva (SCS)

Teniendo en consideración los atributos del suelo, grupo hidrológico y el follaje de las cuencas, para el supuesto del CN [22] se han asignado valores de números de curvas para la condición de humedad II y III, dichos valores se obtienen usando la tabla de valores de escurrimiento incluida en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC.

En la Tabla 7 se indica los CN para la quebrada Puellas y río Cacazú.

Tabla 7. Número de curva

CODIGO	CUENCA	AREA CUENCA (KM2)	UNIDAD	CN	SUB AREAS (%A)	$CN = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$
C-01	Quebrada Puellas	19.58	Ano_ba	84	80.66%	80
			Bm ba	70	17.34%	
C-01A	Quebrada Puellas	12.25	Ano_ba	84	80.68%	80
			Bm ba	70	17.32%	
C-02	Microcuenca del Rio Cacazu	117.84	Ano_ba	84	98.29%	81
			Bm ba	70	16.71%	

Fuente: Elaboración propia.

Determinación del Coeficiente de Rugosidad

El método de Cowan se aplicó para establecer el coeficiente de aspereza tanto en las llanuras de inundación como en el lecho de la quebrada Puellas y el río Cacazú.

De acuerdo a los datos establecidos para la Tabla 8 se indican los coeficientes de rugosidad obtenidos para la quebrada Puellas y para el río Cacazú.

**Tabla 8.** Coeficientes de rugosidad de Manning

CUENCAS	CODIGO	COEFICIENTE DE MANING	
		CAUCE	LLANURAS DE INUNDACIÓN
Quebrada Puellas	C-01	0.06	0.13
Microcuenca del Río Cacazu	C-02	0.05	0.12

Fuente: Elaboración propia.

#### Cálculo del Tiempo de Concentración

En la Tabla 9 se indican los tiempos de concentración calculados en función de los procesos de USDA-SCS, Kirpich, Bransy – Willams y US Corps Engineers.

**Tabla 9.** Tiempo de concentración

CUENCAS	PROGRESIVA	ÁREA	PENDIENTE MEDIA	LONGITUD DEL CAUCE	CN	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (Tc)				Tc ELEGIDO
						KIRPISH	SCS	B-W	CORPS OF ENGINEERS	
C-01										
Quebrada Puellas	-	19.61	0.1916	5.50	80	0.47	1.22	1.38	1.50	1.12
C-01A										
Quebrada Puellas	82+638	19.58	0.1946	5.40	80	0.46	1.20	1.35	1.47	1.12
C-02										
Microcuenca del Río Cacazú	-	98.23	0.0691	15.15	81	1.50	4.44	3.98	3.93	3.46

Fuente: Elaboración propia.

#### Determinación del cálculo de diseño

Dado que no existen registros hidrométricos de sucesos extremos en la cuenca analizada, la estimación de estos eventos se ha basado en el modelo de precipitación-escorrentía. Este modelo también considera las propiedades fisiográficas de la cuenca.

#### Modelo Precipitación – Escorrentía, Hidrograma Unitario SCS

Para determinar la escorrentía causada por la lluvia de diseño, el patrón Precipitación-Escorrentía utilizó el hidrograma sintético del Soil Conservation Service (SCS) [23], que considera las pérdidas por infiltración.

**Tabla 10.** Caudales líquidos obtenidos con el modelo precipitación – ESCORRENTIA H.U. SCS

N°	Cuenca	Progresiva	Área (Km2)	Caudales (m3/seg)				
				HMS				
				SCS - Unit Hydrograph (SCS Storm)				
			Tr 35 años	Tr 71 años	Tr 150 años	Tr 175 años	Tr 500 años	
1	C-01 Quebrada Puellas	-	19.61	126.90	145.10	164.80	169.00	198.40
2	C-01A Quebrada Puellas	82+638	19.58	126.40	144.60	164.20	168.40	197.70
3	C-02 Microcuenca del río Cacazú	-	98.23	311.30	358.60	409.00	419.80	495.00

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 11, se condensan los datos de caudales extremos obtenidos mediante el uso del modelo Precipitación - Escorrentía y el método H.U. SCS aplicado a hietogramas.

**Tabla 11.** Caudales líquidos obtenidos con el modelo precipitación – ESCORRENTIA HU SSC HYETOGRAH

N°	Cuenca	Progresiva	Área (Km2)	Caudales (m3/seg)				
				HMS				
				SCS - Unit Hydrograph (Spedified Hyetorgrah)				
			Tr 35 años	Tr 71 años	Tr 150 años	Tr 175 años	Tr 500 años	
1	C-01 Quebrada Puellas	-	19.61	62.30	82.60	109.20	115.40	166.60
2	C-01A Quebrada Puellas	82+638	19.58	62.10	82.30	108.80	115.10	165.20
3	C-02 Microcuenca del río Cacazú	-	98.23	225.10	286.90	367.10	385.60	532.50

Fuente: Elaboración propia.

