



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS:

**“ESTIMACION DE LA SOCAVACION NATURAL DE UN EMBARCADERO
FLUVIAL EN EL RIO ITAYA UTILIZANDO LOS METODOS DE
LISCHTVAN – LEBEDIEV Y STRAUB, 2023”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

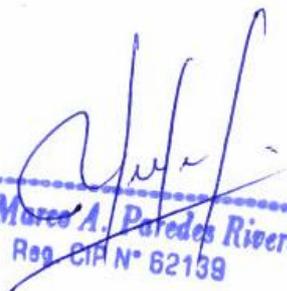
Bach. Adela Arlita Guerra Maytahuari

ASESOR:

Ing. MARCO ANTONIO PAREDES RIVEROS

SAN JUAN BAUTISTA - PERÚ

2024


.....
Ing. Marco A. Paredes Riveros
Reg. CIA N° 62139

Dedicatoria.

Dedico este trabajo de investigación a mis padres por ser el motivo principal para lograr mis metas y objetivos, A quienes siempre están presentes de manera incondicional en la realización de mis sueños y de mi vida profesional. A Karina una amiga en especial que fue una de las personas que me motivo siempre a levantarme y no darme por vencida ante cualquier dificultad en mi camino y doy gracias a mí por haberme esforzado cada día por lograr esta meta en mi vida.

Agradecimiento.

Mi agradecimiento ante todo es para Dios por ser mi guía y acompañante en mi vida, y por siempre llenarme de fortaleza y energía para seguir adelante cada día.



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

“ESTIMACION DE LA SOCAVACION NATURAL DE UN EMBARCADERO FLUVIAL EN EL RIO ITAYA UTILIZANDO LOS METODOS DE LISCHTVAN – LEBEDIEV Y STRAUB, 2023”

De la alumna: **ADELA ARLITA GUERRA MAYTAHUARI**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **17% de similitud**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 21 de febrero del 2024.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge L. Tapullima Flores', is written over a light blue circular stamp or watermark.

Mgr. Arq. Jorge L. Tapullima Flores
Presidente del Comité de Ética – UCP

Resultado_UCP_IngenieriaCivil_2023_Tesis_AdelaGuerra_Vi

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	16 %	1 %	9 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	es.slideshare.net Fuente de Internet	1 %
2	www.researchgate.net Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1 %
4	core.ac.uk Fuente de Internet	1 %
5	revistapolitecnica.epn.edu.ec Fuente de Internet	1 %
6	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Trabajo del estudiante	1 %
7	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	1 %
8	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	1 %
9	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Adela Arlita Guerra Maytahuari
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Resultado_UCP_IngenieriaCivil_2023_Tesis_AdelaGuerra_VI
Nombre del archivo: UCP_INGENIERIACIVIL_2023_TESIS_ADELAGUERRA_VI_RESUM...
Tamaño del archivo: 2.59M
Total páginas: 56
Total de palabras: 10,678
Total de caracteres: 49,173
Fecha de entrega: 21-feb.-2024 10:39a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2300620676



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N°485-2023-UCP-FCEI de fecha 04 de Julio de 2023, La FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|---|------------|
| • Ing. Ulises Octavio Irigoín Cabrera, M. Sc. | Presidente |
| • Ing. Juan Jesús Ocaña Aponte, M. Sc. | Miembro |
| • Ing. Félix Wong Ramírez, M. Sc. | Miembro |

Como Asesor: Ing. Marco Antonio Paredes Riveros, Mg.

En la ciudad de Iquitos, siendo las 20:00 horas del día Jueves 21 de Marzo del 2024, de manera presencial supervisado por el secretario académico del programa académico de Ingeniería civil de la facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION NATURAL DE UN EMBARCADERO FLUVIAL EN EL RIO ITAYA UTILIZANDO LOS METODOS DE LISCHTVAN – LEBEDIEV Y STRAUB, 2023".

Presentado por la Sustentante:

ADELA ARLITA GUERRA MAYTAHUARI

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**

El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR UNANIMIDAD**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



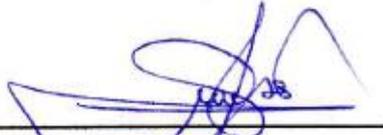
Presidente

Miembro

Miembro

HOJA DE APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto publico el día Jueves 21 de Marzo del 2024, a las 20:00 Horas, en las instalaciones de la UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ.



PRESIDENTE DEL JURADO

Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc.



MIEMBRO DEL JURADO

Ing. Juan Jesús Ocaña Aponte, M. Sc.



MIEMBRO DEL JURADO

Ing. Félix Wong Ramírez, M. Sc.



ASESOR

Ing. Marco Antonio Paredes Riveros, Mg.

Contenido

RESUMEN	14
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	16
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Bases teóricas	18
a) Transporte y arrastre de sedimentos	18
b) Socavación General.....	19
c) Socavación en estructuras de protección ribereña	19
d) Socavación local.....	20
e) Caudal.....	20
f) Coeficiente de rugosidad	20
g) Río	20
h) Sedimentos	21
i) Granulometría.....	21
j) Morfología de los Ríos	21
k) Método de Lischtvan - Levediev	21
l) Agua.....	22
CAPITULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
2.1 Descripción del problema	24
2.3 Objetivos.....	25
2.3.1 General.....	25
2.3.2 Específicos	25
2.4 Justificación de la investigación	25
2.5 Hipótesis.....	26
2.6 Variables.....	26
CAPITULO III: METODOLOGIA	27
3.1 Tipo y diseño de Investigación	27
3.2 Población y muestra	27
3.2.1 Población	27
3.2.2 Muestra	27
3.3 Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	27
3.3.1 Técnica de recolección de datos	27
3.3.2 Instrumentos de Recolección de Datos	27

3.3.3	Procedimiento de recolección de datos	29
3.3.3.1	Batimetría	29
3.3.3.2	Verificación y estudio del área de trabajo	29
3.3.3.3	Determinación del punto geodésico para batimetría.....	29
3.3.3.4	Post proceso y planos topográficos	29
3.3.3.5	Medición de caudal por el método acústico Doppler (ADCP)	29
3.3.3.6	Granulometría de fondo	31
3.3.3.7	Caudal de diseño	32
3.3.3.8	Estimación de la socavación.....	32
a)	Método de Maza (1973)	33
b)	Método de Lischtvan - Levediev	33
c)	Método de Straub.....	36
CAPITULO 4: RESULTADOS	37
4.1	Área de estudio	37
4.2	Batimetría de la zona	38
4.3	Seccionamiento.....	39
4.4	Thalweg.....	48
4.5	Caudal de Diseño	49
4.5.1	Caudales Máximos en el Punto Base	51
4.5.2	Método Fuller	52
4.6	Niveles del río Itaya	52
4.7	Curva de Permanencia de Niveles.....	53
4.7	Calculo de la socavación	57
4.7.1	Método de Maza (1973)	57
4.7.2	Método de Lischtvan - Levediev	58
4.7.3	Método de Straub	61
CAPITULO 5: DISCUSION DE LOS RESULTADOS	63
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
6.1	Conclusiones	70
6.2	Recomendaciones	71
	Bibliografía.....	72

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1.- Sección Transversal de un Cauce (Juárez Badillo, 1992).....	22
Gráfico 2.- Proceso de Transporte de sedimentos (Pier and Julien)	23
Gráfico 3. Esquema del perfil de socavación de un cauce	34
Gráfico 4.- Ubicación del área de estudio	37
Gráfico 5.- Batimetría de la zona de estudio	38
Gráfico 6.- Ubicación de las Secciones transversales, río Itaya.....	39
Gráfico 7.- sección transversal de la estación H-Enapu Perú (09/02/2023) sobre el río Itaya.	40
Gráfico 8.- sección transversal completa del río Itaya – Muelle Artesanal (09/02/2023)	41
Gráfico 9.- sección transversal de la estación H-Enapu Perú (09/02/2023).....	43
Gráfico 10.- sección transversal completa del río Itaya – Enapu Perú (09/02/2023).....	44
Gráfico 11.- sección transversal de la estación H-Morochita (febrero del 2023)	46
Gráfico 12.- sección transversal completa del río Itaya – Morochita (09/02/2023)	47
Gráfico 13.- Ubicación espacial del Thalweg en la zona de estudio.....	48
Gráfico 14.- Perfil longitudinal del thalweg - sector de estudio	49
Gráfico 15.- caudales del río Itaya-Estación H-Itaya.....	50
Gráfico 16.- Esquema de los flujos en la zona de estudio.....	50
Gráfico 17.- caudales del río Amazonas-Estación H-Tamshiyacu	51
Gráfico 18.- Curva de permanencia de Niveles del río, H-Enapu Perú	54
Gráfico 19.- Hidrograma de Niveles H-Enapu Perú mostrando el límite de peligro	56
Gráfico 21.- Cálculo de la socavación por el método de Levedieb.....	60
Gráfico 22.- Cálculo de la socavación por el método de Straub	62
Gráfico 23.- Velocidades Máxima en aforos diferenciales (2021)	65
Gráfico 24.- Esquema de Factores que intervienen sobre el área de estudio	68

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Factor de contracción de cauce	34
Cuadro 2.- Resumen de las características hidráulicas del río Itaya-Muelle Artesanal Pesquero	39
Cuadro 3.- Características Hidráulicas del río Itaya frente a Muelle Artesanal Pesquero (09/02/23)	40
Cuadro 4.- Resumen de las características hidráulicas del río Itaya-Enapu Perú (09/02/2023)	42
Cuadro 5.- Características Hidráulicas del río Itaya frente a Enapu Perú (09/02/2023)	43
Cuadro 6.- Resumen de las características hidráulicas del río Itaya-Puerto Morochita (09/02/2023)	45
Cuadro 7.- Características Hidráulicas del río Itaya frente a Puerto Morochita (09/02/2023)	46
Cuadro 8.- Profundidad del Thalweg en el río Itaya (sector de estudio)	48
Cuadro 9.- Estaciones Hidrológicas en la zona de estudio	49
Cuadro 10.- Caudales Medios del río Itaya y Amazonas	51
Cuadro 11.- Caudal Máximo, río Itaya, H -Itaya (m ³ /s)	52
Cuadro 12.- Caudal Máximo de Diseño (Fuller) (m ³ /s)	52
Cuadro 13. Datos de Clases para Histograma de Niveles, H-Enapu Perú	53
Cuadro 14.- Periodos de retorno (Tr) Niveles máximos (m)	54
Cuadro 15.- Prueba de Bondad Kolmogorov-Smirnov, Niveles	55
Cuadro 16.- Niveles del Itaya-sector Belén	57
Cuadro 17.- Valores de la Hms socavación natural, río Itaya altura del Mercado	57
Cuadro 18.- Datos básicos para el cálculo de socavación método Litschvan-Levedieb	58
Cuadro 19.- Calculo de la Socavación Natural por el método de Litschvan-Levedieb	59
Cuadro 20.- Calculo de la Socavación Natural por el método de Straub	61
Cuadro 21.- Parámetros Hidráulicos obtenidos en campo (feb 2023)	64

RESUMEN

La estimación de la socavación natural para el futuro embarcadero artesanal de Punchana fue ejecutado en el distrito de Punchana, provincia de Maynas, sobre el río Itaya, área de estudio muy complicada debido a la proximidad de la interacción de los ríos Itaya y Amazonas, que distan solo 1.5 Km, sumado a la diferencia abismal de los volúmenes de ambos ríos, se determinó que el caudal medio del río Itaya solo representa el 0.7% del río Amazonas, lo que ocasiona el ingreso de este último sobre la desembocadura del Itaya. El tipo de embarcadero propuesto es tipo pontón. Se utilizaron tres métodos de estimación de socavación: Maza, Lischtván – Lebediev y Straub. Asimismo, se realizó el análisis granulométrico de sedimentos de fondo en el eje del embarcadero fluvial con un diámetro de 0.0156 mm complementados con la batimetría del área de influencia directa, seccionamiento para caudales a 500 m aguas arriba y abajo del eje principal. Se utilizó el ADCP para determinar las secciones transversales, caudal y flujos, así como también, una ecosonda monohaz para la batimetría en el área de estudio. Para caudales de diseño se trabajó con periodos de retorno de 50 y 100 años de los niveles del río Itaya. De los resultados obtenidos, con el método de Maza & Echevarría fue de 1.27 m como máximo, comparado con el método de Litschvan - Lebediev que tiene una socavación máxima de 17.75 m y el de Straub 5.28 m, aunque el área de estudio está sujeta a procesos de sedimentación dominados y modulados por el gran río Amazonas que interacciona sobre el río Itaya haciendo que el flujo sea subcrítico, razón por la cual ninguna de las fórmulas utilizadas se acerca visiblemente a la realidad, sin embargo, para el diseño predomina el aspecto de seguridad se optó por escoger el método de Straub como proceso de socavación para la investigación.

Palabras Claves:

Socavación, ADCP, río Itaya, río Amazonas, Sedimentos.

Abstrac

The estimation of the natural scour for the future Punchana artisanal pier was carried out in the Punchana district, Maynas province, on the Itaya River, a very complicated study area due to the proximity of interaction between Itaya and Amazon rivers, which are only 1.5 km apart, added to the abysmal difference in the volumes of both rivers, it was determined that the average flow of Itaya River only represents 0.7% of the Amazon River, which causes the entry of the latter over the mouth of Itaya. The type of pier proposed is a pontoon type. Three scour estimation methods were used: Maza, Lischvan – Lebediev and Straub. Likewise, the granulometric analysis of bottom sediments was carried out in the axis of the river jetty with a diameter of 0.0156 mm, complemented with the bathymetry of the area of direct influence, sectioning for flows at 500 m upstream and downstream of the main axis. ADCP was used to determine cross sections, discharge and flows, as well as a single-beam echo sounder for bathymetry in study area. For design flows, we worked with return periods of 50 and 100 years of the levels of the Itaya River. From the results obtained, with the Maza & Echevarría method it was a maximum of 1.27 m, compared to the Litschvan - Lebediev method that has a maximum scour of 17.75 m and that of Straub 5.28 m, although the study area is subject to processes of sedimentation dominated and modulated by the great Amazon River that interacts with Itaya River, making the flow subcritical, which is why none of the formulas used are visibly close to reality; however, the safety aspect predominates for the design. It was decided to choose Straub's method as the undermining process for the investigation.

Keywords:

Natural scour, ADCP, Itaya River, Amazon River, Sediments, granulometry.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Según Quinte (2021) en su trabajo de investigación propuso determinar la socavación en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu. Para lograr dicho propósito, se aplicó el método científico, en una investigación de tipo aplicada, de nivel explicativo, cuyo diseño fue no experimental. Se obtuvo como resultado: Los caudales de diseño de 93.5 m³/s, 120.3 m³/s, 151.3 m³/s y 188.2 m³/s para periodos de retorno (Tr) de 25, 50, 100 y 200 años respectivamente; y los valores promedios de socavación son iguales a 3.37 m ± 35.03 %, 3.33 m ± 36.77 %, 3.77 m ± 30.72 % y 3.97 m ± 30.43 % respectivamente. En conclusión, la socavación en obras longitudinales de defensa ribereña se encuentra en el rango de 2.19 m a 4.55 m para un Tr = 25 años, 2.10 m a 4.55 m para un Tr = 50 años, 2.61 m a 4.93 m para un Tr = 100 años y 2.76 m a 5.18 m para un Tr = 200 años; del que resultan promedios de 3.37 m, 3.33 m, 3.77 m y 3.97 m para cada uno de los periodos de retorno seleccionados. Los valores nos ayudan a predecir el comportamiento de las estructuras frente a fallas por socavación, las cuales son importantes para poder contar con parámetros más precisos para el diseño de futuras obras de defensa ribereña. (Quinte Lulo, 2021)

La investigación llevada a cabo por Velarde (2021), que tuvo como objetivo estimar la magnitud de la socavación que el flujo de agua puede causar en la sección transversal del cauce del río donde se ubica un puente. La aplicación de la presente investigación se realizó para un tramo de río en la costa peruana. El tramo corresponde al río Rímac en las inmediaciones del Puente Morón entre los distritos de Chaclacayo y Chosica con una longitud de 1,5 Km. Para conocer la magnitud de la socavación se determinaron los caudales máximos para los periodos de retorno de 10 y 500 años respectivamente y adicionalmente se ha evaluado para un caudal ocurrido en el año 2013. El caso se ha evaluado para los citados caudales donde la geomorfología y Se analizó como punto de partida la información sedimentológica de la cuenca para la cual se estimaron los sedimentos en las inmediaciones del puente. Además de esto, se utilizaron modelos numéricos unidimensionales y bidimensionales para evaluar el

comportamiento hidráulico del canal con el fin de obtener valores de velocidad. Finalmente, se calculó la profundidad de socavación general mediante el método de Lischtvan - Lebediev y el método de los segmentos para el tramo evaluado del río Rímac que incluye el sector del Puente Morón, y también se calculó la profundidad de socavación local mediante 20 ecuaciones para erosión en pilares donde se aplicaron las fórmulas correspondientes. (Velarde Bernal, 2021)

Peñaloza (2017), menciona que la “socavación local”, es una de las problemáticas que se debe estudiar en el diseño de estructuras hidráulicas fundadas en lechos de ríos. En este trabajo, se compararon los resultados de socavación local en una cepa aislada y fundada en el lecho arenoso del río Biobío, a través de los métodos tradicionales indicados en el Manual de Carreteras y un modelo morfodinámico simplificado geométricamente de carácter bidimensional. Los cálculos se realizaron para variables hidráulicas determinadas en una crecida de 100 años de periodo de retorno, en una sección transversal del río correspondiente a la actual ubicación del puente Juan Pablo II. Se presentan las variables unidimensionales promediadas en a) la sección completa, b) la sub-sección más caudalosa, y c) a través del modelo numérico. Los resultados, indican que este último entrega los valores de socavación local más conservadores aludiendo a la conocida sobreestimación de los métodos tradicionales” (Peñaloza, Caamaño, & Villagran, 2017).

