

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



**Evaluación de la socavación general y local del puente Salvador
mediante los métodos Lischtvan – Levediev y Melville y Sutherland
utilizando Iber 3.0.**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Marcos Ruben Gutierrez Rodriguez
Bach. Anthony Ruiz Chipana

Asesor:

Mg. Reymundo Jaulis Palomino

Lima, Mayo 2024

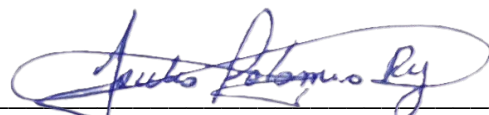
DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo Reymundo Jaulis Palomino, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Evaluación de la socavación general y local del puente Salvador mediante los métodos Lischtvan – Levediev y Melville y Sutherland utilizando Iber 3.0.”** constituye la memoria que presentan los autores: **Marcos Ruben Gutierrez Rodriguez y Anthony Ruiz Chipana** con un índice de similitud de 19% verificable en el informe del programa Turnitin, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, y que ha sido 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 9 días del mes de mayo del año 2024



Mg. Reymundo Jaulis Palomino

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **09** día(s) del mes de **agosto** del año 2024 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. Armin Quintana Sánchez** y los demás miembros: **Mg. Leonel Chahuares Paucar** y el asesor **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación de la socavación general y local del puente Salvador mediante los métodos Lischtvan – Levediev y Melville y Sutherland utilizando Iber 3.0",

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **GUTIERREZ RODRIGUEZ, MARCOS RUBEN**.....
b) **RUIZ CHIPANA, ANTHONY**.....
c)

.....conducente a la obtención del título profesional de:.....**INGENIERO CIVIL**.....

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): **GUTIERREZ RODRIGUEZ, MARCOS RUBEN**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

Candidato (b): **RUIZ CHIPANA, ANTHONY**


CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (C):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

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



Asesor
 Mg. Reymundo Jaulis
 Palomino



Candidato/a (a)
 Marcos Ruben
 Gutierrez Rodriguez

 Secretario
 Mg. Armin Quintana
 Sánchez



 Miembro

 Miembro
 Mg. Leonel
 Chahuares Paucar



Candidato/a (b)
 Anthony Ruiz Chipana

 Candidato/a (c)

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por darme la fuerza, coraje y valentía para los momentos más desafiantes en esta etapa de mi vida académica.

A mi esposa, Milca, mi compañera en cada paso de este camino y agradecerle por su motivación para alcanzar este logro.

A mis padres, Orlando y Martha, quienes me inculcaron el valor del conocimiento desde la infancia y por su apoyo incondicional.

Atte. Bach. Marcos Ruben Gutierrez Rodriguez

Agradezco a Dios por ser mi luz y mi fortaleza en este largo y desafiante camino académico.

A mi madre, le debo todo lo que soy. Su sacrificio, amor y apoyo incondicional han sido la base sobre la cual he construido mis sueños y aspiraciones. Gracias por creer en mí, por alentarme a perseguir mis metas y por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más difíciles.

A mis profesores y mentores, por su sabiduría, paciencia y dedicación en guiarme y enseñarme. Sus enseñanzas han sido fundamentales en mi formación académica y personal.

A todas las personas que, de una forma u otra, han sido parte de este viaje, mi más sincero agradecimiento. ¡Gracias, de todo corazón!"

Atte. Bach. Anthony Ruiz Chipana

Índice General

DEDICATORIA	4
RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	8
MATERIALES Y MÉTODOS	8
Área de estudio.....	8
Características geométricas e hidráulicas del puente	9
Topografía y Batimetría	10
Materiales del cauce en el rio Huallaga	11
Delimitación de la cuenca	13
Análisis de estaciones meteorológicas.....	14
Tormenta de diseño	16
Generación de curvas IDF (INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA)	17
Estimación de caudales de diseño	19
RESULTADOS	22
Estudio de hidrología	22
Coeficientes de rugosidad de Manning considerados	23
Modelo IBER (Modelo Bidimensional)	24
Socavación	26
Socavación general.....	26
Socavación local	28
CONCLUSIONES.....	29
REFERENCIAS	30

Evaluación de la socavación general y local del puente Salvador mediante los métodos Lischtvan – Levediev y Melville y Sutherland utilizando Iber 3.0.

Anthony Ruiz Chipana anthonyruiz@upeu.edu.pe
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Lima-Perú

Marcos Ruben Gutierrez Rodriguez marcosgr94@outlook.com
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Lima-Perú

Reymundo Jaulis Palomino reymundojaulis@upeu.edu.pe
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Lima-Perú

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar la influencia de la socavación general del puente y la socavación local de un pilar del puente afectado por un fluido. Para efectuar el estudio, se utilizaron imágenes satelitales AsterDem V3, de tamaño de celda de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ con un intervalo de 1 arcosegundo (30 m). Dicho DEM se corrigió de forma NADIR (ortogonal). Para los datos muestrales de precipitación se aplicó la herramienta de regresión, que nos permite comparar una estación confiable con las estaciones no confiables y poder completar los datos de precipitación máxima de 24 horas provistos por SENAMHI. Se descartaron los ceros con una data de 25 años (MTC, 2016). El caudal juega un rol muy importante para los resultados, por lo cual se usó el método del Hidrograma Sintético y, finalmente, se realizó la simulación de avenidas con período de retorno de hasta 500 años, para el cálculo de socavación.

Se elaboró el enmallado en Iber considerando que en los pilares sería de 0.50 m, en el río sería de 1.00 m y en los márgenes del río de 2.00 m, obteniendo datos de velocidad de aproximación, número de Froude y tirante.

Se aplicaron los métodos de Lischtvan-Levediev y Melville y Sutherland, obteniendo valores para la socavación general de 0.00 m y socavación local de 11.736 m en ambos pilares, respectivamente.

Palabras clave: Socavación general, Socavación local, Velocidad de aproximación, Tirante.

Evaluation of the general and local scour of the Salvador Bridge by the Lischtván - Levediev and Melville and Sutherland methods using Iber 3.0

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the influence of the general scour of the bridge and the local scour of a bridge abutment affected by a fluid. To carry out the study, AsterDem V3 satellite images of $1^\circ \times 1^\circ$ cell size with an interval of 1 arc-second (30 m) were used, this DEM will be NADIR corrected (orthogonal). For the precipitation sample data, the regression tool was applied, which allows us to compare a reliable station from unreliable stations and to be able to complete the 24-hour maximum precipitation data provided by SENAMHI, discarding zeros with a 20-year data (MTC, 2016). The flow plays a very important role for the results, which was used the Synthetic Hydrograph method and finally through the simulation of floods with return period up to 500 years for the calculation of scour.

The netting in Iber was elaborated considering that in pillars it would be 0.50, in the river it would be 1m and in the river banks 2 m, obtaining data of approach velocity, Froude number, and scour.

The Lischtván - Levediev and Melville and Sutherland methods were applied, obtaining values for the general scour of 0.00 m. and local scour of 11.736 m. in both pillars, respectively.

Keywords: General scour, Local scour, Approach velocity, Tie rod

INTRODUCCIÓN

La socavación es un proceso natural causado por la erosión del agua en los cauces de ríos y canales. La socavación local implica la eliminación de sedimentos alrededor de elementos estructurales en el flujo del agua, lo que resulta en la disminución del nivel del lecho del río debido a la acción erosiva. Con el tiempo, esta erosión puede exponer las bases de los puentes. A medida que la socavación progresa, puede debilitar los cimientos de la estructura, lo que eventualmente puede llevar a su colapso. (Khwairakpam & Mazumdar, 2009)

Generalmente, la socavación es un proceso de larga duración, por lo que se producen fallos catastróficos en el puente. Según la estadística mundial, alrededor del 80 % de los fallos de los puentes se deben a la socavación (Ju, 2013). Por lo tanto, la estimación de la socavación alrededor de un pilar de puente es una práctica importante en la ingeniería.

Los tres mecanismos principales de la socavación local son: el aumento de las velocidades medias del flujo y de los gradientes de presión en las proximidades de la estructura, la creación de flujos secundarios en forma de vórtices y el aumento de la turbulencia en el campo de flujo local (Mehaladevi & Venkatesh, 2020). La socavación local se divide en dos regímenes de socavación diferentes que dependen de las condiciones del flujo y de los sedimentos aguas arriba de la estructura. La socavación en aguas claras se refiere a la socavación local que tiene lugar en condiciones en las que el sedimento no está en movimiento en un lecho plano, aguas arriba de la estructura. Si el sedimento aguas arriba de la estructura está en movimiento, la socavación local se denomina socavación de lecho vivo (Martín-Vide et al., 2019).

Varias investigaciones han optado por estudios experimentales y estudios numéricos para comprender el mecanismo de la socavación, patrones y métodos para medir la profundidad de la socavación, considerando diferentes parámetros. La mayoría de los estudios se centran en la socavación local alrededor de un muelle o de grupos de muelles (Malik et al., 2021). También se dispone de algunas investigaciones que estudian el mecanismo de socavación y la profundidad alrededor del puente, muelle y estribos (Malik et al., 2021). Los datos necesarios para las investigaciones numéricas suelen obtenerse de estudios experimentales y de campo. Varios investigadores han utilizado diferentes herramientas de modelado como HEC-RAS, IBER, SSIIM y RANS (Bressan et al., 2011) para simular el patrón de socavación y calcular la profundidad de socavación. La estimación precisa de la profundidad de la socavación y la simulación del proceso de socavación son muy difíciles en un modelo a escala de laboratorio debido a la complejidad del fenómeno de la socavación y del campo de flujo (Perez et al., 2020).

En el presente estudio, se utilizó la herramienta computacional IBER para predecir la profundidad de socavación general y local del puente Salvador mediante los métodos Lischtván – Levediev y Melville y Sutherland utilizando Iber 3.0.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para calcular la socavación general y local del puente Salvador mediante los métodos Lischtván – Levediev y Melville y Sutherland, se utilizaron distintos materiales como imágenes satelitales, registros pluviométricos y la metodología para el análisis estadístico que se describe en el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC, manuales MODIPE, suelos FAO e imágenes NDVI.