#### Modelos de precipitación – Escorrentía Hidrograma Unitario Clark

El H.U. de Clark se fundamenta en dividir la superficie de la cuenca con líneas isócronas. Esto permite calcular el volumen de agua precipitada sobre cada área y tener en cuenta el retraso causado por el movimiento del agua a través de la cuenca. [24].

La implementación de este modelo en la plataforma HEC-HMS requirió el uso de un coeficiente de almacenamiento R (expresado en horas) [25]. Este coeficiente es fundamental en la descripción del método, ya que simboliza el retardo que la cuenca impone al desplazamiento de la escorrentía superficial.

Para algunos autores la similitud se da por la fracción de la concentración multiplicándolo por 0.75 [26], [27].

En la Tabla 12 Se sintetizan los valores de caudales extremos logrados a través del modelo Precipitación-Escorrentía, utilizando el H.U. Clark.

**Tabla 12.** Caudales líquidos obtenidos con el modelo precipitación – ESCORRENTÍA HU. CLARK

N°	Cuenca	Progresiva	Área (Km <sup>2</sup> )	Caudales (m <sup>3</sup> /seg)				
				HMS				
				Clark Unit Hydrograph				
				Tr 35 años	Tr 71 años	Tr 150 años	Tr 175 años	Tr 500 años
1	C-01 Quebrada Puellas	-	19.61	7.90	9.00	10.30	10.50	12.40
2	C-01A Quebrada Puellas	0+600	19.58	7.90	9.00	10.20	10.50	12.30
3	C-02 Microcuenca del río Cacazú	-	98.23	14.80	17.00	19.30	19.80	23.30

Fuente: Elaboración propia.

De los tres modelamientos se utilizará el modelo más conservador, es decir el patrón Hidrograma Sintético del Soil Conservation Service (SCS).

**Tabla 13.** Caudales líquidos de diseño

N°	Cuenca	Progresiva	Área (Km <sup>2</sup> )	Caudales Líquido (m <sup>3</sup> /seg)				
				Tr 35 años	Tr 71 años	Tr 150 años	Tr 175 años	Tr 500 años
1	C-01 Quebrada Puellas	-	19.61	126.90	145.10	164.80	169.00	198.40
2	C-01A Quebrada Puellas	82+638	19.58	126.40	144.60	164.20	168.40	197.70
3	C-02 Microcuenca del río Cacazu	-	98.23	311.30	358.60	409.00	419.80	532.50

Fuente: Elaboración propia.

#### Estimación de Caudales Hiperconectados

Complementariamente, se estimó el caudal sólido potencial para las quebradas principales. La estimación se realizó utilizando ocho fórmulas empíricas [28], las cuales se basan en el caudal líquido y la inclinación del cauce en cada quebrada.

En la Tabla 14 se registran los valores de los caudales hiperconcentrados potenciales, en la quebrada.

**Tabla 14.** Caudales líquidos de diseño

CODIGO	CUENCA	Progresiva	Área	Tr	Q líquido	s	Qs Caudal
							hiperconcentrado potencial promedio
		Km	Km <sup>2</sup>	años	m <sup>3</sup> /s	m/m	m <sup>3</sup> /s
C-01		-	19.61	35	126.90	0.19164	<b>23.432</b>
C-01	Quebrada Puellas	-	19.61	71	145.10	0.19164	<b>26.792</b>
C-01		-	19.61	150	164.80	0.19164	<b>30.430</b>
C-01		-	19.61	175	169.00	0.19164	<b>31.205</b>
C-01		-	19.61	500	198.40	0.19164	<b>36.634</b>
C-01A		Quebrada	82+638.00	19.58	35	126.40	0.19463
C-01A	Puellas	82+638.00	19.58	71	144.60	0.19463	<b>27.520</b>

C-01A		82+638.00	19.58	150	164.20	0.19463	<b>31.251</b>
C-01A		82+638.00	19.58	175	168.40	0.19463	<b>32.050</b>
C-01A		82+638.00	19.58	500	197.70	0.19463	<b>37.626</b>
C-02		-	98.23	35	311.30	0.06911	<b>8.137</b>
C-02	Microcuen	-	98.23	71	358.60	0.06911	<b>9.374</b>
C-02	ca del río	-	98.23	150	409.00	0.06911	<b>10.691</b>
C-02	Cacazú	-	98.23	175	419.80	0.06911	<b>10.974</b>
C-02		-	98.23	500	532.50	0.06911	<b>13.920</b>

Fuente: Elaboración propia.

Caudales de diseño finales

Finalmente se presentan los caudales de diseño obtenidos para cuenca de interés del presente estudio.