Medina (2018), realizó pruebas de los diferentes métodos empíricos existentes para estimar de forma cuantitativa de la socavación en función a los múltiples factores de los cauces variables, consideraciones que se deben de tomar en cuenta en una obra civil abocado a la protección ribereña. Se obtuvieron resultados para la socavación general, local y curva de los gaviones implementada en el área de estudio en función a las dimensiones del cauce variable. (Medina Olivas, 2018)

La socavación en las bases de los puentes es una de las principales causas de fallas de estas infraestructuras en el mundo, lo que conlleva a elevados gastos en reparación, aislamiento de poblaciones y pérdidas de vidas humanas. El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo calcular, analizar y comparar la

socavación total que se produce en los pilares y estribos del puente Huallaga mediante un modelo unidimensional y un modelo bidimensional. Para lograr este objetivo se recopilaron las diferentes metodologías de cálculo de socavación y se escogieron las óptimas para el presente estudio. Luego, se identificaron los parámetros que tienen mayor influencia en la simulación del proceso de socavación. Después, se calculó la socavación total del puente Huallaga con el modelo 1D (HEC-RAS) y 2D (IBER). Finalmente, se realizó un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en ambos programas. Adicionalmente, se obtuvieron como una de las principales conclusiones que los valores calculados de socavación obtenidos a partir de los datos del modelo 2D son menores en comparación a los valores calculados de socavación obtenidos a partir de los datos del modelo 1D, haciendo al segundo modelo hasta un 49.8% más representativo para los cálculos de socavación. (Rodríguez Perez & Yataco Manrique)

1.2 Bases teóricas

a) Transporte y arrastre de sedimentos

La erosión generalizada de un tramo de río, producto del incremento de la capacidad de transporte de la corriente durante el pasaje de una crecida prolongada, puede ser determinante de la puesta en riesgo, y aun del colapso, de estructuras fluviales tales como puentes, defensas de márgenes, conductos enterrados, etcétera. En aquellas circunstancias en las que se requiera una determinación expeditiva, o en las que falte la información apropiada para el uso de modelos matemáticos a fondo móvil, resulta aconsejable el uso de formulaciones semiempíricas que evalúen el estado final de equilibrio de una sección representativa de un tramo de río para determinadas condiciones de la corriente. La aplicabilidad de una u otra fórmula de cálculo se sustenta en el grado de validación de que hayan sido objeto, y en un conocimiento apropiado de los fundamentos teóricos y experimentales que les dieron origen (Juarez Badillo & Rico Rodríguez, 1974)

b) Socavación General

La socavación general, también conocida como socavación normal, consiste en una disminución generalizada del fondo por el aumento del arrastre de sedimentos debido al incremento de la capacidad de flujo (crecidas). La socavación del fondo se produce debido a un desequilibrio entre el aporte sólido que transporta el agua a una sección y el material removido.

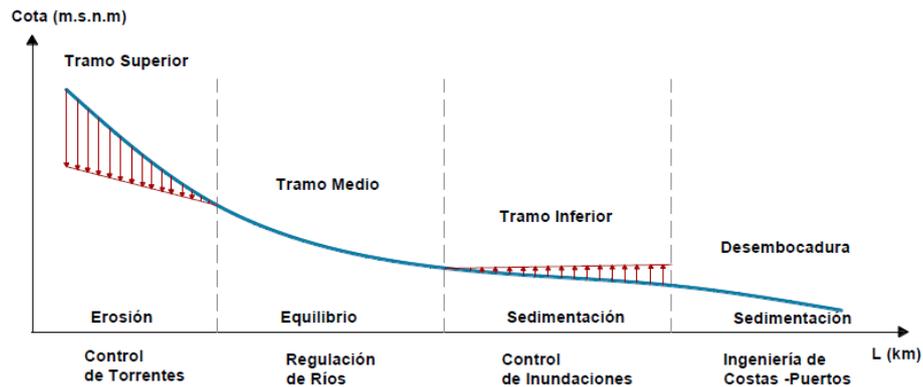


Figura 1. Representación gráfica del desarrollo longitudinal de un cauce natural.

Este tipo de socavación es consecuencia del régimen del flujo (Martin Vide, 2003), (Ordóñez Ordóñez, 2010) y puede ocurrir con o sin la presencia de una obra en el cauce, en periodos cortos de tiempo en una o varias crecidas o en periodos largos en intervalos del orden de años (Castro Delgado, Hidalgo Bustamante, Valencia Bonilla, Toapaxi Alvarez, & Galiano Ayala, 2015).

c) Socavación en estructuras de protección ribereña

La socavación estructural se relaciona al levantamiento y transporte de materiales que se encuentran afectando a la base estructural, en este caso a los bordes del río por el aumento o forma del caudal. Según (Aguilar, 2016, p.7) define que:

Erosión, socavación o degradación, son términos que generalmente nos hace entender a la remoción que realiza el flujo de agua a las partículas que constituyen el cauce, lo cual repercute en la profundización o expansión del lecho en la trayectoria del río (Aguilar Aguinaga, 2016).

d) Socavación local

La socavación local se puede presentar en estrechamientos debido al empleo de estructuras en la corriente de un río, Produciendo el incremento en la fuerza del flujo que es capaz de remover el lecho del río, como se explica en la siguiente cita.

Contrario a la socavación general, la socavación local es el descenso abrupto en el lecho fluvial, generado por el transporte del material de fondo debido a cualquier elemento físico que puede ser de alguna obra dentro del cauce o alguna singularidad natural que se encuentre interpuesta dentro de la trayectoria del río. (Barbosa, 2013)

e) Caudal

El Caudal de un río es referido a la cantidad de agua que fluye por una determinada sección transversal, cuya unidad de medida es el m^3/s , estos caudales son registrados por estaciones hidrométricas que a su vez son puestos al conocimiento de la población mediante el ANA, los registros deben ser analizados para obtener el caudal de diseño.

f) Coeficiente de rugosidad

El coeficiente de rugosidad "n", indica que la parte en contacto sea el fondo o cara lateral de un canal ofrece una resistencia al movimiento del agua, en resumen, a mayor rugosidad, mayor será la dificultad al desplazarse.

g) Río

FRIJLINK nos recuerda que un río puede definirse como:

"un sistema de canales naturales (cursos de agua) por medio de los cuales se descarga el agua de la cuenca". (Frijlink, 1964)

En el Diccionario de la Real Academia Española encontramos que el río se define como *"corriente de agua continua y más o menos caudalosa que va a desembocar en otra, en un lago o en el mar"*. La palabra río viene del latín riuus, rivus: arroyo. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2022)

h) Sedimentos

Materia que, habiendo estado suspensa en un líquido, se deposita en el fondo por su mayor peso (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2022).

i) Granulometría

La granulometría es la distribución y medición de los diferentes tipos de suelos, agregados o áridos. Permite la gradación del material mediante el proceso de tamizado y así generar la curva granulométrica que es un indicador gráfico para la clasificación del material que se está analizando. “La curva de distribución de tamaño de partícula puede ser utilizada para comparar diferentes sólidos. A partir de estas curvas pueden determinarse también tres parámetros básicos de suelos que se usan para clasificar granularmente los suelos” (DAS Braja, 2015)

j) Morfología de los Ríos

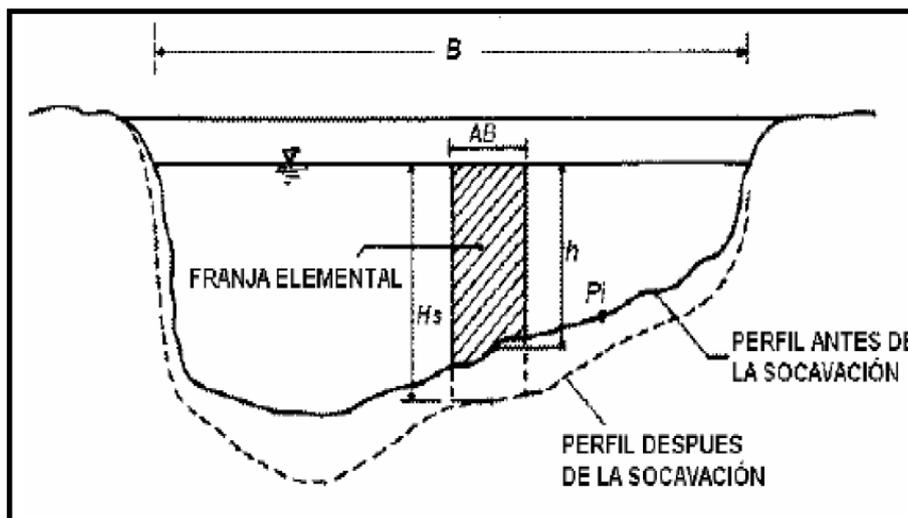
La morfología de los ríos estudia la estructura, las formas fluviales y el mecanismo de desarrollo de los mismos, incluyendo la configuración del cauce en planta, la geometría de las secciones transversales, las características del perfil y la forma del fondo (ROCHA FELICES, 1998).

k) Método de Lischtván - Lebediev

El método propuesto por Lischtván-Lebediev es el más usado en nuestro país para el cálculo de la socavación general incluyendo el efecto de la contracción de un puente. Se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente (V_r) y la velocidad media erosiva (V_e). La velocidad erosiva no es la que da inicio al movimiento de las partículas en suelos sueltos, sino la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material del fondo. Si el suelo es cohesivo, es la velocidad que es capaz de levantar y poner el sedimento en suspensión. La velocidad erosiva está en función de las características del sedimento de fondo y de la profundidad del agua. La velocidad real está dada principalmente en función de las características del río: pendiente, rugosidad y tirante o profundidad del agua.

El método se basa en suponer que el caudal unitario correspondiente a cada franja elemental en que se divide el cauce natural (Figura N° 07) permanece constante durante el proceso erosivo y puede aplicarse, con los debidos ajustes, para casos de cauces definidos o no, materiales de fondo cohesivos o friccionantes y para condiciones de distribución de los materiales del fondo del cauce homogénea o heterogénea. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones. [Perú], 2008)

Gráfico 1.- Sección Transversal de un Cauce (Juárez Badillo, 1992)



l) Agua

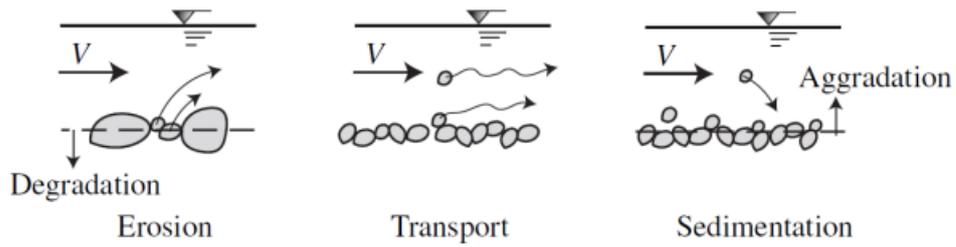
Según Grández (2019) citado por Medina (2011), nos afirma que el agua es el recurso más importante que existe en el planeta, ya que todos los seres vivos, lo requieren para subsistir. Los seres humanos tenemos en promedio, un 70% de agua como parte del peso de nuestro cuerpo y este recurso es indispensable para todas las funciones vitales del organismo.

El agua, es vital para la sola existencia del hombre, es también fundamental para su sobrevivencia y bienestar, pues se lo requiere para beber, preparar sus alimentos, para su limpieza e higiene, para cultivar, etc. Además, el agua permite el desarrollo de la industria y de todo tipo de actividades para el bienestar del hombre; y su existencia, regula el equilibrio de los ecosistemas.

1.3 Definición de términos básicos

Socavación: Pierre Julien mencionan en la primera página de su libro “Erosión and sedimentación” que la socavación se refiere al movimiento de partículas sólidas, llamadas sedimentos. Los procesos naturales de erosión, transporte y sedimentación, gráfico N°02, han sido activos a lo largo del tiempo geológico y han modelado el paisaje actual de nuestro planeta. (JULIEN, 2010)

Gráfico 2.- Proceso de Transporte de sedimentos (Pier and Julien)



CAPITULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción del problema

En el Perú, sobretodo en la selva amazónica existe poca información sobre modelos teóricos que permiten estimar la profundidad de socavación en las grandes infraestructuras que se construyen, algunas fórmulas han sido desarrolladas en laboratorio y bajo el escenario de suelos no cohesivos, situación que no es propia de la selva peruana, debido a que la selva baja está conformada por suelos limo arcilloso.

Algunos modelos hidráulicos aplicados a la Amazonía Peruana presentan resultados no coherentes con la realidad, estos modelos fueron desarrollados para evaluar el comportamiento hidráulico del cauce ante estructuras u otros objetos que lo atraviesen.

Por ello existe mucha incertidumbre sobre el uso de las ecuaciones y su elección para conocer cuál de ellas representa mejor las condiciones reales del curso natural.

2.2 Formulación del problema

2.2.1 General

¿Utilizando los métodos de Lischtvan – Lebediev y Straub, Se puede calcular con más precisión la socavación que se producirá en la construcción del embarcadero fluvial: Terminal Pesquero de Punchana?

2.2.2 Específicos

¿Se han realizado comparaciones entre los diferentes métodos para la estimación de la socavación en los ríos de la selva baja?

¿Se han identificado los parámetros que tienen mayor influencia y sensibilidad en la modelación del proceso de socavación general?

Comparar e interpretar las diferencias entre los resultados de la estimación de la profundidad de socavación general mediante los modelos hidrodinámicos seleccionados y las metodologías empíricas tradicionales.

2.3 Objetivos

2.3.1 General

Estimación de la profundidad de socavación general de un embarcadero fluvial en el río Itaya.

2.3.2 Específicos

Estimar la socavación general del embarcadero fluvial utilizando el método de Lischtvan – Lebediev, en la sección principal donde se ubicará el terminal pesquero de Punchana.

Estimar la socavación general del embarcadero fluvial utilizando el método de Straub, en la sección principal donde se ubicará el terminal pesquero de Punchana.

Identificar los parámetros que tienen mayor influencia y sensibilidad en la modelación del proceso de socavación general.

2.4 Justificación de la investigación

En el Perú no existe una metodología definitiva la cual deba aplicarse sobre cauces de tipo cohesivos para la estimación de la socavación general y local, lo cual ha conllevado al sobredimensionamiento o colapso de la estructura; por tanto se ha desarrollado la siguiente investigación como una nueva propuesta metodológica que consiste en la aplicación del modelo empíricos propuesto por Lischtvan-Lebediev y Straub para la estimación de la socavación en general; el primer método emplea el método de las dovelas para la obtención de la distribución de velocidades en la sección transversal y observar a mayor detalle los cambios morfológicos que ocurran en el cauce.

También es importante mencionar que la metodología propuesta en la presente tesis se inicia con el desarrollo de los componentes hidrológicos, producción de sedimentos, morfología fluvial, estabilidad del cauce, transporte de sedimentos,

modelación numérica, socavación y concluye con la presentación del esquema conceptual del cambio morfológico del cauce.