Área de estudio

La cuenca de la zona de estudio sobre el río Huallaga se ubica en la parte central de Perú, entre los departamentos de Pasco y Huánuco (ver figura 1), la cual abarca dos regiones

geográficas, con alturas que van desde los 551.27 m.s.n.m. hasta los 5686 m.s.n.m. en la zona de la cordillera de los Andes. Cuenta con una superficie de 14,467.427 km². Se ubica en las coordenadas 8° 55' 14.102" S y 76° 7' 18.815" O. La precipitación promedio aerea es de 94.54 mm, con climas que van desde fríos en las zonas altas hasta tropicales en la mayor parte de la cuenca.

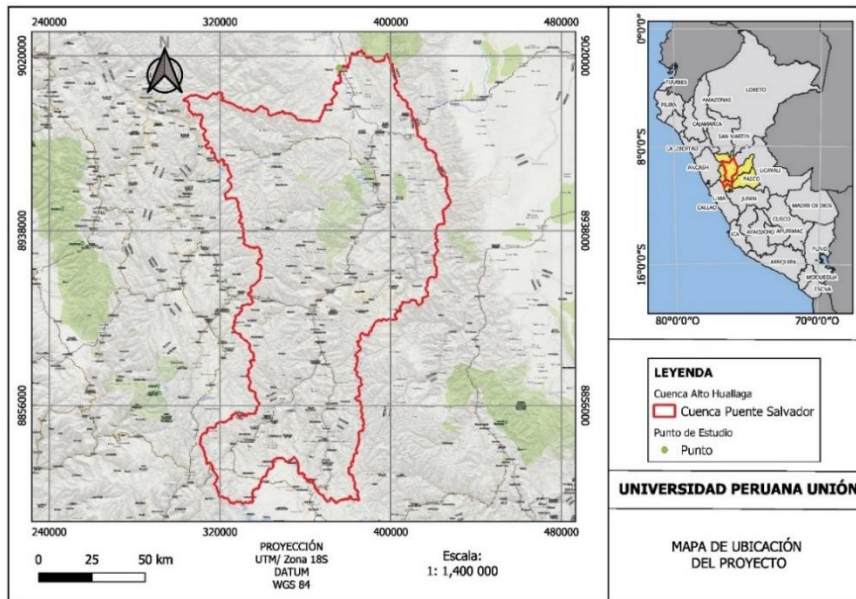


Figura 1: Plano de ubicación cuenca de estudio, región Pasco y Huánuco
Fuente: Elaboración propia.

Características geométricas e hidráulicas del puente

Consiste en un puente continuo de 3 tramos, con una viga cajón de concreto postensado apoyada sobre 2 pilares intermedios de concreto armado y sobre estribos en ambos márgenes del río.

El puente tiene una longitud total de 300 m (una luz central de 160 m y tramos laterales de 70 m). El ancho del tablero es de 12.60 m y está distribuido en: calzada de 6.60 m, berma de 1.20 m, barrera tipo New Jersey de 0.40 m, ancho de vereda de 1.20 m y baranda de 0.20 m en cada vía.

Los estribos izquierdo y derecho son de concreto armado tipo cajón, y los pilares centrales también son de concreto armado, conformados por 2 columnas paralelas de 1.40 m de ancho con una separación de 1.60 m.

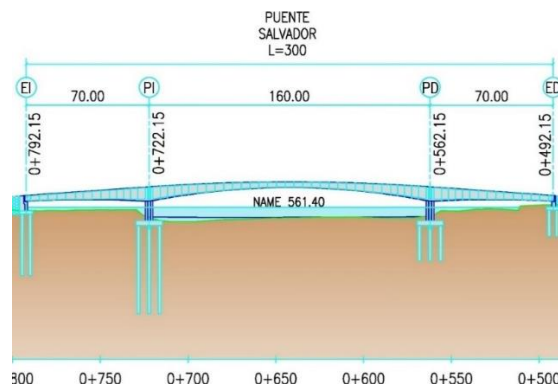


Figura 2: Características geométricas del puente Salvador
Fuente: Consorcio HYC/MAB.

Materiales del cauce en el río Huallaga

Estribo Izquierdo.

Profundidad		Descripción Petrográfica
Desde(m)	Hasta(m)	
0.00	0.50	Limos de baja compresibilidad, de color marrón grisáceo a gris, húmedos, ligeramente compactos, altamente plásticos, con algo de arena de grano medio a fino, que contienen raíces y fragmentos de materia orgánica. No se observan pátinas de oxidación. Clasificación: ML
0.50	1.00	Limo algo arenoso, de color marrón grisáceo a gris, húmedo, ligeramente compacto, moderadamente plástico, con arena de grano medio y algunas gravas. No se observan pátinas de oxidación. Clasificación: ML
1.00	1.50	Arcilla limosa, de color marrón grisáceo a gris, húmeda, ligeramente compacta, plástica, con arena de grano medio y algunas gravas. No se observan pátinas de oxidación. Clasificación: ML-CL
1.50	2.20	Limos de baja compresibilidad, de color marrón grisáceo a gris, húmedos, ligeramente compactos, altamente plásticos, con algo de arena de grano medio a fino. No se observan pátinas de oxidación. Clasificación: ML
2.20	25.00	Grava: Arena limosa de color beige claro a gris verdoso, de grano fino, en estado seco a ligeramente húmedo, medianamente compacta a compacta, ligeramente plástica, con un diámetro máximo de 5.0 cm. Presenta fragmentos de cuarcitas y andesitas porfíricas. Clasificación: GP.

Tabla 1: Descripción geológica de la zona.

Fuente: Consorcio HYC/MAB

Pilar Izquierdo.

Profundidad		Descripción Petrográfica
Desde(m)	Hasta(m)	
0.00	0.60	Grava, arena limosa de color beige claro a gris verdoso, de grano fino, en estado seco a ligeramente húmedo, medianamente compacta a compacta, ligeramente plástica, con un diámetro máximo de 9.0 cm. Presenta fragmentos de cuarcitas y andesitas porfíricas. Clasificación: GP
0.60	3.00	Grava, arena limosa de color beige claro a gris verdoso, de grano fino, en estado seco a ligeramente húmedo, medianamente compacta a compacta, ligeramente plástica, con un diámetro máximo de 8.0 cm. Presenta fragmentos de cuarcitas y andesitas porfíricas. Clasificación: GP
3.00	28.00	Grava, arena limosa de color beige claro a gris verdoso, de grano fino, en estado seco a ligeramente húmedo, medianamente compacta a muy compacta, ligeramente plástica, con un diámetro máximo que oscila entre 2.00 y 10 cm. Presenta fragmentos de cuarcitas, andesitas, riolitas y andesitas porfíricas. Clasificación: GP

Tabla 2: Descripción geológica de la zona.

Fuente: Consorcio HYC/MAB

Pilar Derecho.

Profundidad		Descripción Petrográfica
Desde(m)	Hasta(m)	
0.00	3.50	Grava, arena limosa de color beige claro a gris verdoso, de grano fino, en estado seco a ligeramente húmedo, medianamente compacta a compacta, ligeramente plástica, con un diámetro máximo que oscila entre 6.50 y 10.00 cm. Presenta fragmentos de cuarcitas y andesitas porfíricas. Clasificación Visual Manual: GP
3.50	27.00	Estratos decimétricos a centimétricos de limolitas de color pardo rojizo a bruno claro a gris bruno, de grano fino, en estado seco a ligeramente húmedo, medianamente compactos a muy compactos, ligeramente plásticos, con un tamaño máximo que oscila entre 5.00 y 94.00 cm. RQD: < 25 - muy mala, 30 – mala, 87 – muy buena, 94 - excelente Clasificación: Limo arenitas lutaceas

Tabla 3: Descripción geológica de la zona.

Fuente: Consorcio HYC/MAB

Estribo Derecho.

Profundidad		Descripción Petrográfica
Desde(m)	Hasta(m)	
0.00	1.20	Arena limosa de color beige claro a gris amarillento, de grano fino, en estado seco a ligeramente húmedo, medianamente compacta a compacta, moderadamente plástica, con un diámetro máximo que alcanza la fracción arcilla. Presenta fragmentos de raíces y algunas ramas. Clasificación: SM - SC
1.20	2.00	Arena arcillosa de color beige claro a gris verdoso, de grano fino, en estado seco a ligeramente húmedo, medianamente compacta a compacta, ligeramente plástica, con un diámetro máximo que alcanza la fracción arcilla. No se observa la presencia de fragmentos de materia orgánica. Clasificación: CL-ML
2.00	3.00	Arcilla limosa de color beige claro a gris verdoso, de grano fino, en estado húmedo, medianamente compacta a compacta, plástica, con un diámetro máximo que alcanza la fracción arcilla. Presenta algunos fragmentos de gravas. Clasificación: CL-ML
3.00	4.00	Arena limosa con arcilla de color beige claro a gris claro, de grano fino, en estado húmedo, medianamente compacta a compacta, ligeramente plástica, con un diámetro máximo que alcanza la fracción arena. Clasificación: Areniscas limosas
2.20	16.20	Estratos decimétricos a centimétricos de areniscas de color gris claro a beige, de grano fino, en estado seco a ligeramente húmedo, medianamente compactos a muy compactos, ligeramente plásticos, con un tamaño máximo que oscila entre los 8.50 y 90.00 cm. RQD: 26 - mala, 51 – regular, 83 - <muy buena Clasificación: Areniscas.

Tabla 4: Descripción geológica de la zona.

Fuente: Consorcio HYC/MAB

En el siguiente cuadro se muestran los resultados del análisis granulométrico del material del cauce principal y de la llanura de inundación, a la altura del estribo izquierdo.

Zona	D ₉₅	D ₇₅	D ₅₀	D ₃₅	D ₁₅
Cauce Principal (mm)	64.6	38.0	15.8	8.0	0.5
Llanura (mm)	39.5	32.0	24.5	21.2	1.3
Diámetro medio en el cauce principal				D _{medio}	17.08 mm
Diámetro medio en la llanura a la altura del estribo izquierdo				D _{medio}	22.1 mm

Tabla 5: Análisis granulométrico del material del cauce.