Tabla 15. Caudales líquidos de diseño

CODIGO	CUENCA	Progresiva	Área	Tr	Q líquido	s	Qs Caudal	Q
							hiperconcentrado potencial promedio	Caudal de diseño
		Km	Km <sup>2</sup>	años	m <sup>3</sup> /s	m/m	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
C-01		-	19.61	35	126.90	0.19164	23.432	<b>150.33</b>
C-01		-	19.61	71	145.10	0.19164	26.792	<b>171.89</b>
C-01	Quebrada Puellas	-	19.61	150	164.80	0.19164	30.430	<b>195.23</b>
C-01		-	19.61	175	169.00	0.19164	31.205	<b>200.21</b>
C-01		-	19.61	500	198.40	0.19164	36.634	<b>235.03</b>
C-01A		82+638	19.58	35	126.40	0.19463	24.057	<b>150.46</b>
C-01A		82+638	19.58	71	144.60	0.19463	27.520	<b>172.12</b>
C-01A	Quebrada Puellas	82+638	19.58	150	164.20	0.19463	31.251	<b>195.45</b>
C-01A		82+638	19.58	175	168.40	0.19463	32.050	<b>200.45</b>
C-01A		82+638	19.58	500	197.70	0.19463	37.626	<b>235.33</b>
C-02		-	98.23	35	311.30	0.06911	8.137	<b>319.44</b>
C-02	Microcuenca del río Cacazu	-	98.23	71	358.60	0.06911	9.374	<b>367.97</b>
C-02		-	98.23	150	409.00	0.06911	10.691	<b>419.69</b>
C-02		-	98.23	175	419.80	0.06911	10.974	<b>430.77</b>
C-02		-	98.23	500	532.50	0.06911	13.920	<b>546.42</b>

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, para asegurarnos de que el fenómeno de Confluencia no afecte al puente se ha considera dos planteamientos hidráulicos, la primera haciendo la verificación con la topografía sin alteraciones de esta, sin considerar alguna obra de arte adicional, verificando que la confluencia llega a un desborde de 60 m desde el punto de confluencia, pero en al caso de la quebrada Puellas existe un desbordamiento discurriendo aproximadamente unos 200 m por el centro poblado de Alto Puellas y continua su recorrido hasta llegar al cauce actual. Así mismo para mitigar el problema de confluencia y de desbordamiento de la quebrada Puellas se ha modelado con la incorporación de una defensa ribereña, obteniéndose los resultados que a continuación se detallan.

Estudio hidráulico

Resultados del modelamiento con el Software Iber

## Modelamiento de la Quebrada Puellas y el río Cacazú sin defensa ribereña

Realizado el modelamiento hidráulico con los caudales del río Cacazú y la quebrada Puellas para un lapso de tiempo de recurrencia de 500 años, arroja un resultado de profundidad de 0.27 metros para el estribo derecho y de 1.85 metros para el estribo izquierdo, tal como se ilustra en la Figura 5.

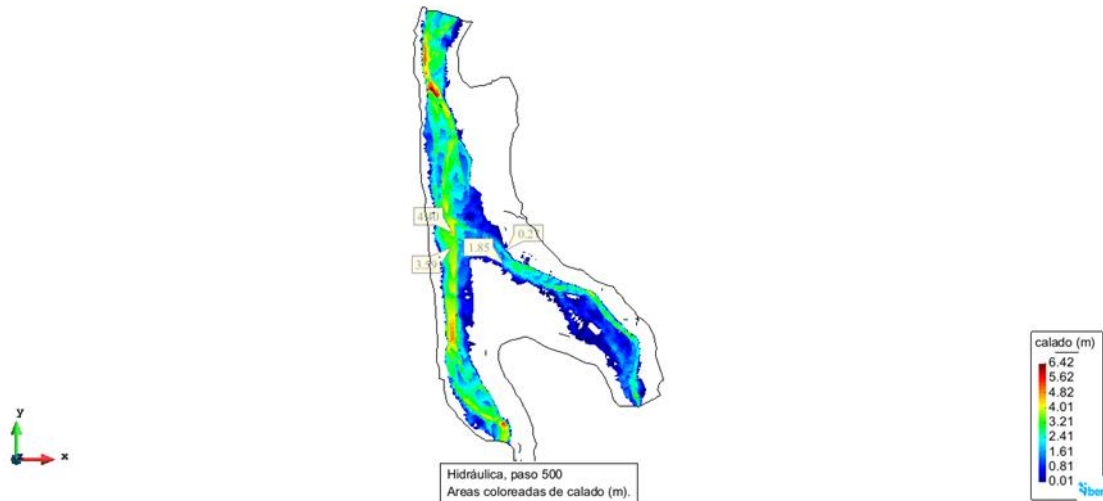


Fig. 5. Resultados de calado de la quebrada Puellas y el río Cacazú. Fuente: Elaboración propia.