Se plantea la aplicación de las formulas mencionadas en la construcción del embarcadero fluvial del terminal Pesquero de Punchana.

2.5 Hipótesis

Los métodos empíricos permiten estimar la socavación en estructuras de protección ribereña de los ríos amazónicos

2.6 Variables

2.6.1 Identificación de las Variables.

Independiente

Sedimentos de fondo.

Caudal

Dependiente

Socavación general

2.6.2 Operacionalidad de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Unidad de Medida
Sedimentos de fondo	La granulometría es la distribución y medición de los diferentes tipos de suelos, agregados o áridos. Permite la gradación del material mediante el proceso de tamizado y así generar la curva granulométrica que es un indicador gráfico para la clasificación del material que se está analizando.	Conocimiento de las características del fondo del río.	Diámetro de las partículas	Milímetros
Caudal	El Caudal de un río es referido a la cantidad de agua que fluye por una determina sección transversal, cuya unidad de medida es el m ³ /s, estos caudales son registrados por estaciones hidrométricas	Volumen de agua que discurre para diferentes periodos de retorno	Cantidad de agua por unidad de tiempo	metros ³ /s
Socavación	La socavación general, también conocida como socavación normal, consiste en una disminución generalizada del fondo por el	Sector erosionable del fondo del cauce	Profundidad de socavación	metros

	aumento del arrastre de sedimentos debido al incremento de la capacidad de flujo (crecidas). mínimas que deben tener el sistema de captación de agua			
--	--	--	--	--

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1 Tipo y diseño de Investigación

De acuerdo al trabajo de investigación esta es de tipo descriptiva, ya que analizaremos todos los hechos tal cual se presentan en la realidad. No se realizará ninguna intervención. Asimismo, el diseño de la investigación es No experimental, porque no se realizará intervención en ninguna de las variables.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Para este estudio la población estará constituida por la parte baja del río Itaya.

3.2.2 Muestra

En el trabajo la muestra estará representada por el sector del río donde se construirá el Terminal Pesquero de Punchana.

3.3 Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.3.1 Técnica de recolección de datos

Para la técnica de recolección de datos se emplearon fuentes secundarias con la revisión de documentos,

Fuentes primarias: información proveniente de instituciones como INEI, SENAMHI, SUNASS y el SEHINAV, tesis y artículos científicos.

3.3.2 Instrumentos de Recolección de Datos

El instrumento que se empleará para la recolección de datos será las fichas donde se volcará los datos recogidos del SEHINAV, SENAMHI, INEI y

SUNASS, en especial, la granulometría, caudal, secciones transversales del río en la zona de estudio.

Asimismo, se utilizarán equipos de medición como la ecosonda monohaz y el perfilador acústico de corrientes para estimar las secciones transversales en las que se evaluará la socavación.

3.3.2.1 *Materiales de campo*

- Wincha
- Pintura
- Estacas
- Cuaderno de campo
- Reglas limnimétricas

3.3.2.2 *Equipos*

- Ecosonda Monohaz
- Equipo de Topografía
- ADCP (equipo de medición de caudal)
- GPS Garmin 12 canales
- Equipo de cómputo.
- Impresora láser.
- Cámara Fotográfica.

3.3.2.3 *Software*

- Microsoft Office (Ms. Excel, Ms. Word, Ms. Power Point).
- ARCGIS
- Autocad

3.3.2.4 *Materiales de escritorio*

- Cuaderno de apuntes.
- Lapicero, regla y plumón indeleble.
- Papel bond A4.

3.3.3 Procedimiento de recolección de datos

3.3.3.1 Batimetría

Las actividades que se llevará a cabo en el levantamiento batimétrico del río Itaya se describen en lo siguiente:

3.3.3.2 Verificación y estudio del área de trabajo

Delimitación del área de Influencia Directa

Se realizó una verificación de nuestra área de influencia y con ello se realizó el levantamiento batimétrico, amarrado a un punto geodésico.

3.3.3.3 Determinación del punto geodésico para batimetría.

Una de las primeras actividades es colocar un punto geodésico, para lo cual se ha realizado cerca del Muelle artesanal pesquero de Punchana, siguiendo el protocolo del Instituto Geográfico Nacional (IGN),

Como sistema geodésico se utilizó, el **WGS 84** que son las siglas en inglés de **World Geodetic System 84** que significa Sistema Geodésico Mundial 1984. Actualmente vigente en la selva peruana, sin embargo, en Lima ya se viene utilizando el WSG2008. A través de este sistema nos permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres coordenadas o unidades dadas (x,y,z).

3.3.3.4 Post proceso y planos topográficos.

Se realizó los planos de las secciones del río levantadas en campo, es decir, las curvas de profundidad, secciones transversales, parámetros hidráulicos, entre los principales.

3.3.3.5 Medición de caudal por el método acústico Doppler (ADCP)

El ADCP es uno de los ejemplos de avance de la tecnología en el campo de las mediciones, es un equipamiento acústico de medición de caudal que utiliza el

efecto Doppler (cambio observado en la frecuencia de una onda cualquiera resultante del movimiento relativo entre la fuente y el observador) transmitiendo pulsos sonoros de frecuencia fija y escuchando el eco que retorna de las partículas en suspensión (sedimentos). Estos materiales, en promedio, se mueven con la misma velocidad de la masa del agua en que se encuentran. Un importante avance en hidrometría es el uso de los correntómetros basados en la tecnología Doppler, equipos que inicialmente fueron diseñados para monitorear corrientes marinas, luego para realizar aforos en grandes ríos y actualmente existen en el mercado equipos que permiten realizar aforos en ríos cada vez más pequeños. Tales equipos permiten obtener rápidamente una lectura de la distribución de velocidades en la sección de aforo, discretizada en celdas de un tamaño predefinido, y además viene implementado con un software que permite, entre otras funciones, visualizar los resultados mientras se realiza la medición; los datos que genera son de calidad, y su implementación y operación es sencilla.

A continuación, se describen los pasos seguidos para realizar las mediciones hidrológicas con el ADCP RIVERRAY o SONTEK:

- Realizar actividades previas al trabajo de campo: Como recomendación, hacer una lista de chequeo que contemple revisar baterías (del ADCP y de los dispositivos móviles de recepción de datos), herramientas, barco y accesorios del mismo, sogas o elemento de traslación del barco (en caso de que no sea autopropulsada), etc. La comisión precisa de al menos tres operarios, dos para mover el barco con el equipo de lado a lado, y uno que maneje el equipo de recepción (computadora portátil).
- Selección de la sección a aforar con buena accesibilidad, ya sea para operar el instrumento desde las márgenes y/o desde los puentes.
- Armado del instrumental: colocación del ADCP junto con el módulo de energía y comunicación y el receptor GPS sobre la embarcación.

- Parametrización del instrumental utilizando el programa computacional específico incorporando los datos requeridos que son específicos de cada localización (declinación magnética, sumergencia del perfilador, etc).
- Calibración de la brújula del instrumento para que el equipo pueda deslizar las correcciones de posición frente a los balanceos y cabeceos de la embarcación.
Colocación de la embarcación (junto con todo el instrumental) en un margen del río.
- Realización de al menos 4 transectas o cruces desde las márgenes o desde puentes, manteniendo constante la velocidad y dirección de la embarcación, obteniendo así las velocidades, y profundidades de flujo que permiten determinara caudales en cada cruce. El valor adoptado se obtiene promediando los valores de los 4 cruces realizados.
- Al realizar los transectas, debe mantenerse la velocidad de la embarcación constante a fines de que las mediciones no se vean afectadas. Es importante también lograr que en la velocidad de avance de la embarcación o sistema de flotación sea siempre menor a la velocidad de agua, de tal forma que el error relativo sea el mínimo posible.
- No siempre se puede acceder a ambas márgenes del río, o bien llegar por tierra a una de ellas no es viable por el tiempo que requiere. En dichos casos, es necesario contar con un bote capaz de transportar personas de lado a lado del río.

3.3.3.6 Granulometría de fondo

Se realizó un muestro de sedimentos de fondo en la sección principal ubicada frente al puerto artesanal pesquero de Punchana, el análisis granulométrico fue realizado en los laboratorios de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad Científica del Perú. La fecha de realización fue el 22 de febrero

del 2023. El objetivo es determinar el diámetro promedio de las partículas de una muestra de fondo, que interviene con los procesos de sedimentación y erosión del área de estudio. Seguido bajo la norma ASTM D421 422, 1140, 2216.

3.3.3.7 Caudal de diseño

El embarcadero del Puerto Artesanal Pesquero de Punchana, se encuentra actualmente en las orillas del río Itaya, a exactamente 1.5 Km de su desembocadura sobre el río Amazonas, sobre ella se ubica actualmente la estación Hidrológica H-Enapu Perú que provee información de niveles diarios del río. Para el análisis de los caudales se trabajó con los datos de caudales de la estación H-Tamshiyacu. Los ríos amazónicos debido a su baja pendiente tienen un desplazamiento lateral y un desplazamiento vertical a lo largo de los años. En este caso, la influencia del río Amazonas es notoria, debido a la diferencia de volúmenes entre ambos ríos.

3.3.3.8 Estimación de la socavación

La determinación de la socavación general se basa en fundamentos teóricos y experimentales, es decir, se utilizan formulaciones semiempíricas. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las formulaciones más utilizadas para el cálculo de la profundidad media de socavación a largo plazo en lechos no cohesivos. Para suelos heterogéneos (diferentes estratos), con el fin de obtener información más clara del fondo del cauce luego de una avenida extraordinaria, es necesario calcular de la profundidad de socavación en diferentes puntos en la sección transversal del cauce. Los suelos heterogéneos pueden estar compuestos de material cohesivo y no cohesivo. (Castro Delgado, Hidalgo Bustamante, Valencia Bonilla, Toapaxi Alvarez, & Galiano Ayala, 2015).

a) Método de Maza (1973)

Se utilizó la ecuación de Masa & Echevarría, donde es importante conocer el ancho del río (B), el caudal de diseño (Q) y el diámetro de la partícula ($d_{50}^{0.199}$), ver tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones para el cálculo de la socavación general a largo plazo en cauces naturales

SOCAVACIÓN GENERAL (A LARGO PLAZO)		
AUTOR	ECUACIÓN	OBSERVACIONES
Lacey (1930)	$h_{ms} = 0,389 \left(\frac{Q^{1/3}}{d_m^{1/6}} \right)$	
Blench (1969)	Para arenas de $0,06\text{mm} < d_{50} < 2\text{mm}$ $h_{ms} = 1,200 \left(\frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/6}} \right)$	Basado en estudios de ríos de grava gruesa
	Para arenas de $d_{50} > 2\text{mm}$ $h_{ms} = 1,230 \left(\frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/12}} \right)$	
Maza & Echevarría (1973)	$h_{ms} = 0,365 \left(\frac{Q^{0,784}}{B^{0,784} d_{50}^{0,157}} \right)$	Basado en alcances de varios autores, incluyendo estudios en Sudamérica d_{50} en (m)
Lischtvan & Lebediev (-)	$h_{ms} = 0,333 \left(\frac{q^{0,710}}{d_{50}^{0,199}} \right)$	Válido para el rango de las arenas d_{50} en (m)
Kellerhals (-)	$h_{ms} = 0,470 \left(\frac{q^{0,800}}{d_{90}^{0,120}} \right)$	Válido para lechos de grava d_{90} en (m)

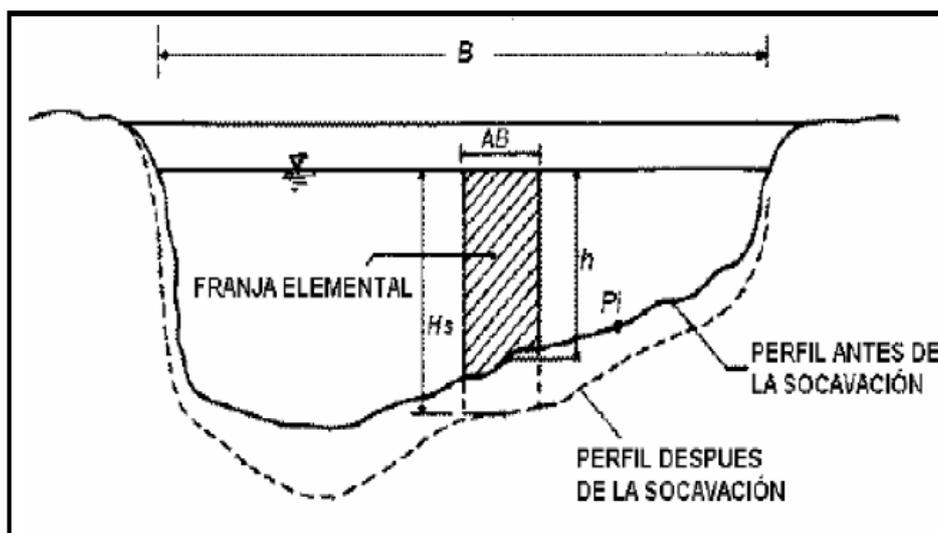
- B:** Ancho de la superficie del agua (m)
 $d_m, 50, 90$: Diámetro medio, diámetro donde el 50% y 90% del material es fino, respectivamente (mm)
 h_{ms} : Profundidad media de socavación (m)
Q: Caudal de diseño (m^3/s)
q : Caudal de diseño ($\text{m}^3/\text{s.m}$)

b) Método de Lischtvan - Lebediev

El método propuesto por Lischtvan - Lebediev es el más usado en nuestro país para el cálculo de la socavación general incluyendo el efecto de la contracción de un puente. Se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente (V_r) y la velocidad media erosiva (V_e). La velocidad erosiva no es la que da inicio al movimiento de las partículas en suelos sueltos, sino la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material del fondo. Si el suelo es cohesivo, es la velocidad que es capaz de levantar y poner el sedimento en suspensión. La velocidad erosiva está en función de las características del sedimento de fondo y de la profundidad del agua. La velocidad real está dada principalmente en función de las características del

río: pendiente, rugosidad y tirante o profundidad del agua. El método se basa en suponer que el caudal unitario correspondiente a cada franja elemental en que se divide el cauce natural, ver gráfico N°03, permanece constante durante el proceso erosivo y puede aplicarse, con los debidos ajustes, para casos de cauces definidos o no, materiales de fondo cohesivos o friccionantes y para condiciones de distribución de los materiales del fondo del cauce homogénea o heterogénea (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2015)

Gráfico 3.- Esquema del perfil de socavación de un cauce



Fuente: Rodriguez (1992)

Cuadro 1.- Factor de contracción de cauce

V (m/s)	Luz libre (m)													
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200	
<1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.0	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
2.0	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
3.0	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
>4.0	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99

(FUENTE: Juárez Badillo E. y rico Rodríguez A., 1992)

V : Velocidad media en la sección transversal.

μ : 1.0, si no hay obstáculos.

Para puentes de una sola luz, la luz libre es la distancia entre estribos. Para puentes de varios tramos, la luz libre es la mínima distancia entre dos pilares consecutivos, o entre el pilar y estribo más próximos.

Adicionalmente, el efecto del peso específico del agua durante la creciente se considera en otro factor de corrección ϕ que es mayor o igual que la unidad y su efecto es reducir la profundidad de socavación.

$$\phi = 1.0, \text{ si } \gamma_m = 1.0 \text{ T/m}^3 \text{ (agua clara)}$$

γ_m : Peso específico de la muestra agua sedimento.

$$\phi = -0.54 + 1.5143\gamma_m, \text{ si } \gamma_m > 1.0 \text{ T/m}^3 \text{ (Lecho móvil)}$$

La ecuación final para el cálculo de la socavación considerando los coeficientes de corrección por contracción y peso específico de agua, es la siguiente:

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta \mu \phi D_m^{0.28}} \right]^{1/z}$$

Dónde:

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.

a.1) Para suelos cohesivos

Considerando los coeficientes de corrección por contracción y peso específico del agua durante crecientes, se tiene:

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0.60 \beta \mu \phi \gamma_s^{1.18}} \right]^{1/x}$$

Dónde:

Hs-h: Profundidad de socavación (m)

h : Tirante de agua (m)

γ_s : Peso específico del sedimento del lecho (T/m³)

β : Coeficiente de frecuencia.

μ : Factor de corrección por contracción del cauce.