Fuente: Consorcio HYC/MAB.

Delimitación de la cuenca

Se procesaron las imágenes satelitales ASTER DEM utilizando ArcGIS 10.4 para determinar los límites de la cuenca. En la delimitación, solo se consideró el cauce principal del río Huallaga y se descartaron los ríos tributarios con el fin de obtener el caudal del tributario principal. (ver figura 4) A partir del procesamiento de las imágenes satelitales, se obtuvieron los siguientes datos:

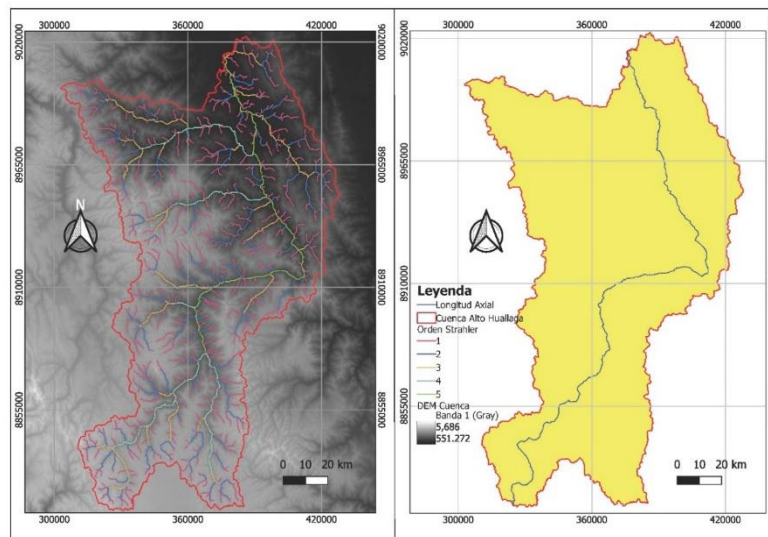


Figura 4: Izquierda Modelo de elevación digital (DEM) con todos los aportantes. Esc. 1:1,200 000. Derecha Cuenca sobre el río Huallaga, Pasco y Huánuco. Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros obtenidos de la cuenca se son:

Parámetros Geomorfológico	Simbología	Unidad	Cuencas SIG
Área	a	km ²	14467.427
Perímetro	P	km	1215.78
Longitud Axial	L _a	km	351.207
Ancho Promedio	A _p	km	41.193
Coficiente de Compacidad	C _c	-	2.850
Factor de forma	F _F	-	0.117
Densidad de drenaje	D _d	km/km ²	0.272
Pendiente media de la Cuenca	S _c	m/m	0.455
Pendiente media longitud axial	S	%	1.508
Cota Máxima	Z _{máx}	m.s.n.m.	5065
Cota Mínima	Z _{mín}	m.s.n.m.	551.272
Centroide (WGS84 UTM Zona 18S)			
X centroide	-	m	367211.273
Y centroide	-	m	8921226.539

Tabla 6: Parámetros Geomorfológicos de la cuenca Alto Huallaga obtenidas del ArcGIS 10.4. Fuente: Elaboración propia.

Entre los parámetros observamos pendientes pronunciadas, lo que indica un relieve accidentado; por lo tanto, el tiempo de concentración es menor. Para definir el tiempo de concentración, se revisó la bibliografía de los autores mencionados en el Manual de Hidrología e Hidráulica del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2016). Sin embargo,

ninguna de las metodologías propuestas cumplía con los parámetros obtenidos, ya que el área de la cuenca es muy grande. Por ello, se optó por la metodología de Giandiotti, ya que esta se ajusta mejor a los datos obtenidos en la cuenca.

En la curva hipsométrica (ver figura 5), se observan cotas muy elevadas, superiores a 5500 m.s.n.m., con una pendiente del 45,50%. La curva muestra una tendencia a mantener pendientes de valores altos.

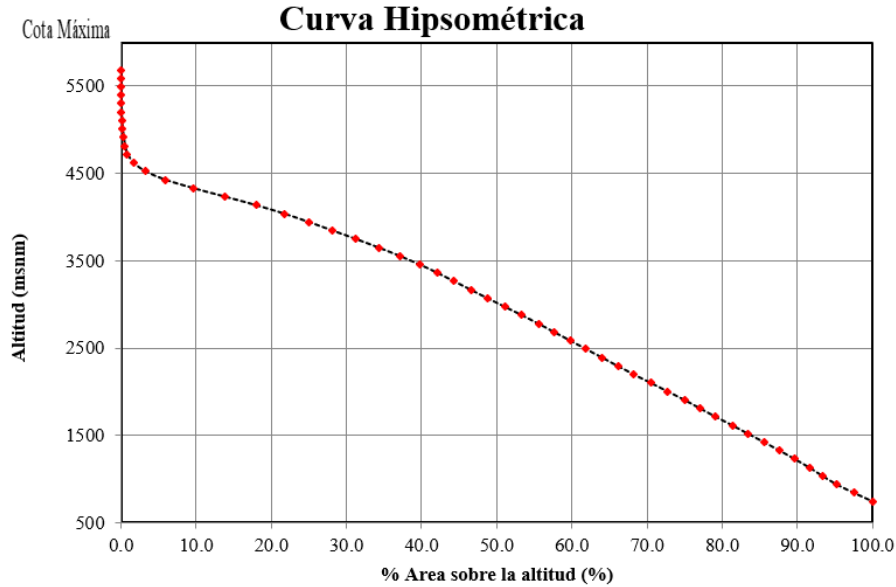


Figura 5: Curva hipsométrica de la cuenca Alto Huallaga la cual demuestra que es un río viejo.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de estaciones meteorológicas

Se analizaron 13 estaciones pluviométricas: Aucayacu, Canchan, Carpish, Chaglla, Huánuco, Jacas Chico, Oxapampa, Pomabamba, San Rafael, Sihuas, Tingo María, Tulumayo y Yanahuanca. En la figura 6 se representan las estaciones mencionadas. Los datos se obtuvieron de la página web del ANA (SENAMHI), donde se seleccionaron datos de precipitaciones máximas de 24 horas. A partir de esto, se obtuvo el registro de precipitaciones máximas medidos en las estaciones del área de estudio, que se presenta en la tabla 7.

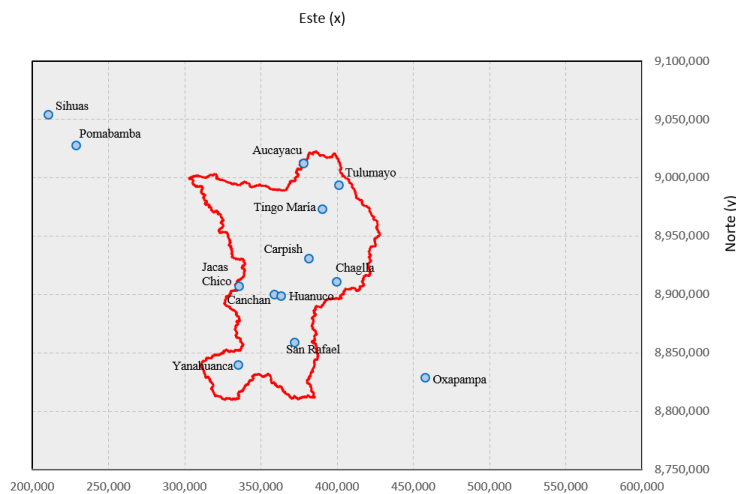


Figura 6: Ubicación de las estaciones meteorológicas de la cuenca Alto Huallaga
Fuente: Elaboración propia.