Realizado el modelamiento hidráulico con los caudales del río Cacazú y la quebrada Puellas para un lapso de tiempo de recurrencia de 500 años, nos ofrece como resultado un número de Froude de 1.27 metros para el estribo derecho y de 0.53 metros para el estribo izquierdo, como se evidencia en la Figura 6.

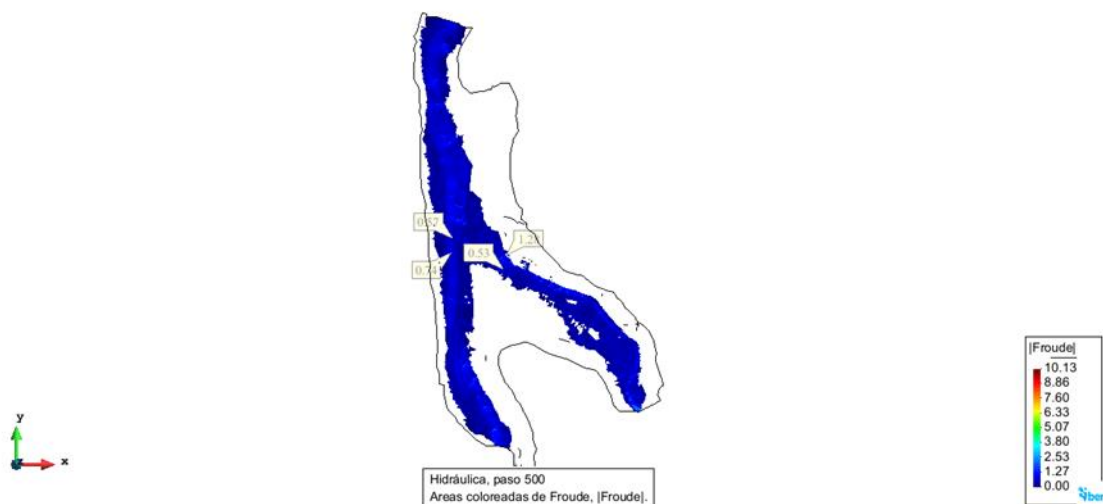


Fig. 6. Resultado del número de Froude de la quebrada Puellas y el río Cacazú. Fuente: Elaboración propia

Realizado el modelamiento hidráulico con los caudales del río Cacazú y la quebrada Puellas para un lapso de tiempo de retorno de 500 años, arroja un resultado de velocidades de 2.07 metros por segundo para el estribo derecho y de 2.28 metros por segundo para el estribo izquierdo, tal como se presenta en la Figura 7.

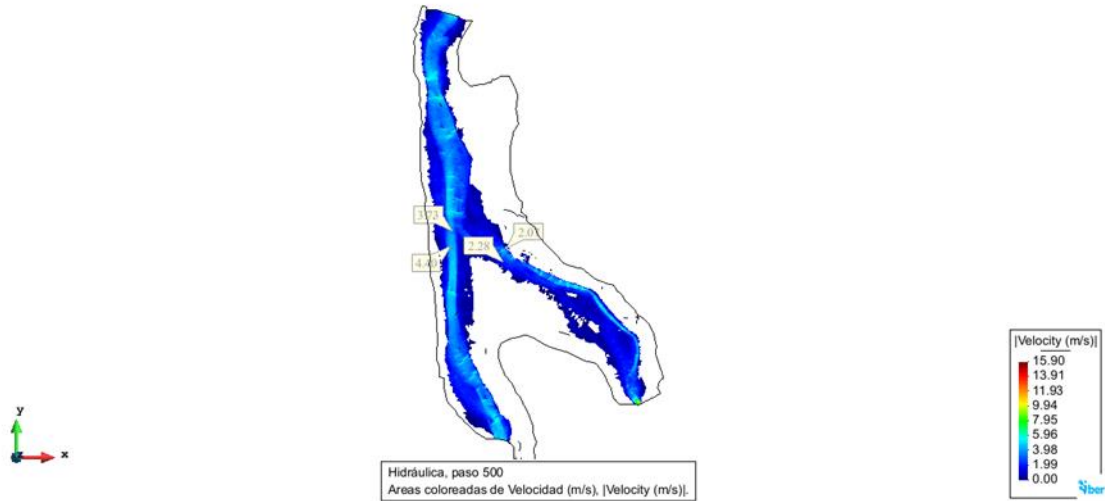


Fig. 7. Resultado de velocidades de la quebrada Puellas y el río Cacazú. Fuente: Elaboración propia

### Modelamiento de la Quebrada Puellas y el río Cacazú con defensa ribereña

Realizado el modelamiento hidráulico con los caudales del río Cacazú y la quebrada Puellas para un lapso de tiempo de retorno de 500 años, arroja un resultado de profundidad para el estribo derecho de 2.25 metros y para el estribo izquierdo de 0.05 metros, como se indica en la Figura 8.