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

c) Método de Straub

La siguiente expresión se usa para tener un estimativo del posible descenso que sufrirá el fondo del cauce debido a una reducción en su sección transversal.

$$H_s = \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{0.642} h_1$$

Dónde:

Hs-h1: Profundidad de socavación (m)

B1: Ancho de la superficie libre del cauce aguas arriba de la contracción (m)

B2: Ancho de la superficie libre del cauce en la contracción (m)

h1: Tirante de agua hacia aguas arriba de la contracción (m)

CAPITULO 4: RESULTADOS

4.1 Área de estudio

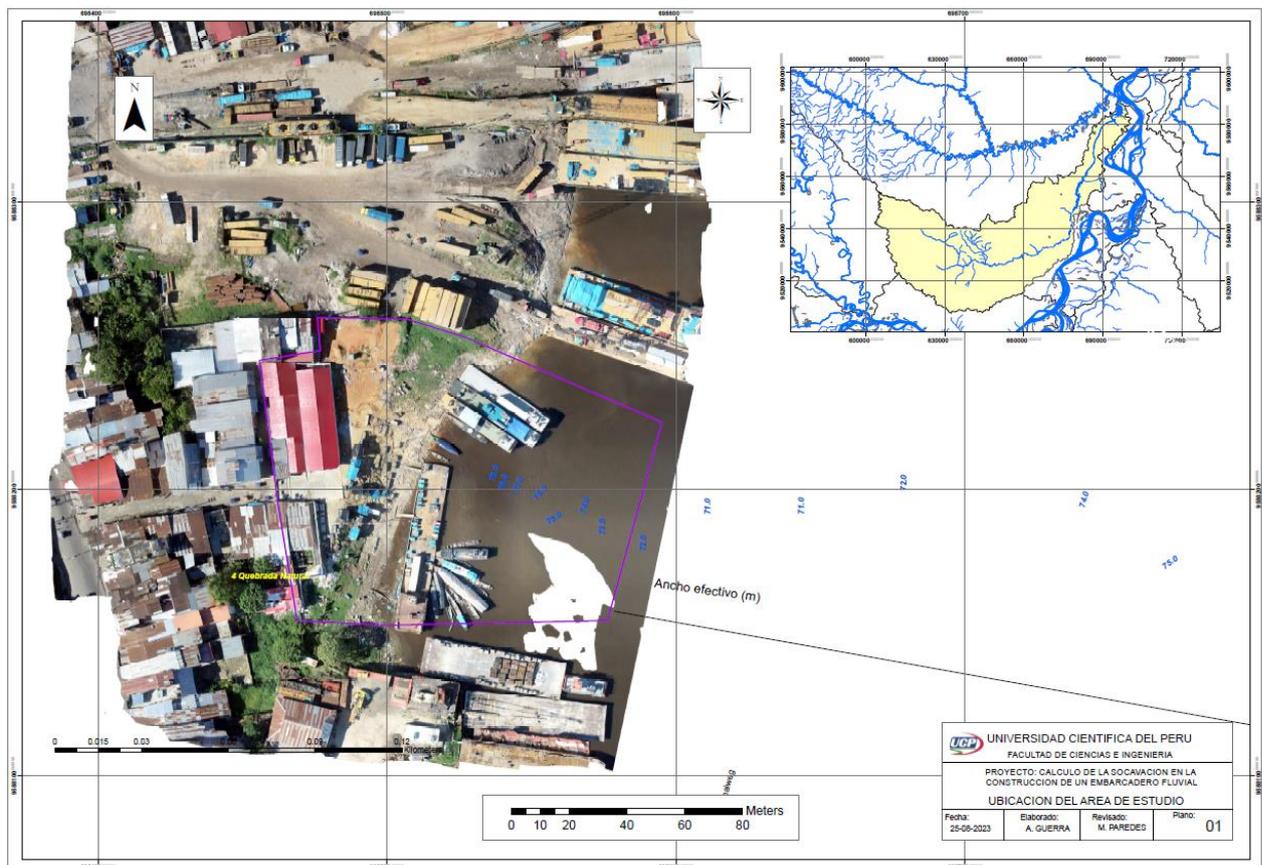
La zona de investigación está centrada en el distrito de Punchana, provincia de Maynas, departamento de Loreto.

Geográficamente ubicado en

Latitud: 04°30'47" S

Longitud: 73°54'21" O

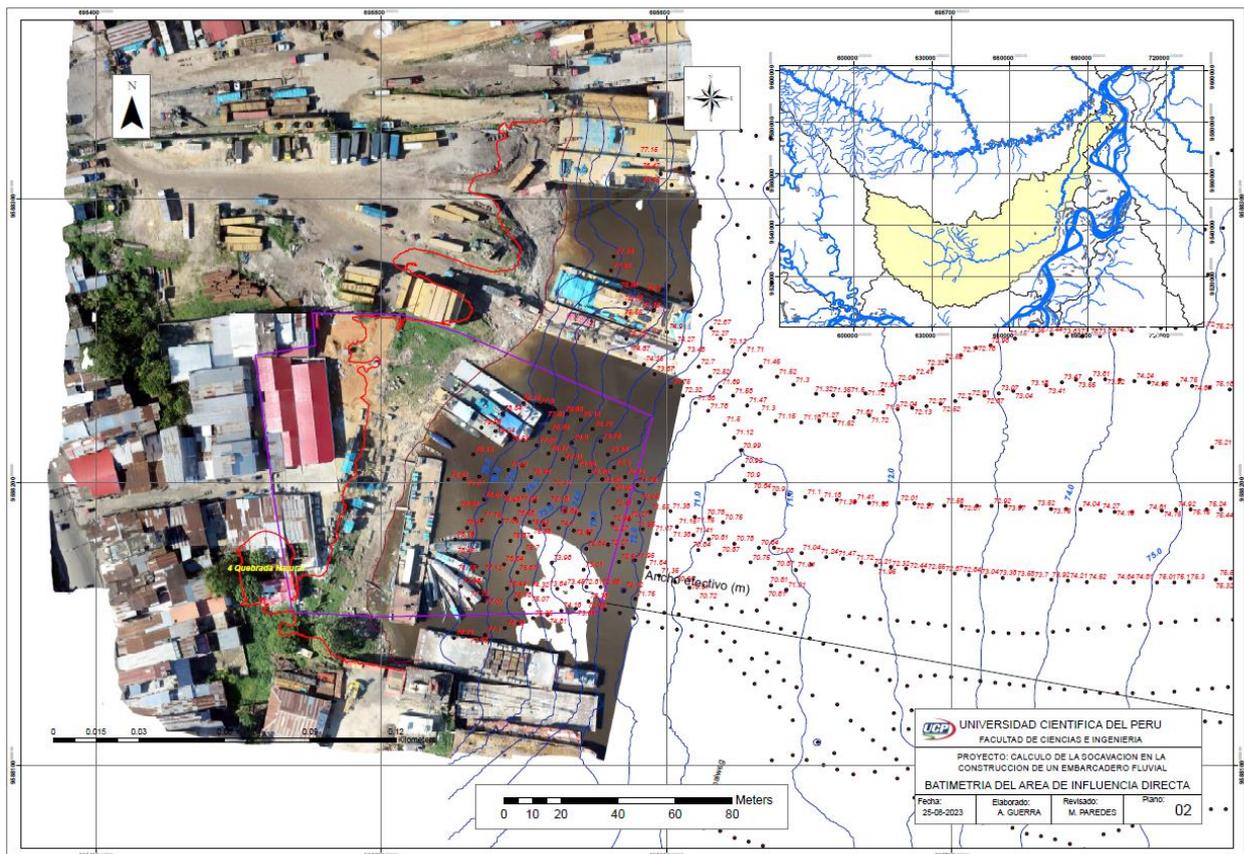
Gráfico 4.- Ubicación del área de estudio



4.2 Batimetría de la zona

La batimetría fue realizada el 08 y 09 de febrero del 2023, en el área determinada para el futuro embarcadero artesanal de Punchana, los resultados se presentan en el grafico N° 05.

Gráfico 5.- Batimetría de la zona de estudio



4.3 Seccionamiento

Gráfico 6.- Ubicación de las Secciones transversales, río Itaya



Cuadro 2.- Resumen de las características hidráulicas del río Itaya-Muelle Artesanal Pesquero

Resultados	
Ancho (m)	492.14
Area (m ²)	3261.23
Velocidad (m/s)	0.04
Total Q (m ³ /s)	115.41
Profundidad media (m)	6.70
profundidad máxima (m)	11.03

Cuadro 3.- Características Hidráulicas del río Itaya frente a Muelle Artesanal Pesquero (09/02/23)

Transecto	Nombre	Fecha	Resultado			
			Ancho (m)	Area (m2)	Velocidad (m/s)	Total Q (m3/s)
1	20230209123651r.rivr	2/09/2023	500.99	3 380.15	0.033	112.02
4	20230209125352r.rivr	2/09/2023	483.29	3 142.31	0.038	118.80
Promedio			492.14	3 261.23	0.035	115.41

Gráfico 7.- sección transversal de la estación H-Muelle Artesanal (09/02/2023) sobre el río Itaya

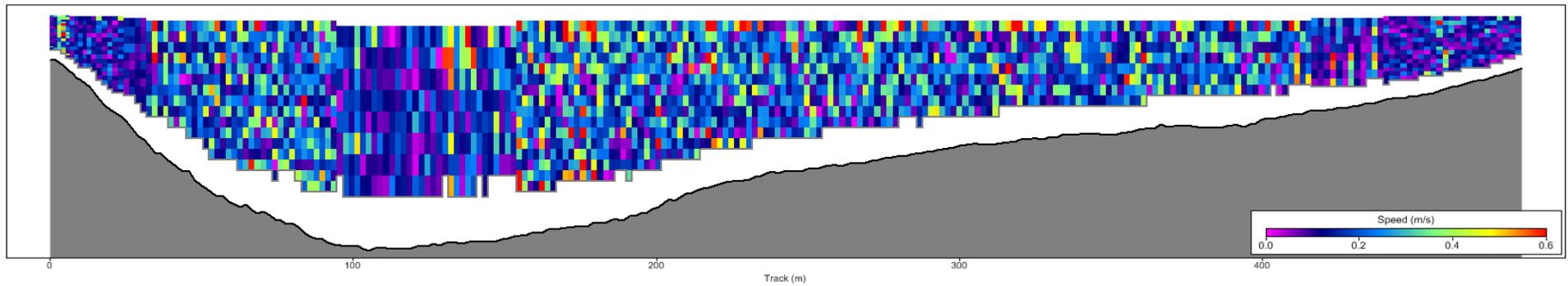
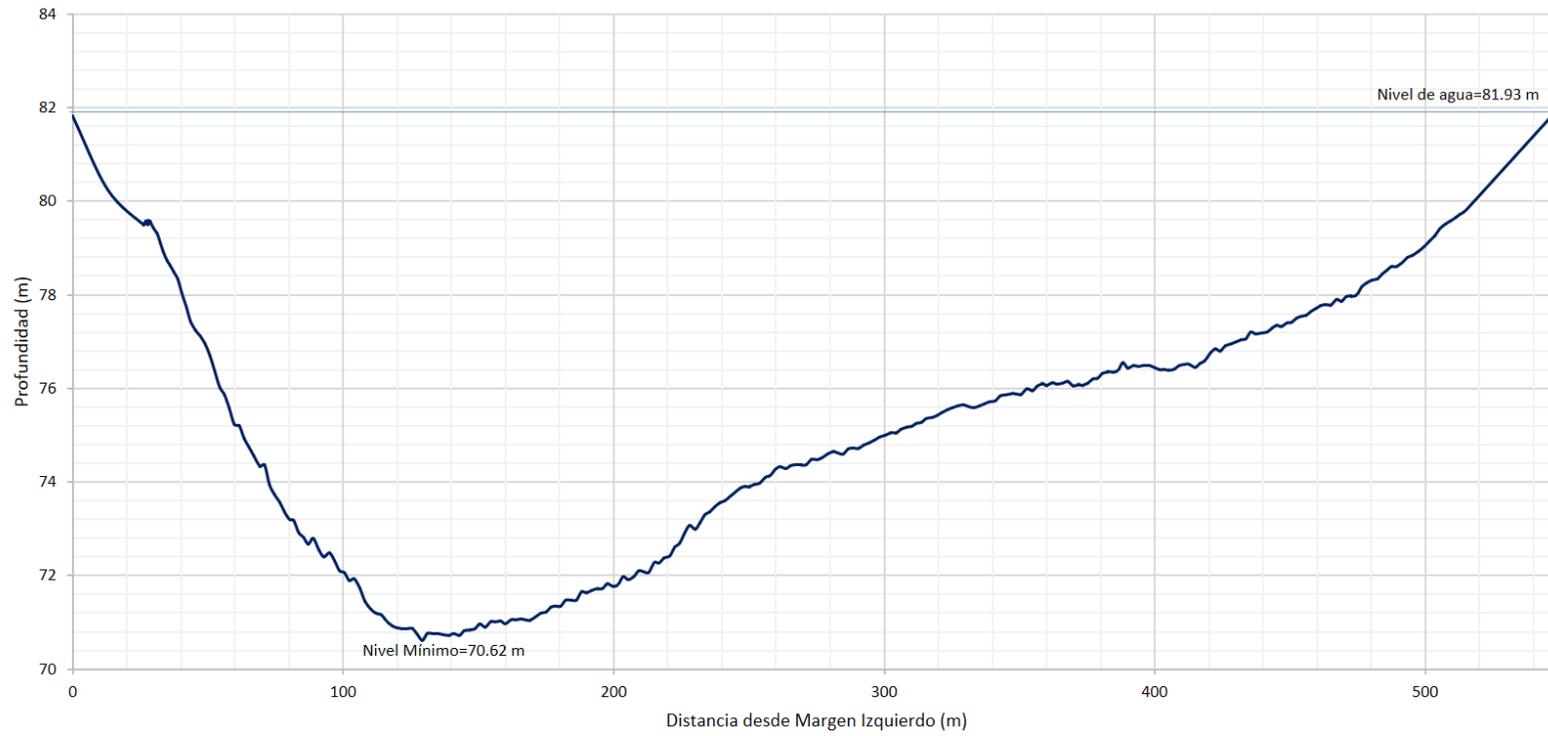


Gráfico 8.- sección transversal completa del río Itaya – Muelle Artesanal (09/02/2023)



Sección transversal 2

La velocidad promedio de la sección aguas arriba del área de estudio (referencia frente a Enapu Perú) es de 0.03 m/s, con un ancho de 336 m y una profundidad máxima 14.93 m, ver el cuadro siguiente:

Cuadro 4.- Resumen de las características hidráulicas del río Itaya-Enapu Perú (09/02/2023)

Resultados	Valor
Ancho (m)	335.39
Area (m ²)	3100.87
Velocidad (m/s)	0.03
Total Q (m ³ /s)	91.99
Profundidad media (m)	9.40
profundidad máxima (m)	14.93

Cuadro 5.- Características Hidráulicas del río Itaya frente a Enapu Perú (09/02/2023)

Resultados						
Transecto	Nombre	Fecha	Ancho (m)	Area (m2)	velocidad (m/s)	Total Q (m3/s)
2	20230209114338r.rivr	2/09/2023	336.487	3 135.30	0.027	84.372
5	20230209115540r.rivr	2/09/2023	319.301	2 981.54	0.033	98.727
6	20230209121153r.rivr	2/09/2023	349.567	3 197.28	0.03	95.312
8	20230209122033r.rivr	2/09/2023	336.219	3 089.38	0.029	89.541
Promedio			335.394	3 100.87	0.03	91.988

Gráfico 9.- sección transversal de la estación H-Enapu Perú (09/02/2023)