Año	Aucayacu	Canchan	Carpish	Chaglla	Huánuco	Jacas Chico	La Divisoria	Oxapampa	Pomabamba	San Rafael	Sihuas	Tingo María	Tulumayo	Yanahuasca
1964								40.0			23.7			
1965					19.5			45.5			27.6			
1966					25.2			47.0			29.4	65.0		
1967					40.0						27.3	70.5		
1968					20.4					15.0	21.9	90.4	94.7	
1969					27.4					22.0	30.4	132.5	78.9	
1970					20.0			43.2		14.4	49.1	124.1	84.0	
1971					15.1			93.0		26.5		141.0	112.8	
1972					16.5			43.2			28.1	102.2	112.0	
1973					26.1					34.5	31.0	121.1	154.5	
1974					25.6			31.6			24.0	84.7	99.8	
1975	86.8				29.2	33.7		23.2		35.0	20.8	86.4	65.1	
1976	60.4					26.4		26.6			20.8	128.0	71.7	
1977	37.2				31.4			51.7			30.1	125.7	95.0	
1978	16.0				16.8	23.3		52.5		25.3	24.3	61.8	92.0	
1979						49.0				40.0	27.0	75.3	57.3	40.4
1980						22.4					26.6	81.4	88.0	37.4
1981						30.0						134.0	133.5	38.1
1982					42.9	19.7					24.1	99.7	116.7	19.6
1983						25.5					23.4	109.0	86.0	
1984						22.6					26.0	80.0	74.7	
1985						19.2					43.7	100.0	95.5	
1986	102.0				18.5	21.5							97.1	
1987					18.6							85.7	78.5	
1988					20.1	25.0						89.0		25.8
1989					27.4	21.3						94.4		16.7
1990		18.1			21.3	22.4			17.0			86.3		
1991	83.5	17.5			28.8	26.1			14.9			98.4		
1992	77.0				38.4	22.4			13.0		30.8	98.3		20.4
1993	75.3	27.3			18.0	28.0					32.4	104.0		
1994	131.4			25.5	24.0	26.0				38.5	52.5	149.2		2.6
1995	103.4	16.7	81.0	28.1	18.9		55.0		21.7	36.8	35.3	98.4		2.1
1996	136.5	17.7	52.7	20.4	17.1		26.0	55.0	22.4	22.8	26.9	78.0	102.9	21.0
1997	96.7	22.7	64.0	17.7	11.4	28.8	50.2	76.0	34.2		38.3	99.8	136.0	22.0
1998	95.0	24.8	57.2	20.4	27.5	41.5	49.2	60.0	25.6		46.9	156.0	113.3	37.7
1999	76.4	25.1	55.9	33.6	33.0	43.2	80.5		33.0	21.6	68.3	116.5	113.8	32.0
2000	102.0	28.1	56.2	41.5	20.3	36.4	92.6	63.0	34.8	25.1	25.2	88.5	96.6	19.2
2001	84.0	60.5	60.3	28.7	48.7	30.1	61.3	42.0		41.8	25.8	95.9	90.7	28.3
2002	87.0	29.6	81.0	24.6	27.2	24.2	82.0	40.0		29.9	25.0	123.1	103.5	18.2
2003	104.0	29.0	60.1	48.0	23.0	27.5	98.0	53.0	37.0			149.7	126.0	54.8
2004	93.2	33.2	48.9	45.0	17.6	29.8	85.0	62.0	32.5	29.6	34.4	80.0	102.4	23.4
2005	102.0	33.0	55.0	35.5	25.5	40.0	77.2	37.0			31.8	97.5	142.0	30.7
2006	96.0	31.6	54.2	41.5	28.0	42.7	128.0	41.0	28.3	28.8	27.7	108.0	118.6	22.5
2007	73.6	37.1	54.2	38.8	27.3	32.1	88.0		39.5	31.9	34.3	70.5	76.8	35.3
2008	95.0	29.6	77.3	32.8	33.1	39.0	88.0	38.0	35.1		23.6	95.8	68.3	23.3
2009	72.5	27.0	88.4	28.6	19.6	47.3	80.6	58.0	28.8	25.5	31.0	78.2	97.6	31.5
2010	74.5	28.6	45.4	49.2	22.6	36.9	114.3	46.0	32.0	25.1	23.3	69.9	108.5	31.3
2011	123.0	24.4	69.5	24.4	36.2	30.1	79.1	52.0	25.5	21.8	21.7	105.0	89.0	28.0
2012	87.2	23.7	67.7	40.8	30.7	40.8	85.8	60.0	36.0	33.5	34.6	103.7	80.0	33.0
2013	96.9	21.7	76.4	27.4	19.9	41.7	125.0	62.0	23.9		26.9	121.0	118.3	19.2
2014	73.8	27.4	61.7	35.0	24.8	38.3	100.0	56.1	36.6	25.7	32.6	148.0	95.0	19.2
2015	89.6	24.5	71.7	40.6	31.7	43.4	94.0		37.6	16.4	43.8	122.5	104.2	
2016	110.4		97.6		18.0		103.0	63.5	53.6		28.8	89.3		
2017	109.2	41.8	47.1	28.6	38.2	38.2	94.2	47.0	26.5	28.6	34.1	103.5	77.8	30.0
2018	91.5	20.8	66.2	28.6	22.9	26.7	122.8	56.5	30.8	32.7	31.4	143.2	81.4	
2019	94.0	19.3	54.0		23.7	29.0	99.3	50.1	44.8	29.3	39.8	72.1	70.1	25.7
2020	104.2	19.6	47.6	27.4	15.3	28.7			42.3				92.3	14.8
2021	89.2		47.4	39.0	32.9	32.3		43.0	34.0		25.0		72.9	22.3
2022	116.8	24.5	75.0	29.0	24.0	34.8		65.0	43.3	30.6	26.2	96.0	74.5	19.1
2023			64.7											
N° datos	37.0	29.0	29.0	27.0	51.0	43.0	25.0	34.0	28.0	28.0	49.0	54.0	46.0	33.0

Tabla 7: Precipitaciones máximas en 24 horas por año
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se ejecutó el software Hidroesta para calcular las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno, como se muestra en la tabla 8. Para cada distribución, se realizaron las pruebas de bondad de Smirnov-Kolmogorov y se determinaron los siguientes ajustes:

Estación	Distribución	T _{R2}	T _{R5}	T _{R10}	T _{R20}	T _{R25}	T _{R50}	T _{R100}	T _{R140}	T _{R200}	T _{R500}
Aucayacu	Gamma 2 Parámetros	94.27	107.85	115.43	121.96	123.90	129.57	134.82	137.23	139.71	145.74
Canchan	LogNormal 2 Parámetros	25.97	32.90	37.24	41.24	42.49	46.26	49.95	51.71	53.57	58.32
Carpish	LogNormal 3 Parámetros	68.31	82.33	92.26	102.20	105.43	115.64	126.20	131.45	137.14	152.28
Chaglla	LogNormal 3 Parámetros	35.47	44.49	50.19	55.51	57.16	62.21	67.14	69.52	72.04	78.47
Huánuco	Gamma 3 Parámetros	27.35	35.38	40.34	44.85	46.23	50.38	54.32	56.18	58.12	62.92
Jacas Chico	LogNormal 2 Parámetros	34.32	42.53	47.60	52.22	53.65	57.97	62.14	64.14	66.23	71.54
Oxapampa	LogNormal 3 Parámetros	56.04	69.55	77.41	84.34	86.45	92.66	98.54	101.28	104.14	111.26
Pomabamba	Normal	35.71	44.51	49.12	52.93	54.04	57.21	60.07	61.36	62.68	65.85
San Rafael	Normal	31.83	38.59	42.13	45.04	45.90	48.33	50.52	51.52	52.52	54.95
Sihuas	LogNormal 3 Parámetros	32.01	40.74	47.93	55.87	58.60	67.71	77.80	83.08	88.96	105.50
Tingo María	LogNormal 2 Parámetros	112.67	136.92	151.61	164.93	169.04	181.33	193.15	198.76	204.63	219.48
Tulumayo	Gamma 3 Parámetros	106.63	128.35	141.15	152.49	155.94	166.12	175.72	180.19	184.81	196.22
Yanahuanca	Gamma 3 Parámetros	28.85	38.00	43.91	49.41	51.12	56.29	61.28	63.64	66.12	72.32

Tabla 8: Registro de precipitaciones máximas de 24h para diferentes periodos de retorno.

Fuente: Elaboración propia.

Tormenta de diseño

A partir de las precipitaciones máximas de 24 horas, se dedujeron las precipitaciones máximas de diseño para duraciones menores a 24 horas y diferentes tiempos de retorno, utilizando el método de Dick y Peschke. (ver tabla 9 y figura 7).

Alto Huallaga											
Duración		Período de retorno (años)									
h	Min.	2	5	10	20	25	50	100	140	200	500
1.00	60.00	24.24	29.63	32.93	34.99	35.90	38.66	41.28	42.53	45.01	45.94
2.00	120.00	14.41	17.62	19.58	20.81	21.34	22.99	24.55	25.29	26.77	27.31
3.00	180.00	10.63	13.00	14.45	15.35	15.75	16.96	18.11	18.66	19.75	20.15
4.00	240.00	8.57	10.47	11.64	12.37	12.69	13.67	14.60	15.04	15.91	16.24
5.00	300.00	7.25	8.86	9.85	10.47	10.74	11.56	12.35	12.72	13.46	13.74
6.00	360.00	6.32	7.73	8.59	9.13	9.36	10.08	10.77	11.09	11.74	11.98
7.00	420.00	5.63	6.88	7.65	8.13	8.34	8.98	9.59	9.88	10.46	10.67
8.00	480.00	5.10	6.23	6.92	7.36	7.55	8.13	8.68	8.94	9.46	9.66
9.00	540.00	4.66	5.70	6.34	6.73	6.91	7.44	7.95	8.18	8.66	8.84

Alto Huallaga											
Duración		Período de retorno (años)									
h	Min.	2	5	10	20	25	50	100	140	200	500
10.00	600.00	4.31	5.27	5.86	6.22	6.38	6.87	7.34	7.56	8.00	8.17
11.00	660.00	4.01	4.90	5.45	5.79	5.94	6.40	6.83	7.04	7.45	7.61
12.00	720.00	3.76	4.60	5.11	5.43	5.57	6.00	6.40	6.60	6.98	7.12
13.00	780.00	3.54	4.33	4.81	5.11	5.24	5.65	6.03	6.21	6.57	6.71
14.00	840.00	3.35	4.09	4.55	4.83	4.96	5.34	5.70	5.88	6.22	6.35
15.00	900.00	3.18	3.89	4.32	4.59	4.71	5.07	5.42	5.58	5.91	6.03
16.00	960.00	3.03	3.70	4.12	4.37	4.49	4.83	5.16	5.32	5.63	5.74
17.00	1020.00	2.89	3.54	3.93	4.18	4.29	4.62	4.93	5.08	5.38	5.49
18.00	1080.00	2.77	3.39	3.77	4.00	4.11	4.42	4.72	4.87	5.15	5.26
19.00	1140.00	2.66	3.26	3.62	3.85	3.94	4.25	4.54	4.67	4.95	5.05
20.00	1200.00	2.56	3.13	3.48	3.70	3.80	4.09	4.37	4.50	4.76	4.86
21.00	1260.00	2.47	3.02	3.36	3.57	3.66	3.94	4.21	4.34	4.59	4.68
22.00	1320.00	2.39	2.92	3.24	3.44	3.53	3.81	4.06	4.19	4.43	4.52
23.00	1380.00	2.31	2.82	3.14	3.33	3.42	3.68	3.93	4.05	4.29	4.37
24.00	1440.00	2.24	2.73	3.04	3.23	3.31	3.57	3.81	3.92	4.15	4.24

Tabla 9: Intensidades (mm/h) para duraciones menores de 24 horas en diferentes periodos de retorno.
Fuente: Elaboración propia.