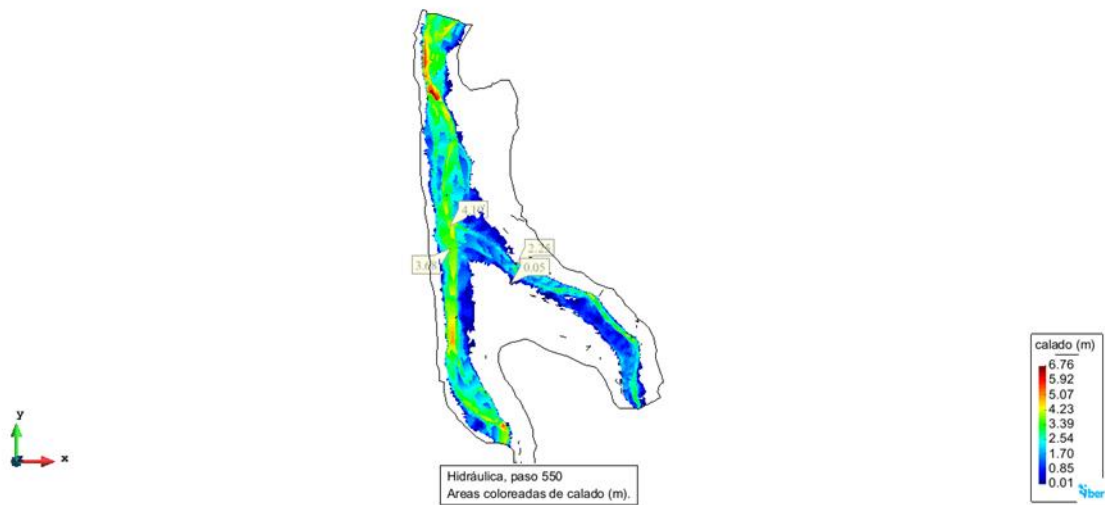
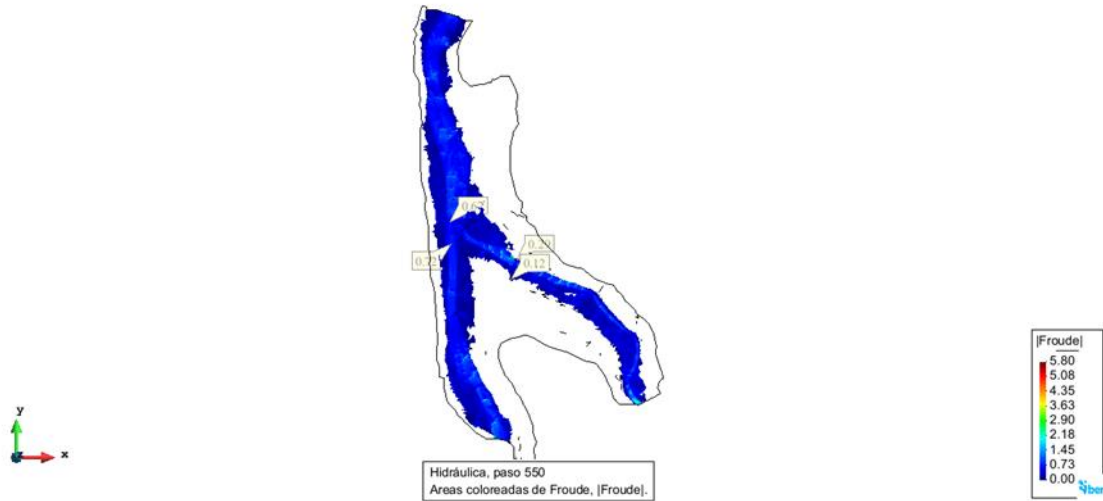


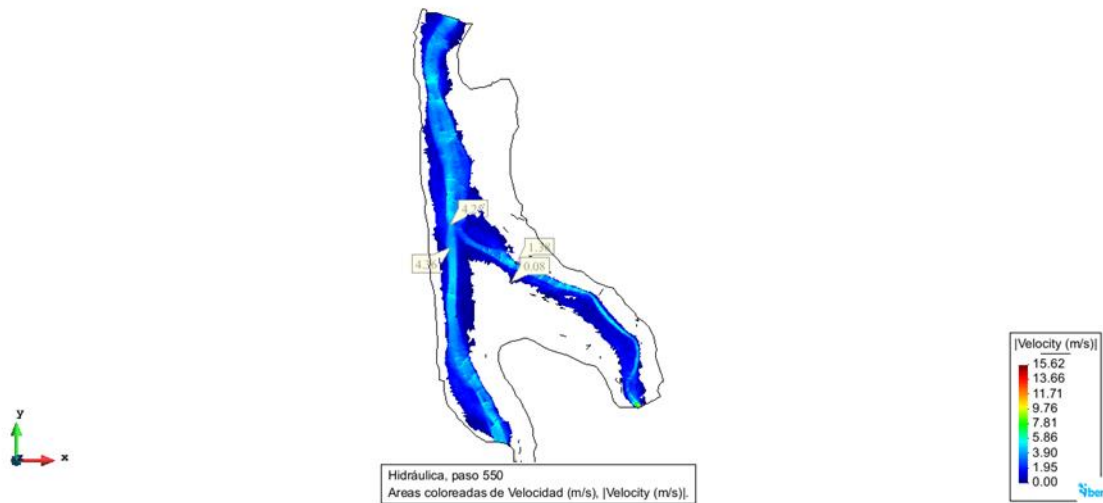
Fig. 8. Resultados de calado de la quebrada Puellas y el río Cacazú considerando una defensa ribereña. Fuente: Elaboración propia.