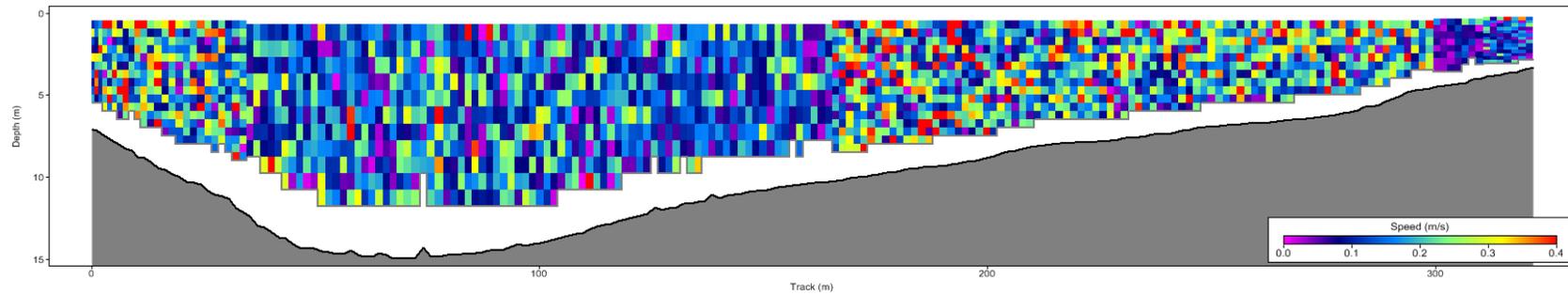
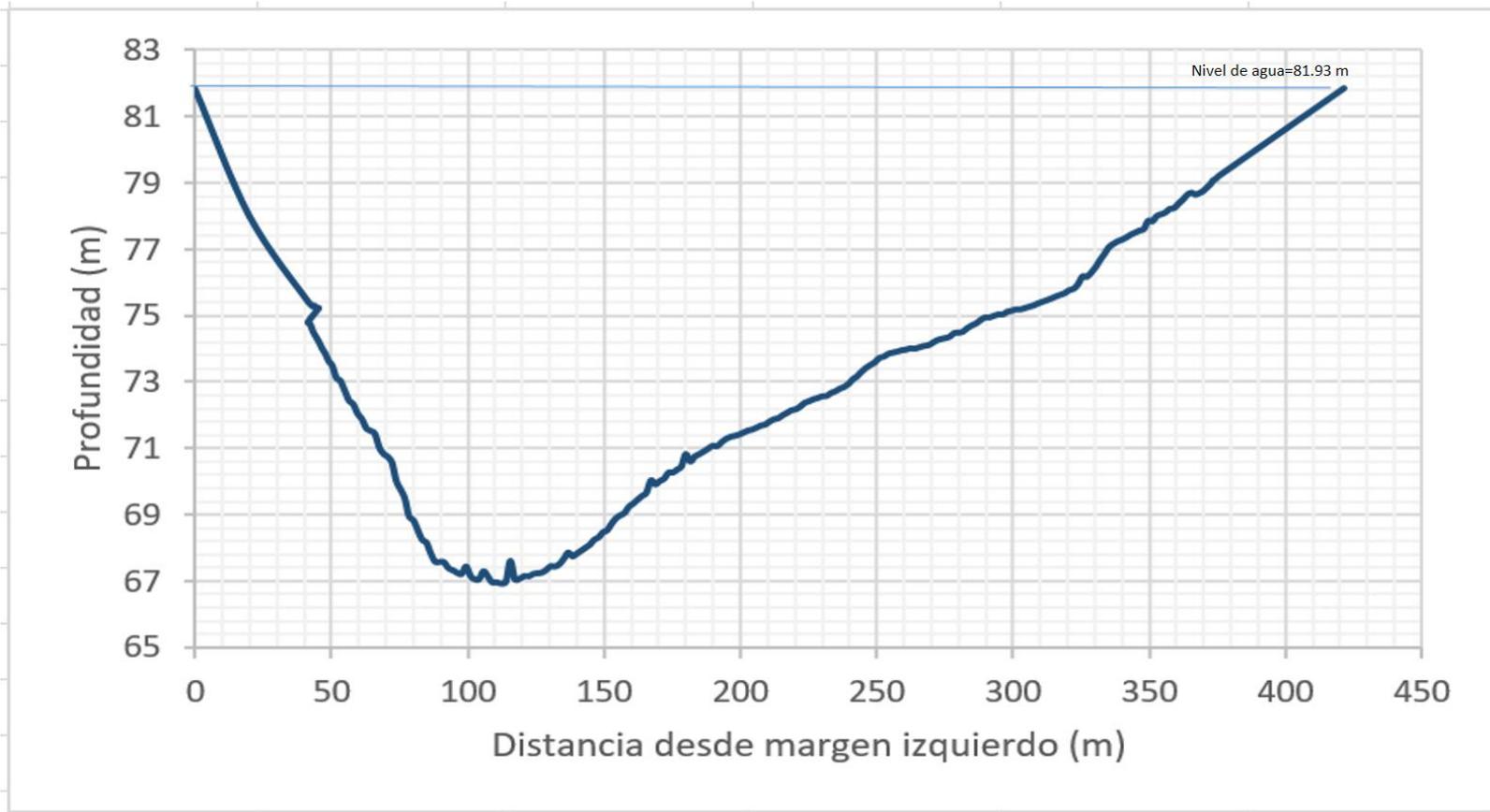


Gráfico 10.- sección transversal completa del río Itaya – Enapu Perú (09/02/2023)



Sección transversal 3

La velocidad promedio de la sección frente al puerto Morochita, aguas abajo del área de influencia directa 0.040 m/s, con un ancho de 479 m y una profundidad máxima 8.70 m, ver el cuadro siguiente:

Cuadro 6.- Resumen de las características hidráulicas del río Itaya-Puerto Morochita (09/02/2023)

Resultados	
Ancho (m)	479.377
Area (m ²)	2 444.78
Velocidad (m/s)	0.043
Total Q (m ³ /s)	104.804
Profundidad media (m)	5.42
profundidad máxima (m)	8.7

Cuadro 7.- Características Hidráulicas del río Itaya frente a Puerto Morochita (09/02/2023)

			Resultado			
Transecto	Nombre	Fecha	Ancho (m)	Area (m2)	Velocidad (m/s)	Total Q (m3/s)
1	20230209130821r.rivr	2/09/2023	464.282	2 419.83	0.049	118.814
2	20230209131258r.rivr	2/09/2023	483.322	2 419.10	0.04	97.254
4	20230209132213r.rivr	2/09/2023	490.528	2 495.40	0.039	98.344
Promedio			479.377	2 444.78	0.043	104.804

Gráfico 11.- sección transversal de la estación H-Morochita (febrero del 2023)

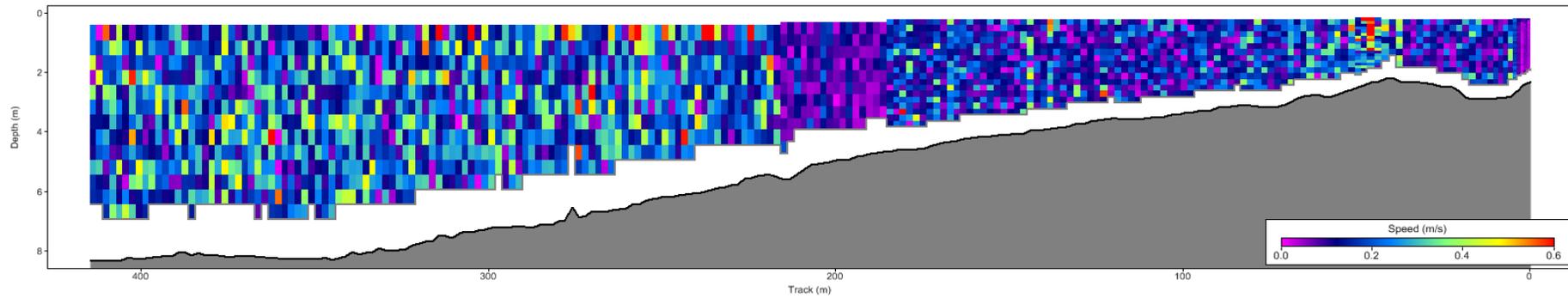
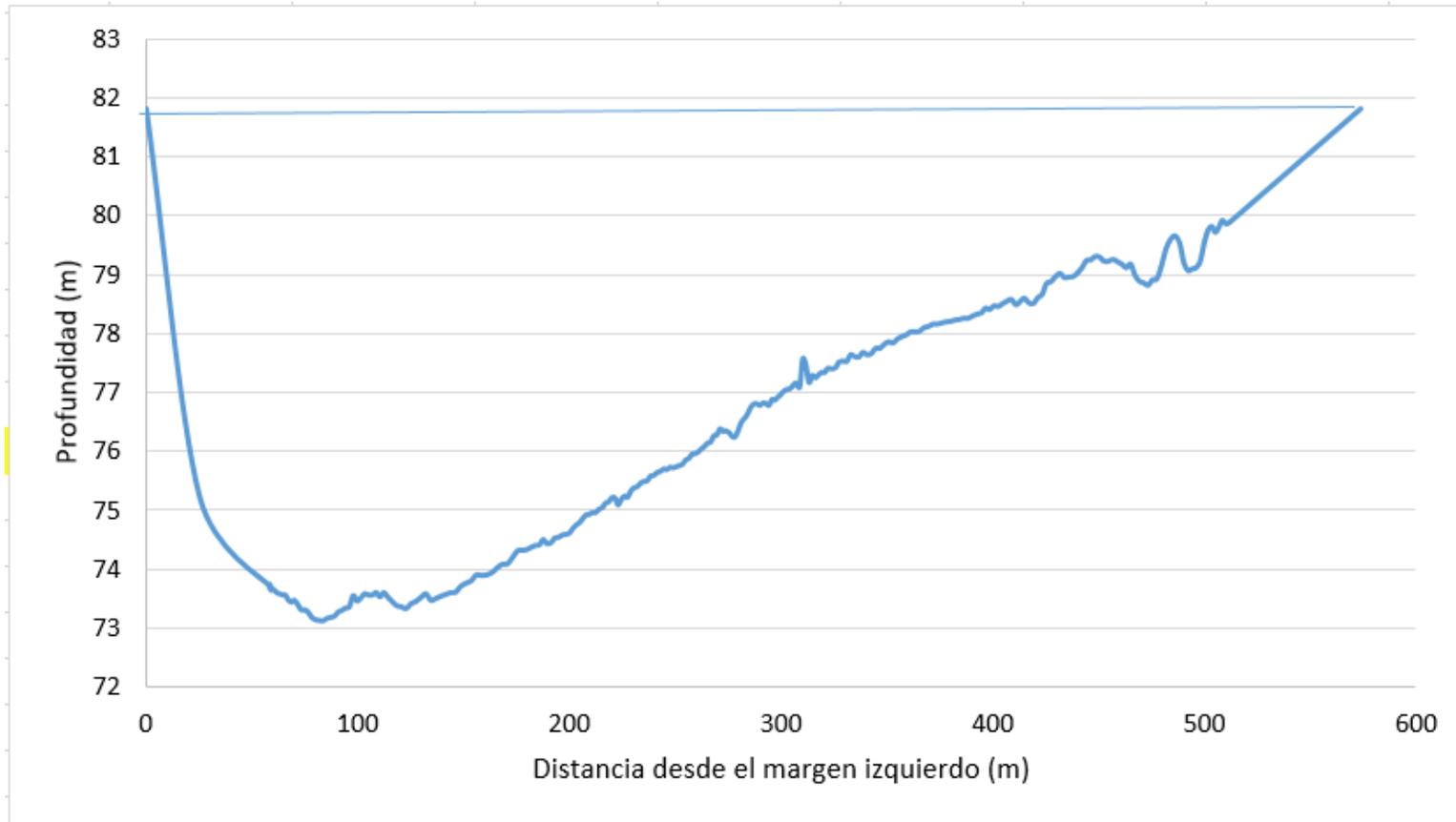


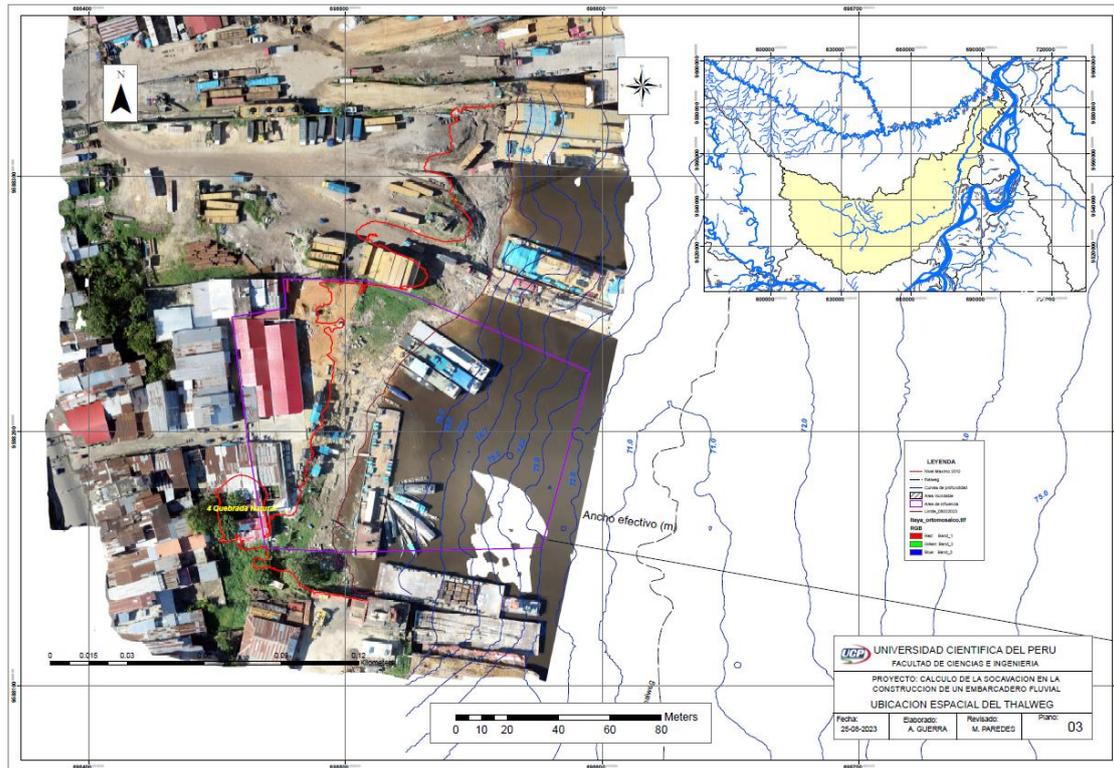
Gráfico 12.- sección transversal completa del río Itaya – Morochita (09/02/2023)



4.4 Thalweg

De las secciones obtenidas por medio de batimetría, se ha determinado el thalweg, el cual se puede apreciar en el gráfico siguiente:

Gráfico 13.- Ubicación espacial del Thalweg en la zona de estudio

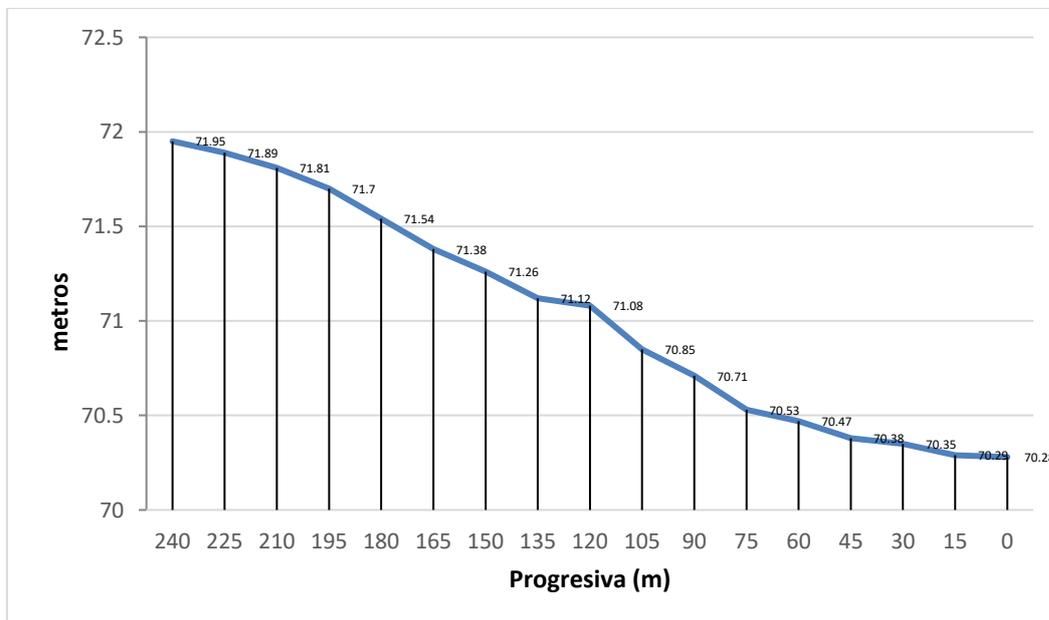


Cuadro 8.- Profundidad del Thalweg en el río Itaya (sector de estudio)

DISTANCIA (m)	Progresiva (m)	Cota (m)
0	0+000	70.28
15	0+015	70.29
30	0+030	70.35
45	0+045	70.38
60	0+060	70.47
75	0+075	70.53
90	0+090	70.71
105	0+105	70.85
120	0+120	71.08
135	0+135	71.12
150	0+150	71.26
165	0+165	71.38
180	0+180	71.54
195	0+195	71.70

210	0+210	71.81
225	0+225	71.89
240	0+240	71.95

Gráfico 14.- Perfil longitudinal del thalweg - sector de estudio



4.5 Caudal de Diseño

Para evaluar el caudal de diseño, se tuvo que tomar la información de las estaciones hidrológicas H-Enapu Perú y H-Itaya, pertenecientes a la red de estaciones del SENAMHI en Loreto. Ambas proporcionan información de niveles del río en forma diaria.