Generación de curvas IDF (INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA)

Las curvas Intensidad Duración Frecuencia (ver figura 7), se han calculado indirectamente siguiendo la relación:

$$I = \frac{K * T^a}{D^b}$$

Donde:

I_{max} = intensidad máxima en mm/h

T= periodo de retorno en años

D= duración en minutos

K,a,b= parámetros de la ecuación

Para determinar los parámetros de la ecuación se realizó una regresión múltiple a las intensidades calculadas para diferentes duraciones y periodos de retorno con lo cual se obtuvieron los siguientes valores:

$$K= 2.7201 \quad a=0.1129 \quad b=-0.75$$

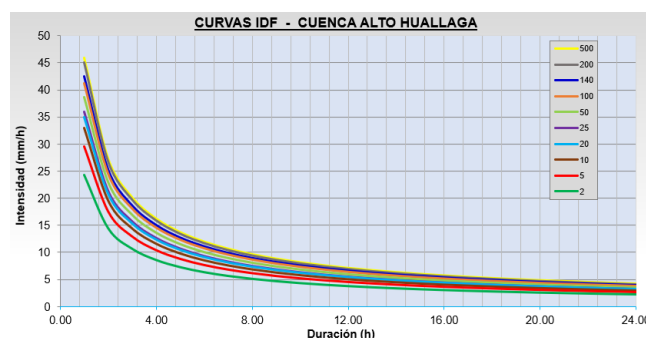


Figura 7: Curvas IDF para diferentes periodos de retorno
Fuente: Elaboración propia

Se generaron los respectivos hietogramas utilizando el método del bloque alterno (ver tabla 10 y figura 8) para precipitaciones con un intervalo de 1 hora y una duración de 24 horas. Como datos, se utilizaron únicamente los años 100, 140 y 500. De acuerdo con el Manual de Hidrología e Hidráulica del MTC, solo se requiere el caudal máximo generado en el tiempo de retorno de 500 años para el cálculo de la socavación en pilas.

Método Del Bloque Alterno					
Duración	Intensidad	Profundidad Acumulada	Profundidad Incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
60	43.863	43.863	43.863	0-60	1.062
120	26.081	52.162	8.299	60-120	1.138
180	19.242	57.727	5.565	120-180	1.229
240	15.508	62.031	4.305	180-240	1.340
300	13.118	65.590	3.559	240-300	1.476
360	11.441	68.649	3.059	300-360	1.650
420	10.192	71.346	2.697	360-420	1.881
480	9.221	73.768	2.422	420-480	2.204
540	8.441	75.973	2.204	480-540	2.697
600	7.800	78.000	2.028	540-600	3.559
660	7.262	79.881	1.881	600-660	5.565
720	6.803	81.638	1.757	660-720	43.863
780	6.407	83.288	1.650	720-780	8.299
840	6.060	84.845	1.557	780-840	4.305
900	5.755	86.321	1.476	840-900	3.059
960	5.483	87.726	1.404	900-960	2.422
1020	5.239	89.065	1.340	960-1020	2.028
1080	5.019	90.347	1.282	1020-1080	1.757
1140	4.820	91.577	1.229	1080-1140	1.557
1200	4.638	92.758	1.182	1140-1200	1.404
1260	4.471	93.897	1.138	1200-1260	1.282
1320	4.318	94.995	1.098	1260-1320	1.182
1380	4.176	96.057	1.062	1320-1380	1.098
1440	4.045	97.084	1.027	1380-1440	1.027

Curva Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)

$$I = \frac{10^{2.7326} T^{0.0901}}{t^{0.75}}$$

- I: Intensidad máxima (mm/h)
- T: Período de retorno en años = 500
- t: Duración de la precipitación (min)

Tabla 10: Método de bloque alterno para un T_{R500} .
Fuente: Elaboración propia.

HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO PARA T_{R500} AÑOS

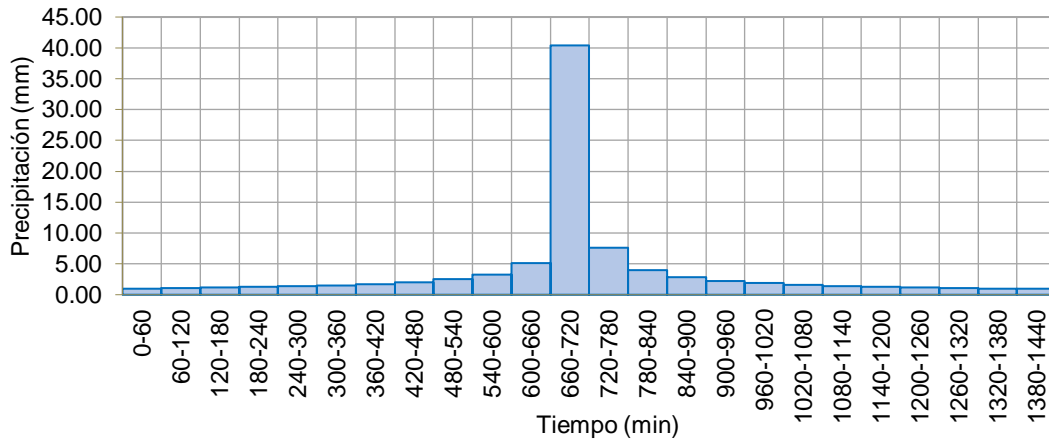


Figura 8: Hietograma de precipitaciones para T_{R500}
Fuente: Elaboración propia.

Estimación de caudales de diseño

Se utilizó el software HEC-HMS y se empleó el método SCS para obtener la lluvia neta, la cual depende de la cobertura vegetal, el tipo de suelo y el número de curva (CN). El CN está relacionado con la cobertura vegetal presente en la cuenca.

Para determinar el CN, se utilizaron imágenes satelitales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la clasificación del suelo de la Organización de Alimentos y Agricultura (FAO) (ver figura 9). Se empleó la tabla del modelo MODIPE (Martínez et al., 2003) debido a que considera un amplio grupo de bosques, lo cual es relevante en nuestro caso, ya que hay bosques protegidos dentro de la cuenca.

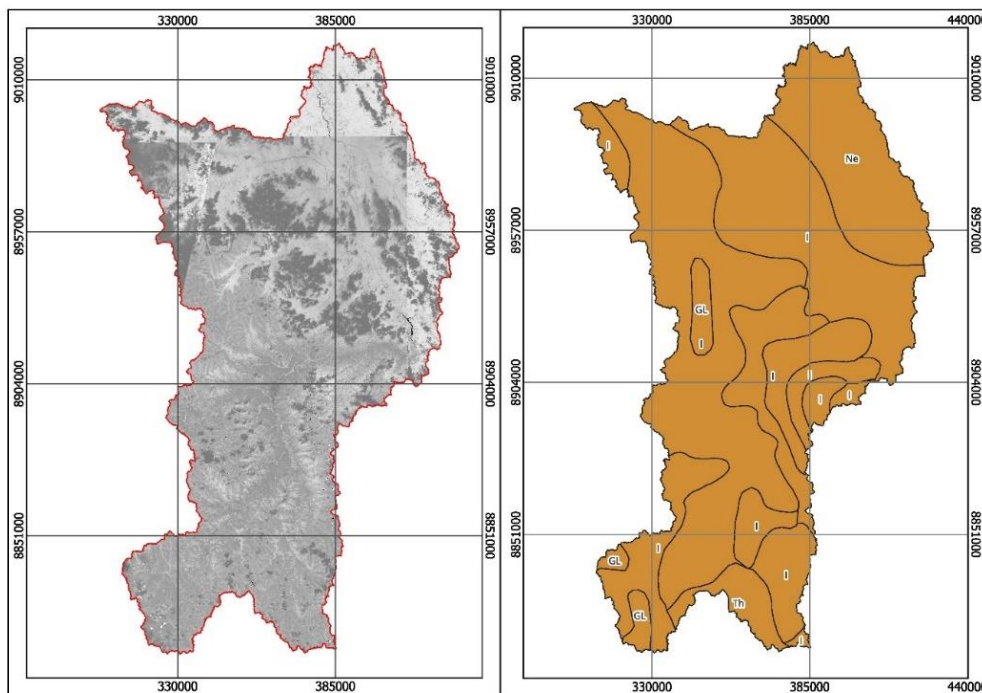


Figura 9: Izquierda NDVI de la zona de estudio, Derecha Clasificación de suelos FAO
Fuente: Landsat y FAO Soils Portal.

Tipo de cobertura vegetal	NDVI (Escala de -1 a 1)		Reclasificado	Área (km ²)
	Min.	Máx.		
Vegetación densa	0.5	1	1	4344.703
Vegetación media	0.14	0.5	2	7587.77
Vegetación pobre (Escasa)	0.09	0.14	3	418.853
Suelo desnudo	0.025	0.09	4	776.685
Nubosidad	-1	0.025	5	1331.37
Hielo y Nieve				
Agua				

Tabla 11: Clasificación de la cobertura vegetal en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