Realizado el modelamiento hidráulico con los caudales del río Cacazú y la quebrada Puellas para un lapso de tiempo de recurrencia de 500 años, arroja de resultado un número de froude para el estribo derecho un valor de 0.29 y para el estribo izquierdo un valor de 0.12 tal como se indica en la Figura 9.



**Fig. 9.** Resultado del número de Froude de la quebrada Puellas y el río Cacazú considerando una defensa ribereña. Fuente: Elaboración propia.

Realizado el modelamiento hidráulico con los caudales del río Cacazú y la quebrada Puellas para un lapso de tiempo de recurrencia de 500 años, nos da como resultado de velocidades para el estribo derecho un valor de 1.38 metros por segundo y para el estribo izquierdo un valor de 0.08 metros por segundo, tal como se indica en la Figura 10.



**Fig. 10.** Resultado de velocidades de la quebrada Puellas y el río Cacazú considerando una defensa ribereña. Fuente: Elaboración propia.

Tal cual se aprecia en los hallazgos, la confluencia no afecta al puente, debido a que la inundación solo llega a 60 m del punto de confluencia y el puente se ubica a 90 m del punto de confluencia, sin embargo, existe un peligro de inundación del C.P. Puellas, por lo que se ha propuesto una defensa ribereña el cual permita mitigar este posible peligro de inundación.

### Socavación Potencial Total

La valoración del calado de socavación general se llevó a cabo utilizando el método de Lisschtavan, mientras que para la socavación local se aplicó el método de Artamonov. En el análisis final de la socavación total potencial en los soportes del puente, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 16. Caudales líquidos de diseño

N°	Nombre	Progresiva	Luz (m)	Lado	Defensa Ribereña	SOCAVACIÓN (m)		
						General	Local	Potencial
1	Estribo	82+638.00	75.00	Derecho	NO	0.00	0.60	0.60
2	Estribo	82+638.00	75.00	Derecho	SI	0.50	5.00	5.50
2	Estribo	82+638.00	75.00	Izquierdo	NO	0.00	4.15	4.15
2	Estribo	82+638.00	75.00	Izquierdo	SI	0.50	0.11	0.66

Fuente: Elaboración propia.

Se estimó que, en el estribo del lado derecho con un planteamiento de defensa ribereña, existe una socavación potencial de 5.50 m, asimismo, en el estribo de lado izquierdo sin planteamiento de defensa ribereña existe una socavación potencial de 4.15 m. Los resultados indican, que el factor que incide en los valores más altos es a causa de grandes tirantes, producto del caudal, y la topografía existente en la zona de estudio.

Basándose en los resultados logrados, se plantea la implementación de un enrocado en el lecho del río y la proyección de gaviones en los extremos de los estribos para disminuir los valores altos de la socavación, véase la fig. 11.