Cuadro 9.- Estaciones Hidrológicas en la zona de estudio

Estación	Periodo de registro	Ubicación	Latitud	Longitud
H-Enapu Perú	1985-2023	Punchana		
H-Itaya	2020-2023	Belén		

En cuanto al caudal máximo se analizaron dos opciones:

- a) Caudal del río Amazonas (que viene a ser el mismo que llega a Enapu)
- b) Caudal del río Itaya

Gráfico 15.- caudales del río Itaya-Estación H-Itaya

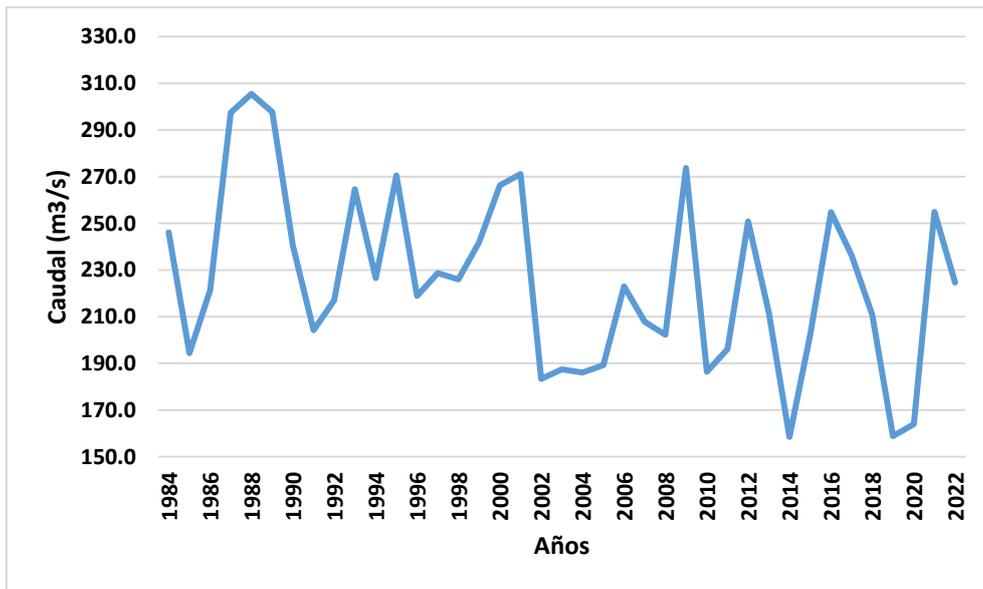
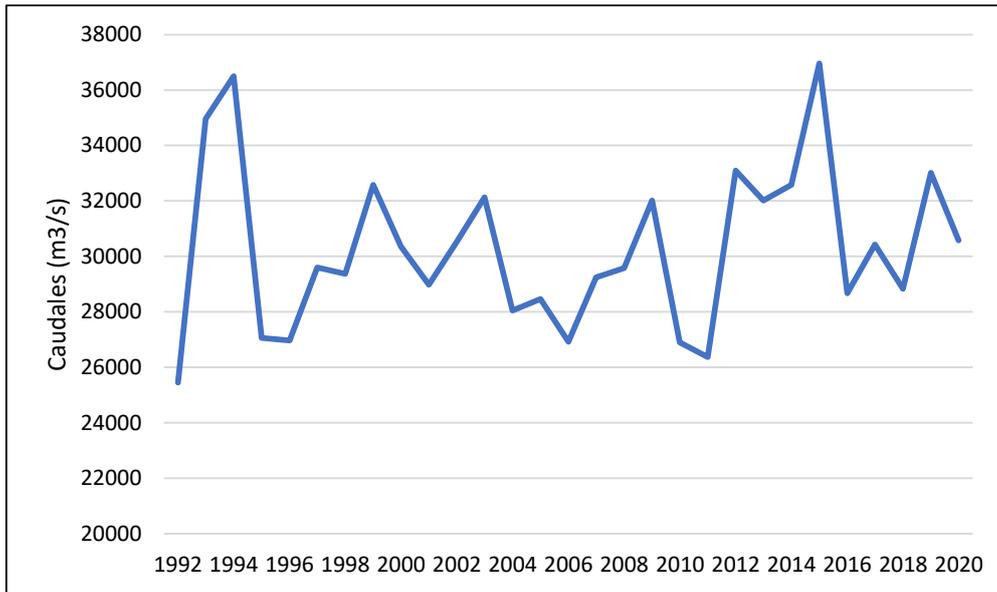


Gráfico 16.- Esquema de los flujos en la zona de estudio



Gráfico 17.- caudales del río Amazonas-Estación H-Tamshiyacu



Fuente: SENAMHI

Cuadro 10.- Caudales Medios del río Itaya y Amazonas

Estación	Río de Control	Caudal Medio (m3/s)	Relación
H-Enapu Perú	Amazonas	30296.78	-----
H-Itaya	Itaya	217.30	0.7%

Fuente: SENAMHI

En vista de la proximidad de ambos ríos, la desembocadura esta a 1.5 Km, la diferencia de volúmenes es elevada lo que ocasiona el proceso conocido como remanso, es decir, que el río Amazonas ingresa sobre el cauce del Itaya, ocasionando un sistema frontal que se van anulando las velocidades, por ello, se tuvo que añadir el factor análisis de niveles del río, que es común para ambos y es controlada en la estación H-Enapu Perú.

4.5.1 Caudales Máximos en el Punto Base

El cuadro 11, resume los caudales pico para diferentes periodos de retorno obtenidos para la cuenca del río Itaya hasta la ubicación de la estación hidrométrica H-Itaya.

Cuadro 11.- Caudal Máximo, río Itaya, H -Itaya (m3/s)

Periodo de Retorno (Años)	Caudal (m3/s)
2	222.59
5	256.54
10	276.30
25	299.05
50	314.73
100	329.54
200	343.70

4.5.2 Método Fuller

Para el diseño de estructuras de protección o control de inundaciones se requiere caudales máximos instantáneos, razón por la cual se empleó el método de Fuller, a partir de datos calculados con el método estadístico.

Cuadro 12.- Caudal Máximo de Diseño (Fuller) (m³/s)

Periodo de Retorno (Años)	Log Pearson III	Área (Km2)	Qinst(m3/s)
2	222.59	2653.94	285.1
5	256.54	2653.94	328.6
10	276.3	2653.94	353.9
25	299.05	2653.94	383.0
50	314.73	2653.94	403.1
100	329.54	2653.94	422.1
200	343.7	2653.94	440.2

4.6 Niveles del río Itaya

La información de niveles de la estación Hidrológica H-Enapu Perú, ubicada en el distrito de Punchana dentro de los ambientes de la Empresa Nacional de Puertos del Perú y tiene un registro continuo por mas de 40 años y esta muy cercano al embarcadero motivo de estudio.

4.7 Curva de Permanencia de Niveles

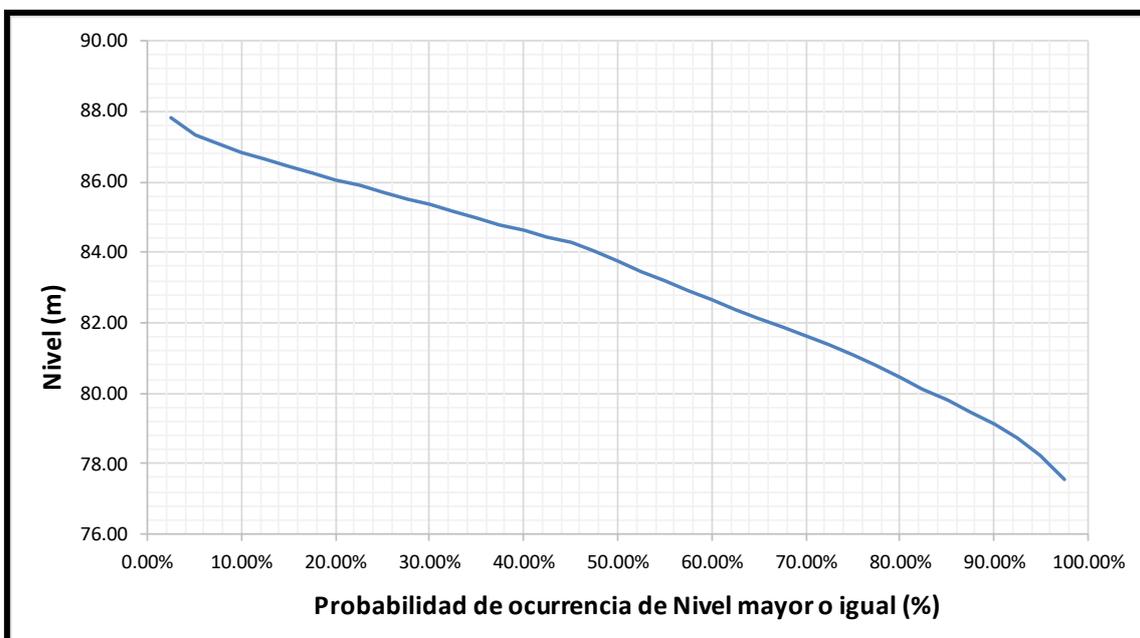
Para nuestro caso, en el caso de los ríos de selva baja, en especial, el Amazonas se trabaja con niveles de inundación, para ello, el siguiente cuadro presenta la clasificación para la determinación de curva de permanencia de los niveles del río en la estación de control H-Enapu Perú.

Cuadro 13. Datos de Clases para Histograma de Niveles, H-Enapu Perú

% Ocurrencia	Nivel (msnm)	Nivel geoidal (m)
97.50%	107.71	77.55
95.00%	108.38	78.22
92.50%	108.89	78.73
90.00%	109.29	79.13
87.50%	109.65	79.49
85.00%	109.98	79.82
82.50%	110.28	80.12
80.00%	110.60	80.44
77.50%	110.94	80.78
75.00%	111.25	81.09
72.50%	111.52	81.36
70.00%	111.79	81.63
67.50%	112.04	81.88
65.00%	112.27	82.11
62.50%	112.54	82.38
60.00%	112.81	82.65
57.50%	113.06	82.90
55.00%	113.35	83.19
52.50%	113.62	83.46
50.00%	113.92	83.76
47.50%	114.20	84.04
45.00%	114.43	84.27
42.50%	114.60	84.44
40.00%	114.77	84.61
37.50%	114.95	84.79
35.00%	115.12	84.96
32.50%	115.31	85.15
30.00%	115.50	85.34
27.50%	115.69	85.53
25.00%	115.86	85.70
22.50%	116.04	85.88
20.00%	116.22	86.06
17.50%	116.42	86.26
15.00%	116.62	86.46
12.50%	116.81	86.65
10.00%	117.02	86.86

7.50%	117.22	87.06
5.00%	117.48	87.32
2.50%	117.96	87.80

Gráfico 18.- Curva de permanencia de Niveles del río, H-Enapu Perú



Asimismo, en el análisis de máximos niveles para diferentes periodos de retorno, se establece que el nivel para 50 y 100 años son 89.04 m y 89.31 m respectivamente, no sobrepasando la cota 90.00 m.

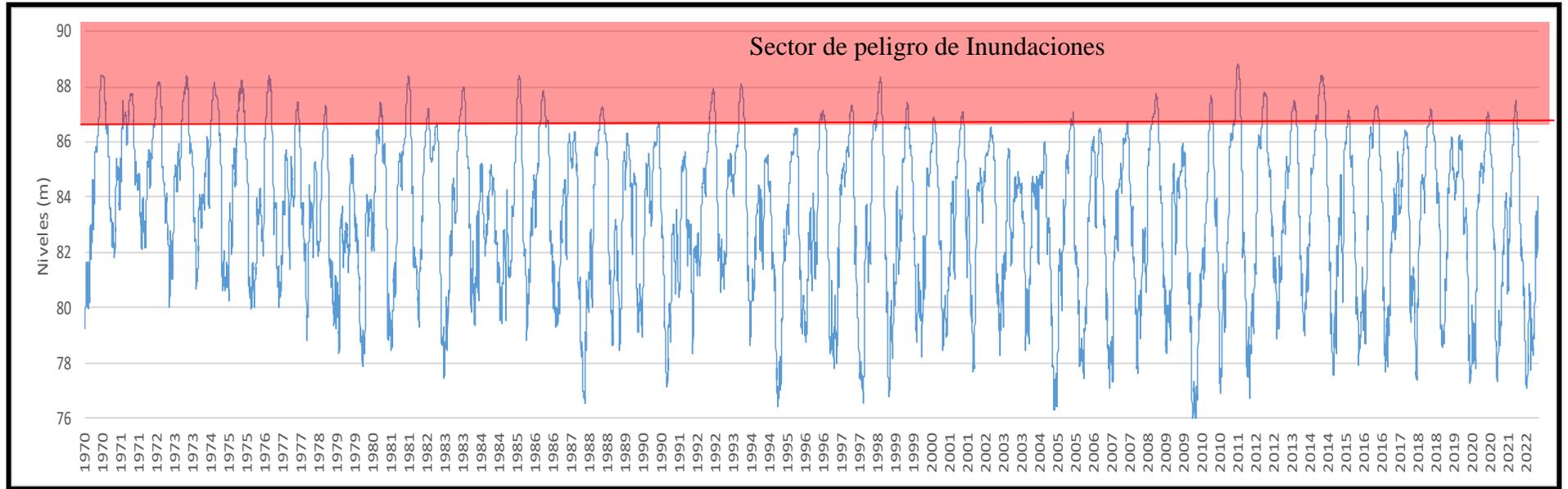
Cuadro 14.- Periodos de retorno (Tr) Niveles máximos (m)

Distribución	Tr=25 años	Tr=50 años	Tr=100 años
Normal	88.74	89.04	89.31
Gamma	88.74	89.04	89.31
Normal (L-Moments)	88.74	89.03	89.30
LogNormal	88.76	89.06	89.34
Pearson III	88.95	89.38	89.79
Log Pearson III	88.99	89.44	89.86
EV1-Max (Gumbel)	89.04	89.58	90.12

Cuadro 15.- Prueba de Bondad Kolmogorov-Smirnov, Niveles

Kolmogorov-Smirnov test for:All data	$\alpha=1\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=10\%$	Attained α	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.06%	0.09993
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.06%	0.09993
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	74.70%	0.10219
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	76.95%	0.10004
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	32.52%	0.14441
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.99%	0.14904
EV I-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	16.15%	0.1706