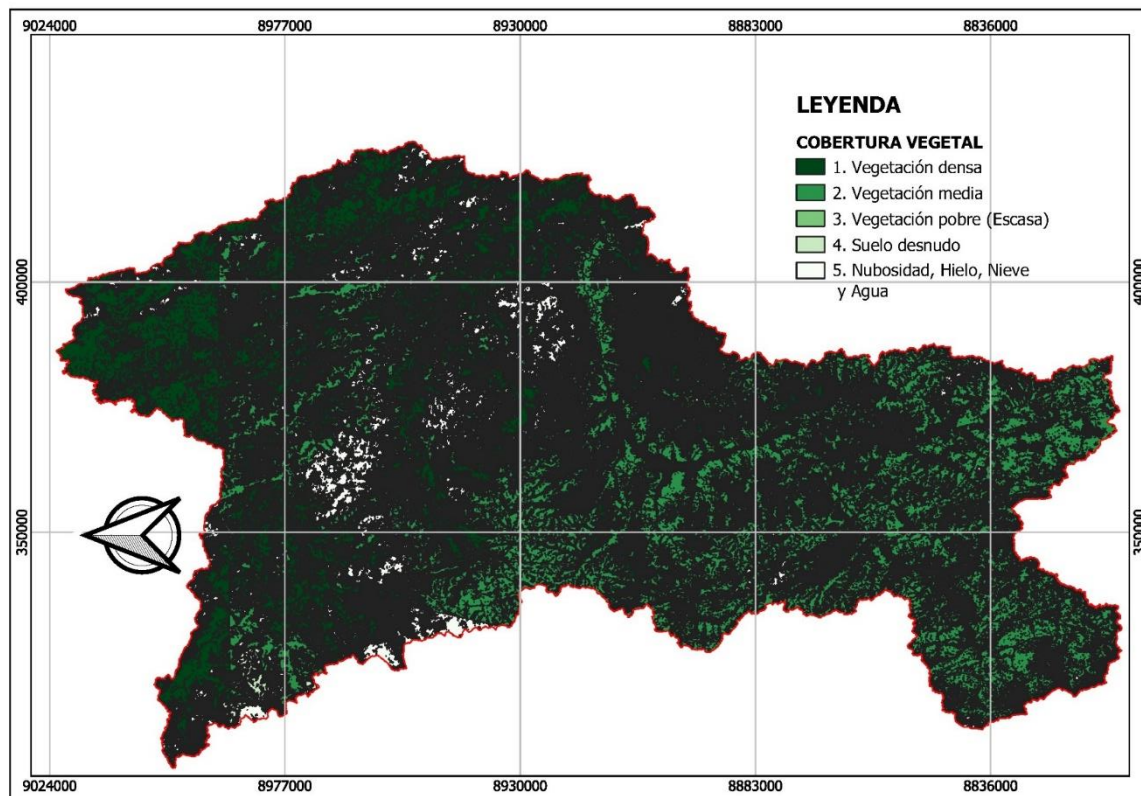


Figura 10: Cobertura vegetal de la cuenca obtenida por NDVI

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11 y la figura 10 se presenta la clasificación de la cobertura vegetal y su área de influencia correspondiente. A partir de esta información, se calcula el número de curva (CN) que se utilizará, como se muestra en la tabla 12.

Tipo Vegetación	Grupo Hidrológico	Área (km ²)	CN	CN*Área	CN
Vegetación densa	C	4344.70	54	234613.91	70.86
Vegetación media	C	7587.77	73	553907.28	
Vegetación pobre (Escasa)	C	418.85	77	32251.76	
Suelo desnudo	C	776.69	91	70678.34	
Agua o cubiertas artificiales	C	1331.39	100	133139.10	

Tabla 12: Obtención de CN para el cálculo de caudales máximos de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

Para el modelo de la cuenca (ver figura 11) se utilizó las siguientes metodologías (ver tabla 13).

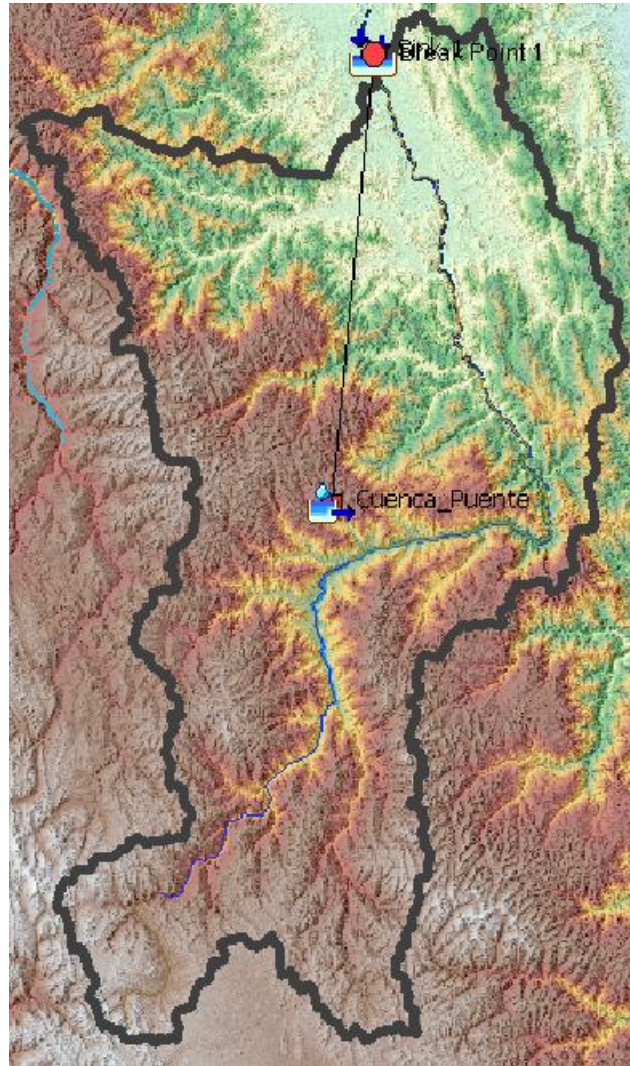


Figura 11: Modelo de la cuenca en el software HEC-HMS
Fuente: Elaboración propia.

Elemento	Tipo de cálculo	Método
Subcuenca	Pérdidas	Curva Numero CN de Soil Conservation Service
	Escorrentamiento de la cuenca	Hidrograma Unitario de Snyder
	Flujo Base	No se considera

Tabla 13: Métodos utilizados en HEC-HMS.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

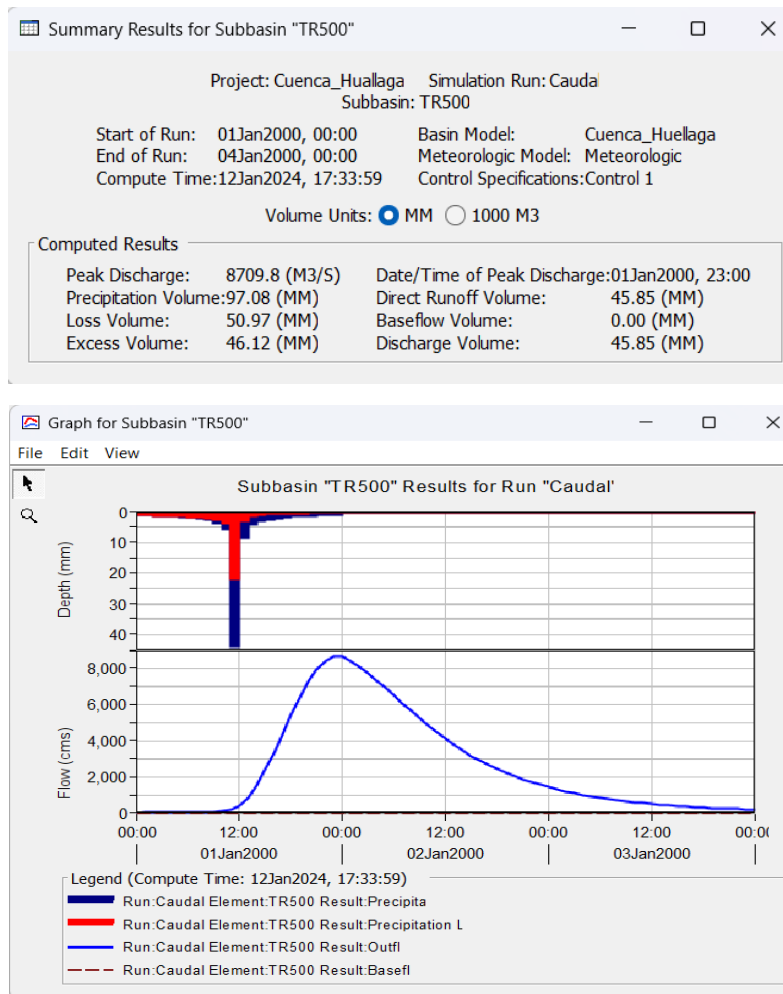


Figura 12: Resultados obtenidos en el software HEC-HMS para un T_{R500} años
Fuente: Elaboración propia.

Estudio de hidrología

Las máximas avenidas del río Huallaga se han calculado a partir de datos de precipitaciones máximas de 24 horas. Los caudales presentados corresponden a diferentes períodos de retorno.

Periodo de retorno T_R	Q máx. (m ³ /s)
500	8709.80
200	7656.50
140	7278.20
100	6936.70
50	6277.90
25	5675.70
20	5493.20
10	4959.40
5	4473.20
2	3898.80

Tabla 14: Máximos caudales obtenidos en HEC-HMS.
Fuente: Elaboración propia.

Para los cálculos de socavación, se utiliza un caudal correspondiente a un período de retorno de 500 años. En consecuencia, el caudal hidráulico a emplear es: $Q_{500} = 8709.80 \text{ m}^3/\text{s}$.

Coefficientes de rugosidad de Manning considerados

Se utilizaron los siguientes números de Manning, obtenidos del procesamiento del polígono del puente en el software ArcMap, para delimitar mejor las diferentes superficies presentes en nuestro cauce. Se obtuvieron 15 números de Manning, que se detallan a continuación:

ID	Descripción	"n"
1	Río	0.032
2	Vía	0.018
3	Arboles sauces	0.15
4	Arbustos y Malezas densos	0.1
5	Arbustos y Malezas escasos	0.06
6	Áreas cultivadas con cultivos	0.04
7	Áreas cultivadas sin cultivo	0.03
8	Infraestructura	0.02
9	Pastizales altos	0.035
10	Pastizales bajos	0.03
11	Tierra con algo de vegetación	0.027
12	Tierra grava	0.025
13	Tierra nueva	0.018
14	Tierra recto y uniforme grava	0.025
15	Tierra sin vegetación	0.025

Tabla 15: Valores de Manning según Ven Te Chow.

Fuente: Hidráulica de canales abiertos.

Modelo IBER (Modelo Bidimensional)

La superficie generada a partir de las curvas de nivel constituirá nuestro polígono base para importarlo en Iber. Posteriormente, se asignarán las superficies a todo el polígono, sin omitir ninguna área, ya que es allí donde se realizará el modelado.

A continuación, se procederá a ingresar los datos de entrada y salida del modelo.

Se ingresarán los caudales obtenidos del hidrograma para un período de retorno de 500 años y se seleccionará la zona de ingreso del fluido (ver imagen 13).

Luego, se considerarán los datos de salida, en los cuales se simulará que al salir el fluido se tendrá un régimen subcrítico (ver imagen 14).