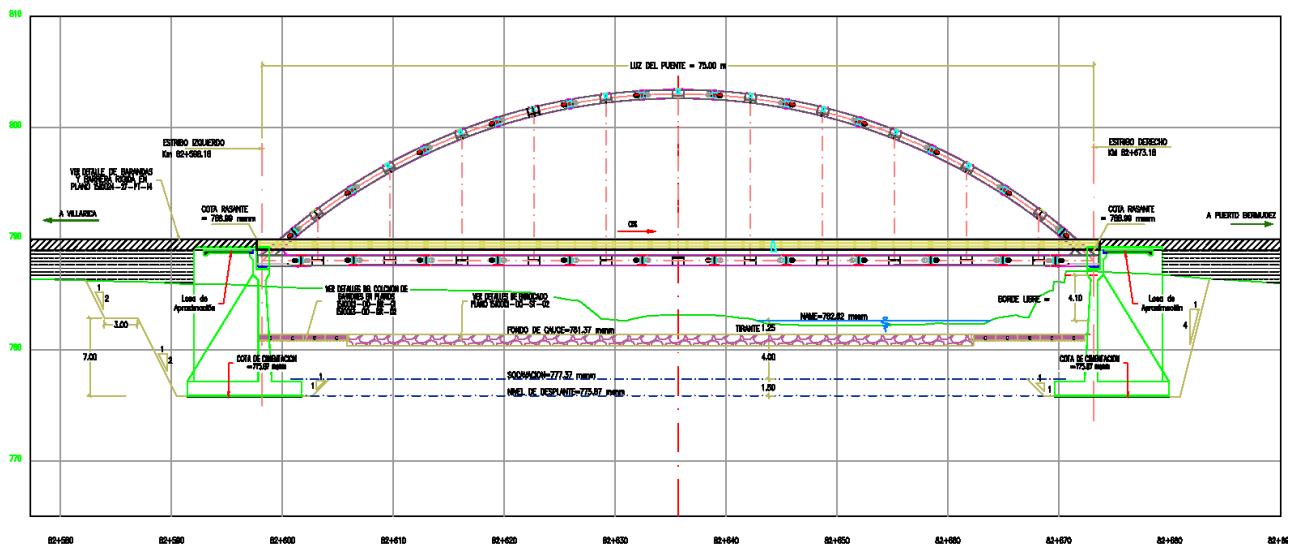


Fig. 11. Proyección del enrocado y los gaviones

## CONCLUSIONES

Se determinó el relieve topográfico, en la cual se identificó la presencia de las microcuencas del río Cacazú y la quebrada Puellas. Se llevó a cabo el levantamiento topográfico 600 metros en dirección contracorriente y 200 metros en dirección a favor de la corriente desde la posición de la estructura del puente Puellas.

Mediante el análisis de suelos, fue descubierto la existencia de gravas bien graduadas GW de forma redondeadas en una incidencia de 2.00 m de profundidad. Se obtuvo un diámetro D50 de partícula de 27.48 mm siendo usado para calcular la socavación de los estribos.

El estudio hidrológico permitió determinar el caudal de diseño representativo con lapso de tiempo de recurrencia de 500 años en el punto de interés, siendo este la Quebrada Puellas progresiva 82+638 con valor de 235.33 m<sup>3</sup>/s. Así mismo, frente a este caudal se determinó que, si existe la confluencia, esta situación amerita el análisis ingenieril hidráulico, en la cual se analizó dos situaciones. La primera, es no plantear obras

de arte y se verificó que llega un desborde de 60 m desde el punto de confluencia. La segunda, en la quebrada Puellas existe un desbordamiento discurriendo aproximadamente unos 200 m por el centro poblado de Alto Puellas y continua su recorrido hasta llegar al cauce actual, frente a este caso se realizó el modelado con la incorporación de una defensa ribereña. El modelamiento se realizó con el software Iber, dando como resultado final que el fenómeno de confluencia no afecta el puente debido a que la inundación solo llega a 60 m del punto de confluencia y el puente se ubica a 90 m del punto de confluencia, sin embargo, existe un peligro de inundación del C.P. Puellas, por lo que se ha propuesto una defensa ribereña el cual permita mitigar este posible peligro de inundación.

De lo anterior, se realizó el análisis de socavación en el puente Puellas, esto resulta la existencia de socavaciones potenciales con profundidades de 5.50 m con defensas ribereñas en el estribo lado derecho y 4.15 m sin defensas ribereñas del lado izquierdo. Estas profundidades considerables, son resultados de la existencia de altos tirantes, caudales medios y el relieve topográfico del área de investigación.

Existe la necesidad de considerar la confluencia entre dos corrientes de agua en los casos de presencia de estructuras civiles o urbanizaciones, debido a su influencia en inundaciones y socavaciones, resultando impactos negativos de gran escala en la sociedad.

Teniendo en cuenta que los puentes son estructuras que permiten conectar dos puntos de las carreteras y que al ser vulnerables estos deben de protegerse y mitigar los posibles daños por el efecto de socavación. Por lo cual se plantea que se coloque un enrocado transversal encima del lecho del río y la edificación de gaviones en la parte inferior de los estribos, la cual nos permitirá proteger y garantizar el funcionamiento de la estructura del puente.