Gráfico 19.- Hidrograma de Niveles H-Enapu Perú mostrando el límite de peligro



Cuadro 16.- Niveles del Itaya-sector Belén

NIVELES MINIMOS MEDIOS DEL RIO ITAYA (m)														
			ESTACION: H-ITAYA						DEPARTAMENTO: LORETO					
			LATITUD: 03°45'59.24"S						PROVINCIA: MAYNAS					
			LONGITUD: 73°45'7.76"W						DISTRITO: SAN JUAN BAUTISTA					
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MINIMA	
2021	83.87	84.57	84.70	86.13	86.20	84.96	81.96	77.71	77.40	78.72	80.76	82.91	77.40	
2022	80.66	82.12	83.80	86.41	86.58	83.21	81.84	79.92	77.33	77.24	77.88	78.40	77.24	
2023	78.94	82.02	84.16										78.94	
MIN ABS	78.94	82.02	83.80	86.13	86.20	83.21	81.84	77.71	77.33	77.24	77.88	78.40	77.24	
MEDIA MII	81.16	82.90	84.22	86.27	86.39	84.09	81.90	78.82	77.37	77.98	79.32	80.66	81.76	
Fuente: Banco de datos SENAMHI														
NIVELES MAXIMOS MEDIOS DEL RIO ITAYA (m)														
			ESTACION: H-ITAYA						DEPARTAMENTO: LORETO					
			LATITUD: 03°45'59.24"S						PROVINCIA: MAYNAS					
			LONGITUD: 73°45'7.76"W						DISTRITO: SAN JUAN BAUTISTA					
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MAXIMA	
2021	85.20	85.41	86.12	87.22	87.24	86.15	84.85	81.73	80.08	80.66	82.79	84.27	87.24	
2022	84.25	84.11	86.35	87.60	87.59	86.55	83.20	81.92	79.75	80.99	81.02	79.56	87.60	
2023	83.65	84.21	85.90										85.90	
MAX ABS	85.20	85.41	86.35	87.60	87.59	86.55	84.85	81.92	80.08	80.99	82.79	84.27	87.60	
MEDIA MII	84.37	84.58	86.12	87.41	87.42	86.35	84.03	81.83	79.92	80.83	81.91	81.92	86.91	
Fuente: Banco de datos SENAMHI														
NIVELES MEDIOS DEL RIO ITAYA (m)														
			ESTACION: H-ITAYA						DEPARTAMENTO: LORETO					
			LATITUD: 03°45'59.24"S						PROVINCIA: MAYNAS					
			LONGITUD: 73°45'7.76"W						DISTRITO: SAN JUAN BAUTISTA					
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MEDIA	
2021	84.74	85.15	85.60	86.79	86.78	85.52	83.01	79.41	78.75	79.54	81.71	83.68	86.79	
2022	81.98	83.30	85.31	87.09	87.11	85.27	82.29	80.80	78.05	78.68	79.66	78.83	87.11	
2023	81.03	83.14	85.12										85.12	
PROMEDIO	82.58	83.86	85.34	86.94	86.95	85.39	82.65	80.11	78.40	79.11	80.68	81.25	86.34	
Fuente: Banco de datos SENAMHI														

4.7 Calculo de la socavación

4.7.1 Método de Maza (1973)

Se utilizó la ecuación de Masa & Echevarría, donde es importante conocer el ancho del río (B), el caudal de diseño (Q) y el diámetro de la partícula ($d_{50}^{0.199}$),

$$B = 820 \text{ m (promedio entre avenida y estiaje)}$$

$$Q = 403.10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$(d_{50}^{0.199}) = 0.0156 \text{ mm (0.0000156 m)}$$

Cuadro 17.- Valores de la Hms socavación natural, río Itaya altura del Mercado

Periodo de Retorno (Años)	Qinst(m ³ /s)	d50 (mm)	B(m)	Hms(m)
---------------------------	--------------------------	----------	------	--------

2	285.1	0.0156	820	0.91
5	328.6	0.0156	820	1.01
10	353.9	0.0156	820	1.07
25	383.0	0.0156	820	1.14
50	403.1	0.0156	820	1.19
100	422.1	0.0156	820	1.23
200	440.2	0.0156	820	1.27

4.7.2 Método de Lischvan - Lebediev

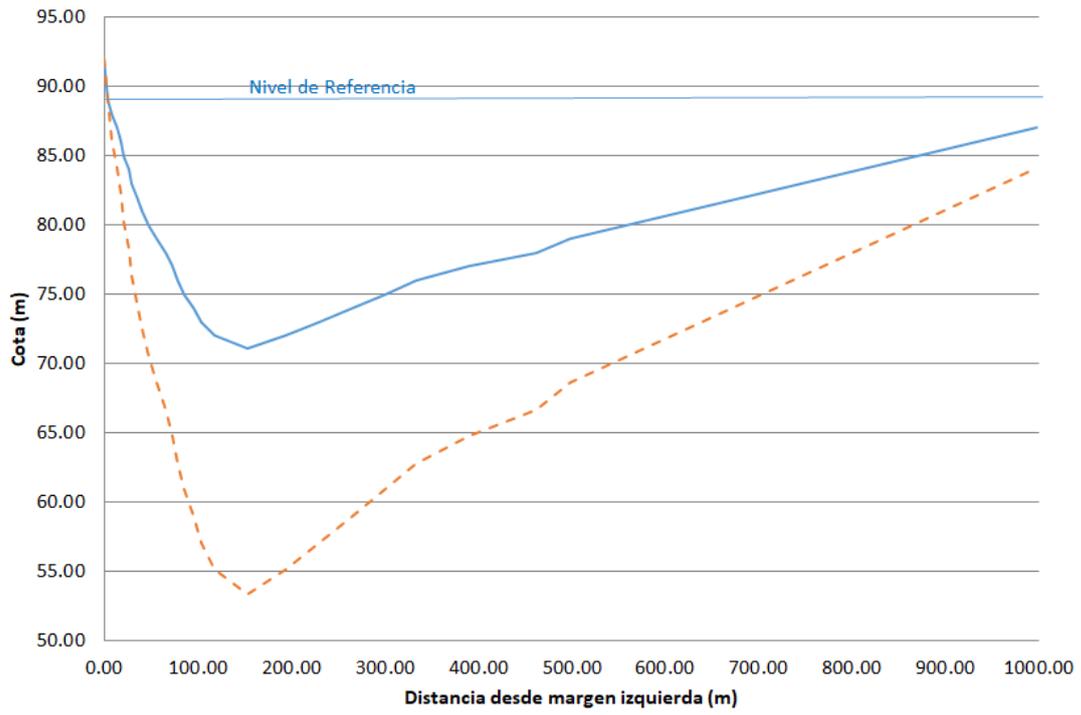
Cuadro 18.- Datos básicos para el cálculo de socavación método Litschvan-Lebediev

d50 =	0.017 mm		
Tr (años)	100		
Qd (m ³ /s)	320		
NAME	88.81 m		
Vm (m/s)	1.5		
γ _s (T/m ³)	1.05	x = 0.42	1/(1+x) = 0.70
Área Hidráulica (m ²)	6500		
Be (m)	820		
Ym (m)	7.927		
Coefficiente de sección, alfa		alfa =	0.01
alfa =			
Coefficiente de frecuencia B para T=100 años. B=0.7929 +0.0973 Ln (T)			
B =	0.99		
		vel <1 y ancho >1000	
u =	1 m		
φ =	2.13		
Para suelos cohesivos		φ = -0.54 + 1.5143 γ _{as}	
Tipo de suelo =	Arcilla de alta plasticidad		

Cuadro 19.- Cálculo de la Socavación Natural por el método de Litschvan-Lebediev

Distancia (m)	Cota (m)	Yo	Ys1	Yo-Ys1	Cota 1 (m)
0.00	92.00	0.00	0.00	0.00	92.00
1.99	90.00	0.00	0.00	0.00	90.00
3.31	89.00	0.00	0.00	0.00	89.00
8.52	88.00	2.00	0.08	1.92	86.08
13.25	87.00	3.00	0.13	2.87	84.13
17.08	86.00	4.00	0.19	3.81	82.19
20.78	85.00	5.00	0.24	4.76	80.24
25.69	84.00	6.00	0.30	5.70	78.30
29.50	83.00	7.00	0.36	6.64	76.36
34.39	82.00	8.00	0.42	7.58	74.42
40.16	81.00	9.00	0.49	8.51	72.49
47.63	80.00	10.00	0.55	9.45	70.55
55.09	79.00	11.00	0.62	10.38	68.62
66.08	78.00	12.00	0.68	11.32	66.68
73.04	77.00	13.00	0.75	12.25	64.75
78.33	76.00	14.00	0.82	13.18	62.82
85.59	75.00	15.00	0.89	14.11	60.89
95.13	74.00	16.00	0.96	15.04	58.96
104.33	73.00	17.00	1.03	15.97	57.03
117.63	72.00	18.00	1.10	16.90	55.10
152.74	71.08	18.92	1.17	17.75	53.33
194.16	72.00	18.00	1.10	16.90	55.10
229.80	73.00	17.00	1.03	15.97	57.03
266.21	74.00	16.00	0.96	15.04	58.96
300.45	75.00	15.00	0.89	14.11	60.89
333.86	76.00	14.00	0.82	13.18	62.82
390.14	77.00	13.00	0.75	12.25	64.75
461.26	78.00	12.00	0.68	11.32	66.68
498.35	79.00	11.00	0.62	10.38	68.62
998.35	87.00	3.00	0.13	2.87	84.13
Socavación promedio				9.67	

Gráfico 20.- Cálculo de la socavación por el método de Lebediev



4.7.3 Método de Straub

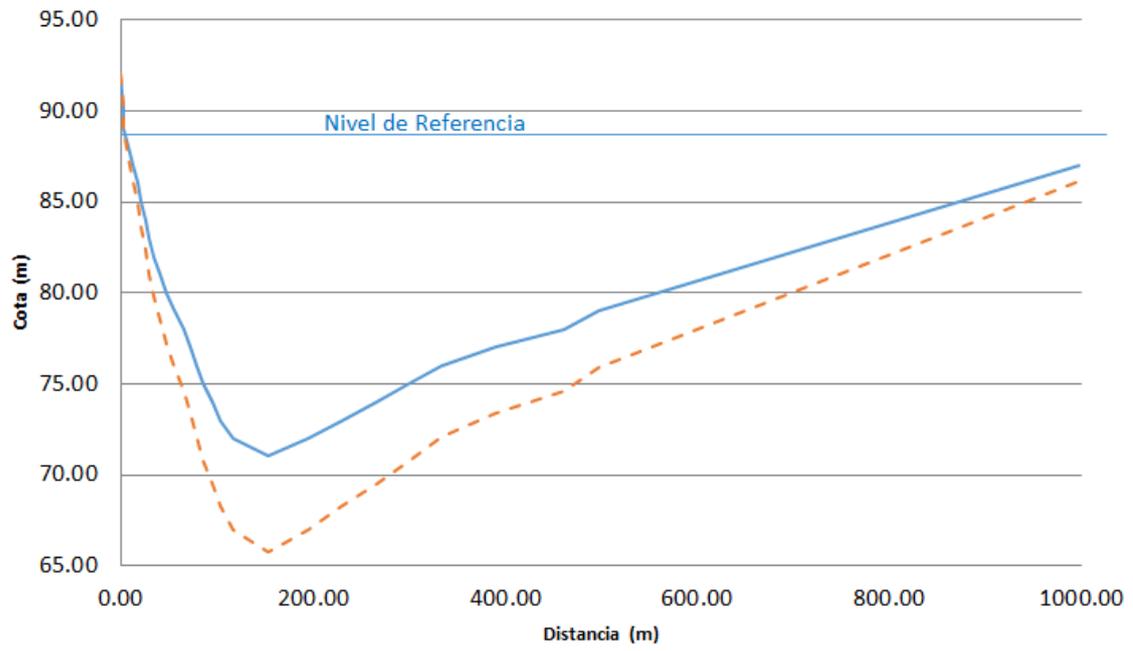
Cuadro 20.- Cálculo de la Socavación Natural por el método de Straub

GEOMETRIA DEL RIO

Ho = altura con respecto al nivel de referencia (m)	89	Mercado Artesanal
Bo = Longitud mayor del río (m)	492.14	Enapu Perú
Bf = Longitud en la sección de estudio (m)	335.39	Mercado Artesanal
Factor =	1.28	

Distancia (m)	Cota (m)	Ho	Hf	Hf-Ho	Cota Final (m)
0.00	92.00	0.00	0.00	0.00	92.00
1.99	90.00	0.00	0.00	0.00	90.00
3.31	89.00	0.00	0.00	0.00	89.00
8.52	88.00	2.00	2.56	0.56	87.44
13.25	87.00	3.00	3.84	0.84	86.16
17.08	86.00	4.00	5.12	1.12	84.88
20.78	85.00	5.00	6.40	1.40	83.60
25.69	84.00	6.00	7.67	1.67	82.33
29.50	83.00	7.00	8.95	1.95	81.05
34.39	82.00	8.00	10.23	2.23	79.77
40.16	81.00	9.00	11.51	2.51	78.49
47.63	80.00	10.00	12.79	2.79	77.21
55.09	79.00	11.00	14.07	3.07	75.93
66.08	78.00	12.00	15.35	3.35	74.65
73.04	77.00	13.00	16.63	3.63	73.37
78.33	76.00	14.00	17.91	3.91	72.09
85.59	75.00	15.00	19.19	4.19	70.81
95.13	74.00	16.00	20.47	4.47	69.53
104.33	73.00	17.00	21.75	4.75	68.25
117.63	72.00	18.00	23.02	5.02	66.98
152.74	71.08	18.92	24.20	5.28	65.80
194.16	72.00	18.00	23.02	5.02	66.98
229.80	73.00	17.00	21.75	4.75	68.25
266.21	74.00	16.00	20.47	4.47	69.53
300.45	75.00	15.00	19.19	4.19	70.81
333.86	76.00	14.00	17.91	3.91	72.09
390.14	77.00	13.00	16.63	3.63	73.37
461.26	78.00	12.00	15.35	3.35	74.65
498.35	79.00	11.00	14.07	3.07	75.93
998.35	87.00	3.00	3.84	0.84	86.16
Socavación promedio				2.87	

Gráfico 21.- Cálculo de la socavación por el método de Straub



CAPITULO 5: DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Para la estimación de la socavación, se tuvo en cuenta:

- a) La curva granulométrica,
- b) los niveles actuales del río,
- c) los flujos en el área donde se contruira el embarcadero del mercado artesanal de Punchana.

Los suelos del fondo del río encontrados en la zona de estudio, específicamente, frente al eje del embarcadero a construirse sobre el río Itaya es predominantemente limoso con un 65.24% seguido de arcilla con 32.00% (ver resultados de análisis de suelos en el anexo correspondiente), por lo que se considera que es del tipo de material “fino”. El diámetro promedio de la curva granulométrica nos indica $d_{50}=0.0156$ mm (ver anexos), dicho valor sirvió para la estimación de la socavación con el método de Litschvan - Lebediev.

En cuanto a la asunción de los caudales actuales en el área de estudio, fue priorizado el analisis en forma de niveles del río, debido a lo siguiente:

- El área de estudio se encuentra muy cercano a la confluencia con el río Amazonas, produciendose la interacción de ambos ríos anulandose las velocidades o flujos a regimenes sub criticos, se produce un remanso del río Itaya, debido a que el río Amazonas se comporta como una barrera natural.
- El cauce actual del río Itaya en el sector de estudio, anteriormente pertenecia al río Amazonas, que debido a su dinamica espacial se ha desplazado casi 6 Km hacia el Este.

Algo importante a destacar en la presente investigación, está referida a los caudales de diseño, debido a que se encuentra muy cercano a la confluencia y se producen el proceso conocido como “remanso” entre la interacción entre el río Itaya y el Amazonas. Proceso mencionado que depende de la época en que se presentan, es decir, la época de avenida o estiaje, asimismo, hay que tomar en cuenta que la intromisión del río Amazonas sobre el actual cauce del Itaya ocasiona un flujo de agua contrarios, ocasionando que a

medida que se incrementa la distancia desde la boca hasta aguas arriba del río Itaya, este disminuye su velocidad, incluso llega a anularse.

Los periodos de avenida que se inician de marzo a mayo para el Amazonas y es simultaneo con el Itaya (ver gráfico 49), razón por la cual ambos vectores de velocidad comienzan a anularse, sumado a que el cauce es tan amplio que puede permitir el flujo de ambos ríos en ambos sentidos.

En la campaña de aforos realizada en el mes de febrero 2023, en época de avenida o creciente con un perfilador acústico ADCP (Acoustic Doppler Current Profile), se puede visualizar tal proceso, las velocidades en 03 secciones en la zona de influencia directa e indirecta del proyecto manifestaron valores de 0.036 m/s en promedio, lo que hace que el flujo para este periodo sea considerado como sub crítico.

Cuadro 21.- Parámetros Hidráulicos obtenidos en campo (feb 2023)

Sector	Velocidad	Área Mojada (m ²)	Ancho efectivo (m)	Observaciones
Morochita	0.043 m/s	2444.78	479.38	08 febrero del 2023, época de creciente
Muelle artesanal	0.035 m/s	3261.23	492.14	
Enapu Perú	0.030 m/s	3100.87	335.39	
Promedio	0.036 m/s			

La diferencia de caudales medios de ambos río es muy significativa, el amazonas conduce en promedio anual 30296 m³/s y el Itaya 217 m³/s, representando este último el 0.70% del caudal del amazonas (equivalente a solo unos centímetros de crecimiento), a medida que el caudal del amazonas incremente su caudal disminuirá el flujo de velocidades en este sector.