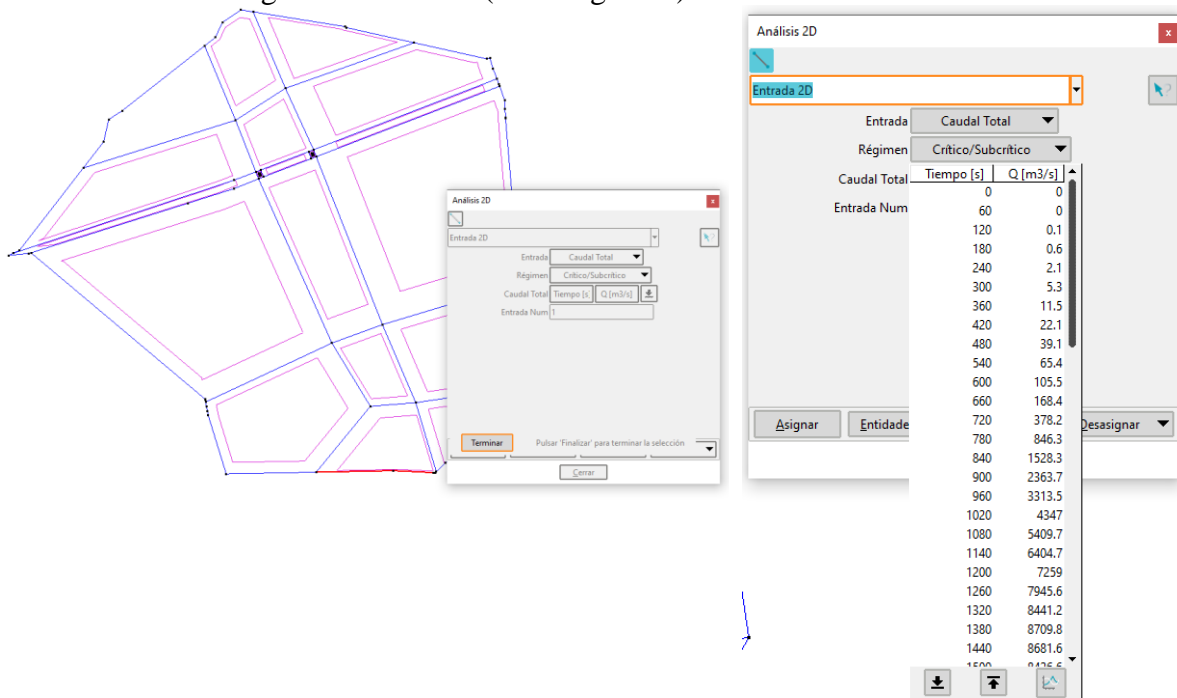


Figura 13: Datos de Entrada para el modelamiento en Iber.
Fuente: Elaboración propia - Software Iber.

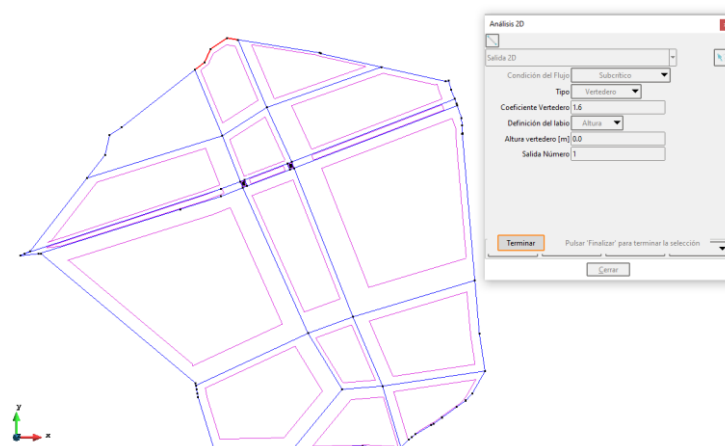


Figura 14: Datos de Salida para el modelamiento en Iber.
Fuente: Elaboración propia - Software Iber.

Para obtener los resultados del modelado, se consideraron los pilares de forma hueca, lo que permitió un procesamiento más rápido sin sacrificar la precisión de los resultados. Se emplearon tres tamaños de malla: 0.5 m para el área de los pilares, 1.0 m para la zona del río y el eje de la vía, y 2.0 m en los márgenes del río.

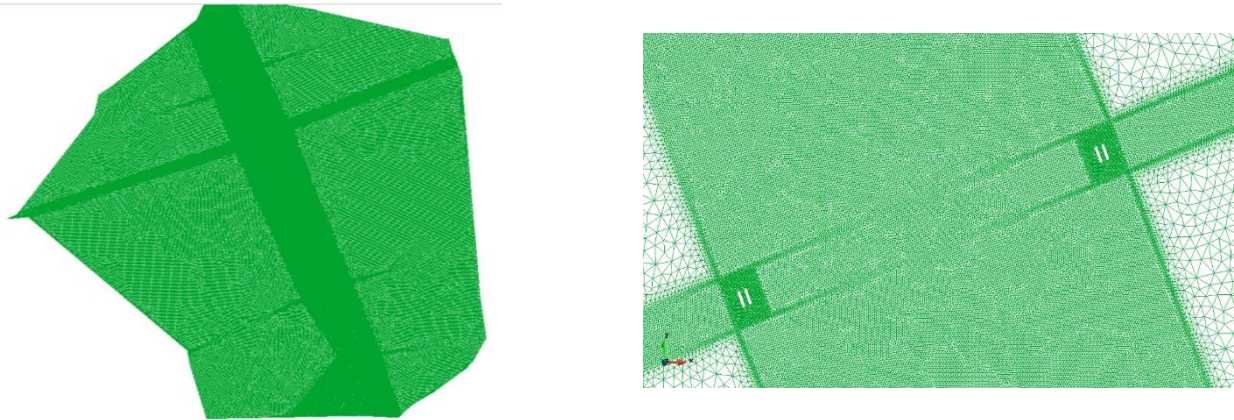


Figura 15: Malla generada para el modelamiento en Iber.

Fuente: Elaboración propia - Software Iber.

Los valores de los números de Manning se deben introducir de acuerdo con Ven Te Chow, utilizando los datos de la Tabla 15.

A continuación, se debe ingresar la topografía del relieve del terreno generado a partir de la superficie de la zona de estudio. Esto permitirá obtener las cotas respectivas con referencia a la topografía en los informes generados.

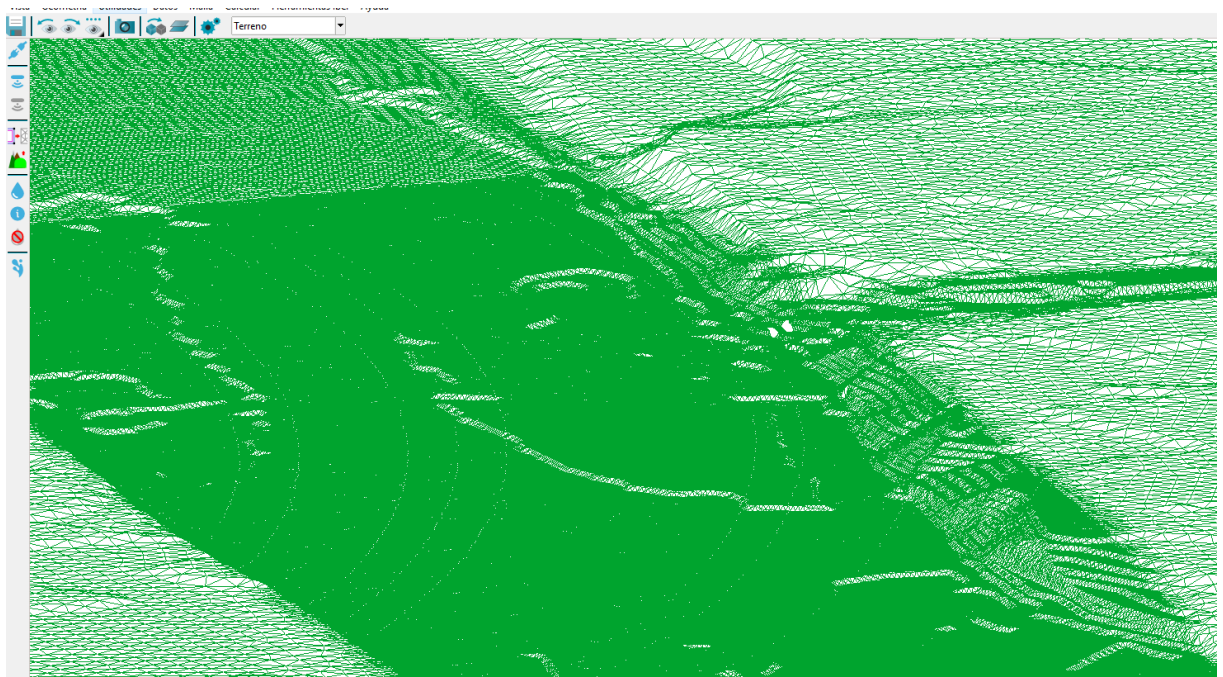


Figura 16: Topografía ingresada para el modelamiento en Iber.

Fuente: Elaboración propia - Software Iber.

El procesamiento de los datos se llevó a cabo en Iber, simulando un tiempo total de 4800 segundos y generando resultados cada 10 segundos para la visualización de los informes. A continuación, se presentan los resultados del modelado para el parámetro velocidad. Se observa que la velocidad fluctúa entre 2 m/s y 4 m/s, lo que indica una capacidad erosiva tanto para el cauce como para los pilares.