---

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Manual de puentes,” Lima, Dec. 2018.
- [2] M. Elbio Felipe, “Socavación producida por el río Huallaga al puente Colpa alta en la provincia de Huánuco, utilizando los métodos de Artamanov, Straub y maza, en el Hec-Ras,” Máster en ingeniería civil, Universidad de Piura, Lima - Perú, 2016.
- [3] M. A. N. Esteves Diaz, “Evaluación de métodos para el cálculo de la socavación en puentes. Caso del puente sobre el río Shanusi en el distrito de Yurimaguas, provincia de alto Amazonas, 2018,” Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo - Perú, 2018.
- [4] M. E. Guevara Álvarez, *Socavación en puentes*, 1a ed. Popayán - Colombia: Universidad del Cauca, 2021.
- [5] H. A. Aguinaga Ramírez, “Estudio de la socavación en los estribos del puente Cascajal - Olmos ante máximas avenidas,” Escuela académico profesional de ingeniería civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel - Perú, 2019.
- [6] N. Almonte Pilco and S. De la Cruz Vega, “Evaluación y diseño de protección frente a las socavación hidráulica del puente Unocolla, Juliaca - Puno,” *Revista de Investigacion Científica y Tecnológica Llamkasun*, vol. 3, no. 2709–2275, pp. 1–5, Mar. 2022.
- [7] S. P. Velaverde Bernal, “Simulación del proceso de socavación del cauce del río Rímac- caso puente Morón,” Maestría en recursos hídricos, Universidad Nacional Agraria, Lima \_ Perú, 2021.
- [8] J. Pozo and A. Elosegí, “El marco físico: la cuenca,” in *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*, Fundación BBVA, Ed., Primera edición.España: Fundación BBVA, 2009, pp. 1–13.
- [9] C. A. Robles Lora and C. R. A. Urquizo Ponce, “Estudio de la inhabilidad de la confluencia quebrada Avendaño con el río Moche,” Escuela profesional de ingeniería civil, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo - Perú, 2021.
- [10] J. V. Gutiérrez García *et al.*, “Modelación hidráulica en Iber para prevención de inundaciones en la cuenca Tesechoacán,” *Centro Nacional de investigaciones disciplinarias en conservación y mejoramiento de ecosistemas forestales*, vol. 13, no. 71, pp. 1–23, May 2022.
- [11] M. S. Barrera Ochoa, “Modelación hidráulica en 2D del tramo puente Av. Felipe II - Tres puentes del río Yanuncay utilizando IBER,” Escuela de ingeniería civil y gerencia en construcciones, Universidad del Azuay, Cuenca - Ecuador, 2020.
- [12] T. del P. Mori Julca, “Modelación hidráulica del río ‘Olmos’ con el programa Iber para determinar los niveles de riesgo del tramo Miraflores KM 68 hasta bocatoma la Juliana KM 78 distrito de Olmos, 2019,” Escuela profesional de ingeniería ambiental, Universidad de Lambayeque, Chiclayo - Perú, 2020.

- [13] Borja S. Manuel, *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo - Perú, 2012.
- [14] INACAL, “NTP 339.128 Método de ensayo para el análisis granulométrico,” Lima - Perú, 2019.
- [15] Ministerio de transportes y comunicaciones, “Manual de hidrología, hidráulica y drenaje,” Lima - Perú, 2012.
- [16] M. Acreman, “Classification fo Drainage Basing According to their Phisical Caharacteristic,” *J Hydrol (Amst)*, 1986.
- [17] M. Romero Saldaña, “Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal,” *Enfermería del Trabajo*, vol. 6, no. 105–114, pp. 1–10, Sep. 2016.
- [18] M. Villón Béjar, *Hidrología*. Cartago - Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2002.
- [19] J. Francois Mas, *Análisis espacial con R: usa R como un sistema de información geográfica*. Republic of Macedonia: European Scientific Institute, 2013.
- [20] R. Pizarro Tapia et al., “Curvas intensidad - duración - frecuencia para la zona centro sur de Chile,” Talca - Chile, 2012.
- [21] Frederich Bell, “Modelo de Frederich Bell,” *Universidad Emblemática de Masachuset*, 1969.
- [22] Á. Díaz Carvajal and T. Mercado Fernández, “Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG,” *Ingeniería y desarrollo*, vol. 35, no. 2145–9371, pp. 1–20, Dec. 2017.
- [23] National Weather Servis, “National Weather Servis,” *National Weather Servis*, 2021. <https://www.weather.gov/>. (accessed Aug. 29, 2023).
- [24] D. C. Salazar, “¿Qué son las isócronas?,” *¿Qué son las isócronas?*, Sep. 15, 2020. <https://geoestrategias.com.mx/blog/2020/09/15/que-son-las-isocronas/> (accessed Aug. 29, 2023).
- [25] J. Lopez Javier, M. Gonzales, A. Scaini, M. Goñi, J. Valdenebro, and F. Gimena, “Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas,” *Obras y proyectos*, vol. 12, no. 0718–2813, pp. 1–16, 2012.
- [26] R. López Alonso, “Determinación de la relación entre calado y caudal en flujos hiperconcentrados,” *Foresta*, vol. 23, pp. 1–7, Sep. 2003.
- [27] J. J. Vélez Upegui and A. Botero Gutiérrez, “ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALE,” *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portuga*, vol. 78, no. 0012–7353, pp. 1–15, Mar. 2011.
- [28] L. Vargas Garay, O. Torres Goyeneche, and G. Carrillo Soto, “Evaluación del modelo de hidrograma unitario SCS en la determinación de caudales máximos en cuencas de Norte de Santander,” *Respuestas Journal of Engineering Sciences*, vol. 24, no. 0112-820X, pp. 1–8, Nov. 2019.