Mientras que en el periodo de estiaje, las velocidades del flujo se incrementan, ya no tienen al 100% la injerencia de la barrera natural que constituye el Amazonas, en la campaña de aforos realizada el 29 de noviembre del 2021 por el SENAMHI, nos indica que las velocidades fluctuaban entre los 0.916 m/s en

la boca del Itaya hasta 1.091 m/s a la altura del centro poblado Munich. (SENAMHI, 2020)

Gráfico 22.- Velocidades Máxima en aforos diferenciales (2021)



Las velocidades máximas del río Itaya se presentan en los meses de estiaje, con valores alrededor de 1.00 m/s. Con estas velocidades se cataloga que el tipo de régimen de flujo del Itaya en el sector de estudio es “subcrítico” (número de Froude $F < 1$) por tener velocidades muy bajas, que oscilan entre los 0.03 a 0.04 m/s en promedio (ver resultados de los aforos).

El río Itaya en toda su trayectoria solo cuenta con una estación de control hidrológico, ubicada a la altura del nuevo mercado de Belén, los registros datan del año 2020, la estación se denomina H-Itaya y pertenece a la red de estaciones del SENAMHI, se instaló en este lugar para evitar las influencias del remanso producido en la zona de confluencia con el río Amazonas, sin embargo, la

estación ubicada en Enapu Perú que tiene largo periodo de registro, esto nos permite obtener la pendiente hidráulica entre ambas estaciones, la distancia entre ambas es de 6.16 Km. La diferencia de cotas entre ambas estaciones es de 0.1504 m

Desnivel al pelo de agua = 15.04 cm

Distancia entre ambas estaciones = 6.16 Km

Pendiente Hidráulica = 2.4419 cm/Km

La Norma Técnica N°04 del SEHINAV, indica que en lugares donde no se tiene cotas se debe asumir una pendiente hidráulica de 5 cm/km (Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía, 2018), por lo cual, la pendiente hidráulica de 2.44 cm/Km es válido y nos permitió proyectarnos hacia la zona de trabajo y generar los niveles requeridos, los cuadros xxx nos presentan los valores de la estación del SENAMHI ubicada en Belén

De los resultados obtenidos, con el metodo de Maza & Echevarria fue de 1.27 m como máximo, comparado con el metodo de Litschvan - Lebediev que tiene una socavación máxima de 17.75 m y el de Straub 5.28 m, hay que tener en cuenta que los métodos han sido establecidos para un periodo de retorno de 50 a 100 años. Estos resultados, discrepan contrariamente a lo que ocurre en la realidad, donde los primeros 5 km de longitud del río Itaya contados a partir de la desembocadura con el río Amazonas se presentan cambios morfológicos, especialmente de sedimentación, por el ingreso constante del río Amazonas que tiene gran cantidad de sedimentos provenientes de la cordillera de los Andes, según Maco menciona: “los ríos de aguas blancas generalmente, tienen un extenso recorrido a través de un amplio territorio de los Andes y del llano amazónico. Presentan aguas lodosas, turbias, debido al alto contenido de arena, arcilla y limo en suspensión, que proporcionan una coloración marrón claro a sus aguas. Mientras que los ríos de agua negra están representados por tributarios que se originan dentro del bosque húmedo. Sus aguas son de color café oscuro, que al decir de Sioli (1968) la coloración de las aguas negras es debida a que presentan alto contenido de sustancias húmicas y ácidos fúlvicos. Presentan poco material en suspensión, compuesto mayormente por material orgánico y

detritus que permiten que estos cuerpos de agua presenten transparencia que oscila entre 23 y 118 cm” (MACO GARCÍA, 2006).

Gráfico 23.- Esquema de Factores que intervienen sobre el área de estudio



El método propuesto por Lischvan-Lebediev es el más usado en nuestro país para el cálculo de la socavación general incluyendo el efecto de la contracción de un puente. Se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente (V_r) y la velocidad media erosiva (V_e). La velocidad erosiva no es la que da inicio al movimiento de las partículas en suelos sueltos, sino la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material del fondo. Si el suelo es cohesivo, es la velocidad que es capaz de levantar y poner el sedimento en suspensión. La velocidad erosiva está en función de las características del sedimento de fondo y de la profundidad del agua. La velocidad real está dada principalmente en función de las características del río: pendiente, rugosidad y tirante o profundidad del agua. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones. [Perú], 2008)

Descartamos el método de Litschvan-Lebediev, debido a que el río Itaya en este sector no tiene una velocidad erosiva, el área de influencia donde se ubicaran las estructuras pertenece a una pequeña bahía, las velocidades son casi nulas, hay que recordar que la socavación es el resultado de la acción erosiva de las corrientes de agua sobre el lecho del cauce, en especial en épocas de lluvias durante la creciente de los ríos (Yang Chung & Su Chiang, 2015) y en este caso en temporada de crecientes las velocidades son muy bajas.

Debido a que la zona de interés se encuentra muy cercana a la confluencia con el Amazonas, se produjeran cambios en el comportamiento de la amplitud del río, por lo que el método de Straub, representa muy bien el proceso de socavación en esta zona.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se logró estimar la socavación general en el sector donde se construirá el embarcadero artesanal de Punchana utilizando el método de Lischtvan – Lebediev, en la sección principal donde se ubicará el terminal pesquero de Punchana, con una profundidad máxima de 17.75 m.

Se logró estimar la socavación general en el sector donde se construirá el embarcadero artesanal de Punchana utilizando el método de Straub, en la sección principal donde se ubicará el terminal pesquero de Punchana, con una profundidad de socavación de 5.28 m, el cual se puede considerar que representa el proceso.

Se logró estimar la socavación general en el sector donde se construirá el embarcadero artesanal de Punchana utilizando el método de Maza, en la sección principal donde se ubicará el terminal pesquero de Punchana, con una profundidad de socavación de 1.27 m.

Para ríos amazónicos donde existe interacción con el río Amazonas no es aplicable los métodos utilizados en la presente investigación, sin embargo, por aspectos de seguridad se sugiere el método de Straub, por determinarse una socavación intermedia que garantice la construcción del embarcadero.

Se logró determinar que los parámetros que tienen mayor influencia y sensibilidad en el proceso de socavación general en nuestra zona son el caudal y las características de los sedimentos de fondo.

6.2 Recomendaciones

Se debe continuar con las investigaciones de socavación en pilares, estribos o diversas geometrías en la Amazonía.

En zonas inundables de la Amazonía, se debe considerar la dinámica de los mismos, como desplazamiento laterales de los meandros y los verticales que ocurren entre la temporada de avenida y estiaje.

Bibliografía

- Aguilar Aguinaga, D. A. *Comparación Técnica entre el Uso de Gaviones y Geoceldas como estructuras de Defensa Ribereña. [Tesis de Ingeniería Civil PUCP]*. Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Lima, Perú.
- ANCAJIMA GAONA, L. *Evaluación del Aprovechamiento de agua de lluvia en zonas de ceja de selva caso de estudio: Caserío Bajo Jhuamaca-Distrito de San Ignacio-provincia de San Ignacio-Región Cajamarca. [Tesis Universidad Pedro Ruiz Gallo]*. Repositorio de la UNPRG, Lambayeque, Perú.
- Barbosa, G. S. *Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en río de Montaña (lecho de gravas). [Tesis de postgrado Universidad Nacional de Colombia]*. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Castro Delgado, M., Hidalgo Bustamante, X., Valencia Bonilla, N., Toapaxi Alvarez, J., & Galiano Ayala, L. (2015). Análisis de la Socavación en Cauces Naturales. *Revista Politécnica*, 35(3).
- COMUNIDAD ANDINA. (22 de 08 de 2006). taller “Hacia una gestión responsable del agua y saneamiento”. *Cuatro millones de habitantes de la selva andino-amazónica carecen de agua potable*. Iquitos, Loreto, Perú.
- DAS Braja, M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. 4a ed.* México, México, Perú: Cengage Learning.
- Frijlink, H. C. (1964). Introduction to river engineering International Course. Delft, Holanda.
- Hernandez Aviles, D., & Chaparro, T. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2).
- INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES –IDEAM. (11 de 08 de 2019). *GLOSARIO METEOROLOGICO*. (IDEAM, Ed.) Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorológico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>
- Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (1974). *Mecánica de Suelos - Flujo de agua en suelos*. Mexico: Limusa.
- JULIEN, P. (2010). *EROSION AND SEDIMENTATION, Second edition*. New York: Cambrigde University.
- MACO GARCÍA, J. (2006). Tipos de Ambientes Acuáticos de la Amazonía Peruana. *FOLIA AMAZONICA - IIAP*, 15(1-2), 131-132.
- Martin Vide, J. (2003). *Ingeniería de Ríos*. (A. G. S.A., Ed.) Mexico, Mexico: Alfaomega Grupo Editor S.A.
- Medina Olivas, Y. *ESTUDIO DE SOCAVACIÓN EN ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN RIBEREÑA FUNDADAS SOBRE CAUCES VARIABLES DEL RIO CHILLÓN –PUENTE PIEDRA EN EL 2017. [Tesis de Ingeniero Civil]*. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo, Lima, Lima, Perú.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2015). MANUAL DE HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y DRENAJE.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. [Perú]. (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima, Lima, Perú: MTC.
- Ordóñez Ordóñez, J. I. (2010). *El régimen del flujo y la morfología de los cauces aluviales*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá).
- Peñaloza, F., Caamaño, D., & Villagran, M. ESTUDIO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE CÁLCULO DE SOCAVACIÓN LOCAL EN UNA CEPA CIRCULAR EN RÍO DE LECHO ARENOSO. *Simposio de Habilitación Profesional, departamento de Ingeniería Civil*. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.
- Quinte Lulo, N. *Socavación en Obras Longitudinales de Defensa Ribereña según Caudales de Diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica, 2021. [Tesis Ingeniería Civil]*. Repositorio de la Universidad Continental, Huancayo, Perú.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2022). *Diccionario de la Lengua Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/>
- ROCHA FELICES, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial, Primera Edición*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú: UNI.
- Rodriguez Perez, R., & Yataco Manrique, G. *Comparación de los modelos numéricos 1D y 2D en el análisis de socavación total en el puente Huallaga. [Tesis de Ingeniería Civil]*. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Lima, Perú.
- SENAMHI. (2020). Boletín Hidroclimatológico de Loreto. 4.
- Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía. (2018). Norma Técnica N°04 Estudios Hidro Fluviales. Lima, Perú.
- Velarde Bernal, S. *Simulación del Proceso de Socavación del Cauce del río Rimac - Caso Puente Morón. [Tesis para Magister Recursos Hídricos]*. Repositorio UNALM, La Molina, Lima, Perú.
- Yang Chung, H., & Su Chiang, C. (2015). Real-time river bed scour monitoring and synchronous maximum depth data collected during Typhoon Soulik in 2013. *Hydrological Processes*, 29(6), 1056-1068.

ANEXOS

Caudal del río Itaya – sector nuevo mercado

CAUDAL MAXIMO MENSUAL (m3/S)													
Río:			Itaya							Departamento:	Loreto		
Estacion:			H- Itaya							Provincia:	Maynas		
Latitud:			3°45'59.24"S							Distrito:	San Juan Bautista		
Longitud:			73°15'7.76"W										
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1984	63.2	84.6	75.9	246.1	115.9	121.4	93.8	6.5	56.6	91.7	158.4	21.3	246.1
1985	32.7	149.9	47.4	194.4	100.1	128.0	118.0	95.4	108.2	110.1	106.2	136.5	194.4
1986	116.4	147.6	128.5	96.9	221.3	123.1	68.3	44.8	58.7	168.6	124.7	180.1	221.3
1987	257.7	236.9	193.4	297.4	47.4	69.1	169.4	91.7	62.1	133.8	109.1	127.0	297.4
1988	85.9	103.3	78.0	305.5	62.7	70.0	59.0	36.7	78.6	140.2	218.3	161.5	305.5
1989	297.7	184.9	66.9	159.5	169.7	130.1	86.9	142.8	38.7	131.2	138.3	43.2	297.7
1990	185.5	62.1	137.0	109.4	97.0	203.1	95.4	106.5	46.5	55.3	119.8	240.3	240.3
1991	201.8	201.3	59.0	204.2	196.0	125.1	100.6	104.4	133.4	170.7	124.7	174.4	204.2
1992	127.6	135.9	144.9	160.6	114.9	130.1	75.9	217.1	122.0	160.7	109.4	121.2	217.1
1993	264.6	97.7	161.5	142.4	88.3	55.5	74.3	113.6	67.0	154.7	182.7	108.8	264.6
1994	117.8	103.3	147.0	185.1	226.6	180.5	56.4	102.2	109.7	88.5	79.0	140.7	226.6
1995	270.6	96.5	163.1	105.9	202.9	128.2	100.1	65.3	141.6	127.0	192.2	177.0	270.6
1996	100.1	218.2	185.5	218.9	200.0	111.6	39.0	118.2	147.6	75.9	76.8	100.1	218.9
1997	33.2	228.7	115.4	93.1	198.1	89.3	47.9	80.1	113.8	75.9	162.8	182.2	228.7
1998	115.9	127.8	157.3	226.0	157.5	59.9	86.0	145.8	62.3	98.1	80.4	115.9	226.0
1999	241.9	233.8	116.4	201.2	165.7	74.6	87.8	85.5	133.5	93.5	112.4	95.7	241.9
2000	132.2	124.6	163.8	266.3	173.6	112.7	55.0	156.7	83.6	86.1	37.0	165.6	266.3
2001	171.5	127.4	177.4	149.8	151.8	72.0	61.2	61.4	79.4	153.1	59.6	271.1	271.1
2002	117.4	111.2	78.0	163.6	167.7	46.1	113.6	96.9	58.3	183.3	162.2	155.0	183.3
2003	101.0	104.5	97.3	116.5	187.4	93.5	126.1	68.4	79.7	69.7	162.6	97.3	187.4
2004	54.4	88.4	186.1	82.7	148.9	155.5	86.6	94.3	56.8	93.3	164.7	141.0	186.1
2005	82.8	148.4	189.2	70.8	78.4	85.5	79.1	75.7	47.2	182.3	69.5	104.3	189.2
2006	168.4	78.1	215.9	76.0	203.5	102.7	33.0	90.6	185.1	168.0	128.6	222.9	222.9
2007	137.6	47.7	196.5	207.8	135.3	52.3	54.9	52.6	69.6	106.1	162.0	123.6	207.8
2008	148.9	117.3	171.6	98.5	66.8	130.2	66.4	46.1	135.6	202.3	131.3	47.1	202.3
2009	200.1	189.8	187.8	272.7	79.2	92.1	77.5	94.3	58.6	99.8	210.1	273.7	273.7
2010	124.8	123.5	186.4	66.3	125.0	66.3	86.7	32.9	44.0	79.3	108.8	57.2	186.4
2011	146.3	80.3	181.3	141.7	121.4	164.7	99.0	70.9	196.1	96.9	114.8	136.3	196.1
2012	198.2	250.9	175.0	113.3	73.3	67.3	46.8	39.1	61.9	121.2	115.6	114.7	250.9
2013	211.8	209.3	166.4	89.5	173.1	188.3	45.2	151.7	45.8	82.8	100.6	106.0	211.8
2014	113.7	134.4	35.7	158.4	102.5	104.0	94.4	94.6	22.9	101.0	65.7	68.8	158.4
2015	100.2	161.2	202.6	181.7	94.2	58.3	120.1	113.2	78.8	140.2	132.4	175.5	202.6
2016	61.5	175.1	254.8	234.6	137.7	95.8	152.0	44.3	60.2	169.1	95.4	143.4	254.8
2017	105.4	74.6	236.2	107.3	153.4	103.6	30.2	79.6	63.8	193.9	149.8	72.8	236.2
2018	161.9	64.3	165.9	84.0	194.2	38.7	94.0	59.5	99.2	104.8	35.8	210.7	210.7
2019	139.6	148.4	158.8	96.3	98.1	149.1	114.3	93.5	77.5	148.7	129.8	127.2	158.8
2020	73.6	155.9	27.3	62.3	97.7	139.6	156.4	45.0	163.9	74.5	152.1	128.9	163.9
2021	254.9	66.7	222.7	194.3	116.7	90.6	47.4	6.8	63.5	109.1	166.0	140.3	254.9
2022	105.2	89.3	123.5	224.6	107.8	69.6	82.4	46.5	5.1	123.2	113.0		224.6
MAX	140.8	138.6	156.8	145.9	143.8	102.4	82.0	89.8	93.3	123.4	120.3	138.6	217.3