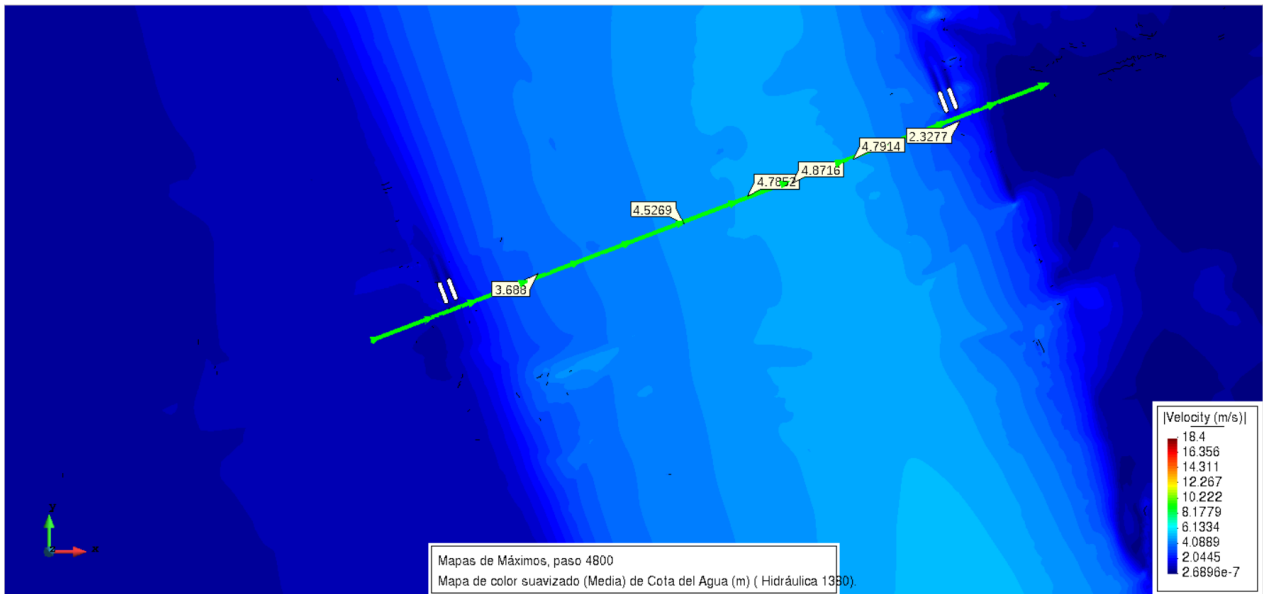


Figura 17: Resultados del parámetro velocidad del modelamiento en Iber.

Fuente: Elaboración propia - Software Iber.

Socavación

Socavación general

Para el cálculo de socavación general se utilizó el método de Lischtvan-Levediev para un periodo de retorno de 500 años, simulando el tiempo de 4800 segundos.

Donde:

$H_s - h$: Profundidad de socavación (m)

h : Tirante de agua (m)

D_m : Diámetro característico del lecho (mm)

β : Coeficiente de frecuencia.

μ : Factor de corrección por contracción del cauce.

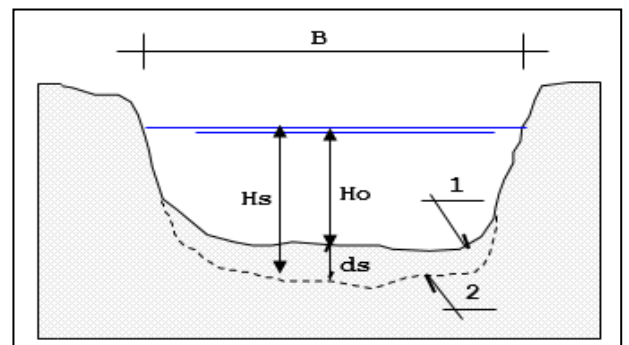
ϕ : Factor de corrección por forma de transporte de sedimentos.

z : exponente variable en función del diámetro medio de la partícula

Q : caudal

B : ancho de la superficie libre

V : Velocidad



Parámetros Hidráulicos	Valor
Sección Transversal	1
Q (m ³ /s)	8709.8
A (m ²)	469.33134
V (m/s)	4.8748
Dm (mm)	17.08
Luz (mínima para μ)	67.05
Tiempo de Retorno (T _R)	500
Peso específico muestra de agua (T/m ³)	1.8
μ	0.98094
α	0.7
β	1.06
ϕ	2.19
z	0.33
Prof. Socav. (ds) (m)	0.00

Tabla 16: Socavación general por el método de Lischvan-Levediev, usando hoja de Excel.

Fuente: Elaboración Propia.

Esta sección se ubica aguas arriba del puente. De acuerdo con los resultados del modelado hidrodinámico, el fluido generará una socavación de 0.00 m en dicha sección para un caudal de 8709.80 m³/s, como se detalla en la Tabla 17.

Cabe mencionar que, según Gómez Cunya (2010), los valores positivos en los resultados del modelado indican socavación, mientras que los valores negativos indican sedimentación. En este caso, el valor de 0.00 m para la socavación en la sección aguas arriba del puente se asume como el nivel del cauce en las inmediaciones del pilar.

Socavación por Contracción

Esta erosión se produce debido a la contracción del cauce provocada por la presencia del puente, lo que genera un aumento de la velocidad del flujo en los tramos estrechos. En la siguiente tabla, se presenta la contracción calculada para diferentes longitudes del puente.

Parámetros Hidráulicos	Valor
Q ₁ (m ³ /s)	8709.8
Q ₂ (m ³ /s)	8709.8
B ₁ (m)	211.15
B ₂ (m)	189.39
h ₁	12.97
h ₂	12.74
k ₁	0.59
Hs	13.83
Hs-h ₂ (Socavación en m)	1.10

Tabla 17: Socavación por Contracción, usando el Método de Laursen, usando hoja de Excel.

Fuente: Elaboración propia.

Socavación local

Socavación en Estribos

Para determinar la socavación local, se empleó el método de Melville y Sutherland, tomando en cuenta el pilar que experimenta la mayor velocidad del flujo, ya que este generará un mayor grado de erosión debido a la acción del fluido. El cálculo de la socavación se realizó considerando un período de retorno de 500 años y una simulación de 4800 segundos.

Los parámetros utilizados son:

a = Ancho de la pila

K_f = Factor de corrección por la forma de la pila.

K_ϕ = Factor de corrección por ángulo de ataque del flujo.

K_i = Factor de corrección por intensidad del flujo

K_h = Factor de corrección por profundidad del flujo

K_D = Factor de corrección por tamaño de sedimento

K_σ = Factor de corrección por gradación de sedimento

Parámetros de cálculo para pilares	T_{R500}
a = Ancho de la pila	1.4
K_f = Factor de corrección por la forma de la pila.	1.03
K_ϕ = Factor de corrección por ángulo de ataque del flujo.	3.39
K_i = Factor de corrección por intensidad del flujo	2.40
K_h = Factor de corrección por profundidad del flujo	1.00
K_D = Factor de corrección por tamaño de sedimento	1.00
K_σ = Factor de corrección por gradación de sedimento	1.00
d_s = Profundidad de socavación local	11.736 m.

Tabla 13: Socavación local del pilar, usando hoja de Excel.

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la Tabla 13, que la profundidad de socavación en los pilares será de 11.736m.

CONCLUSIONES

- En relación con el primer objetivo, se determinó que, al utilizar un tamaño de celda de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ con un intervalo de 1 arc-segundo (30 m), fue necesario aplicar una corrección de forma NADIR (ortogonal) mediante el software ENVI. Esto permitió obtener la imagen más vertical del hexaedro al procesar el cuadrante Sur 09° - Oeste 76° de la zona de estudio. Este procedimiento proporcionó parámetros más calibrados de la cuenca de estudio.
- En relación con el segundo objetivo, se determinó la lluvia neta mediante el método del Hidrograma Unitario SCS. Esta lluvia neta depende de la Curva Número (CN), la cobertura vegetal y el tipo de suelo. El procesamiento de estos datos reveló que los caudales aumentan significativamente en la cuenca. Para un T_{20} , el aumento es del 44.557%; para un T_{50} , el aumento es del 65.207%; para un T_{100} , el aumento es del 82.545%; y para un T_{500} , el aumento es del 129.205%.
- En relación con el tercer objetivo, se analizaron los datos recabados de la topografía procesada, la obtención del número de Manning, la distribución de malla en la zona de estudio y el hidrograma para un T_{500} años. Se determinó que la socavación general no tiene un efecto erosivo, con un valor de 0.00 m. Sin embargo, en el caso de la socavación local, se genera una erosión de 11.736 m para ambos pilares.

REFERENCIAS

- Bressan, F., Ballio, F., & Armenio, V. (2011). Turbulence around a scoured bridge abutment. *Journal of Turbulence*, 12, 1–24. <https://doi.org/10.1080/14685248.2010.534797>
- Chow, V. Te, & Saldarriaga, J. G. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw Hill.
- Ju, S. H. (2013). Determination of scoured bridge natural frequencies with soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 55, 247–254.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2013.09.015>
- Khwairakpam, P., & Mazumdar, A. (2009). Local Scour Around Hydraulic Structures. In *International Journal of Recent Trends in Engineering* (Vol. 1, Issue 6).
<https://www.researchgate.net/publication/237472042>
- Malik, A., Singh, S. K., & Kumar, M. (2021). Experimental analysis of scour under circular pier. *Water Science and Technology: Water Supply*, 21(1), 422–430. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.318>
- Martínez, Mongil, & del Río. (2003). *Pequeña guía de uso del modelo MODIPE*.
- Martín-Vide, J. P., Capape, S., & Ferrer-Boix, C. (2019). Transient scour and fill. The case of the Pilcomayo River. *Journal of Hydrology*, 576, 356–369.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.041>
- Mehaladevi, P., & Venkatesh, A. (2020). Scour Around the Bridge Structure-Review. In *Article in International Journal of Civil Engineering and Technology*.
<https://www.researchgate.net/publication/339999269>
- MTC. (2016). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE*. Ministerio de transportes y Comunicaciones.
- Perez, D. R., Yataco Manrique, G., & Hurtado, S. S. (2020, September 30). Comparative Analysis of the Total Scour in the Pillars and Abutments of a Bridge, between a 1D and 2D Model. 2020

congreso Internacional de Innovación y Tendencias En Ingeniería, CONITI 2020 - Conference

Proceedings. <https://doi.org/10.1109/CONITI51147.2020.9240248>