

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Socavación en obras longitudinales de defensa  
ribereña según caudales de diseño en un tramo del río  
Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021**

Nelson Miguel Quinte Lulo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

### **Agradecimientos:**

Agradezco a mi madre y hermanos los cuales estuvieron siempre como soporte y apoyo incondicional en mi formación personal y académica.

También agradezco al Dr. Abel Muñiz Paucarmayta por la confianza, paciencia, comprensión y apoyo en el tiempo empleado para el desarrollo de mi proyecto.

**Dedicatoria:**

La presente tesis se la dedico a mi madre, hermanos, amigos y docentes quienes siempre fortalecieron mi confianza para cumplir con mis metas personales y académicas.

## RESUMEN

La presente investigación, se 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 m<sup>3</sup>/s, 120.3 m<sup>3</sup>/s, 151.3 m<sup>3</sup>/s y 188.2 m<sup>3</sup>/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.

**Palabras clave:** caudal de diseño, socavación, tiempo de concentración, máximas avenidas, modelo hidráulico.

## ABSTRAC

The present investigation is entitled: "Scouring in longitudinal riparian defense works according to design flows in a section of the Ichu river, Huancavelica, Huancavelica 2021", in which the objective was set: to determine the scour in longitudinal riparian defense works according to design flows in a section of the Ichu river. As a methodology, the scientific method was applied, of the type: applied, of the level: explanatory, and design: non-experimental. The results obtained were: at the design flow rates of 93.5 m<sup>3</sup> / s, 120.3 m<sup>3</sup> / s, 151.3 m<sup>3</sup> / s and 188.2 m<sup>3</sup> / s for return periods (Tr) of 25, 50, 100, and 200 years respectively, the average values scour are equal to 3.37 m ± 35.03%, 3.33 m ± 36.77%, 3.77 m ± 30.72% and 3.97 m ± 30.43% respectively. The research shows as a conclusion: that the scouring in longitudinal riparian defense works is in the range of 2.19 m to 4.55 m for a Tr = 25 years, 2.10 m to 4.55 m for a Tr = 50 years, 2.61 m to 4.93 m for a Tr = 100 years and 2.76 m to 5.18 m for a Tr = 200 years; resulting in averages of 3.37 m, 3.33 m, 3.77 m and 3.97 m for each of the selected return periods. The values help us predict the behavior of structures in the face of scouring failures, which are important to have more precise parameters for the design of future riparian defense works.

Keywords: Design flow, scour, concentration-time, maximum floods, hydraulic model.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el análisis de Idvia Ingenieros (s.f., 2021), los fallos en puentes en su mayoría están ligadas al comportamiento hidráulico del cuerpo de agua donde se construyen, siendo una de las más frecuentes las fallas por socavación.

En el Perú, la DGPI (2013) evaluó los peligros que presentan y el gran impacto que se da por las inundaciones, las cuales se presentan por acción de las lluvias de gran intensidad y aumento del caudal de los cuerpos de agua, los que son más impactantes con el fenómeno El Niño.

El río Ichu es un cauce hídrico ubicado en el distrito de Ascensión, perteneciente a la cuenca del mismo nombre el cual cuenta con defensas ribereñas compuestas por diques de concreto y gaviones que están construidas en el margen izquierdo del río Ichu, para resguardar sus zonas laterales contra la erosión y para evitar inundaciones.

La socavación causada por el caudal y transporte de sedimentos representa una potencial amenaza para las estructuras de defensa ribereña, debido a que pueden llegar a desestabilizar el terreno de fundación y alrededor de los mismos. Este fenómeno puede llegar a causar fallas en la estructura y posterior colapso.

Para esto se evaluaron tres zonas, para poder hallar los valores de socavación general, local y por contracción en los muros de las defensas ribereñas existentes en la zona, y poder brindar recomendaciones con el fin de prevenir el posible colapso de la estructura y de esta manera evitar que las estructuras colindantes tales como vías de acceso y/o edificaciones sean los más afectados.

En el presente estudio se utilizó herramientas digitales, las cuales son HEC HMS para calcular los caudales en determinados periodos de retorno, HEC RAS para calcular valores de

socavación; Arc Map para delimitar la cuenta del río Ichu y Autocad Civil 3D para el procesamiento del levantamiento topográfico.

La presente investigación titulada “Socavación en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021”, busca la solución del problema: **¿Cuánto es la socavación en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021?** En su desarrollo se revisa teorías de caudales, periodos de retorno, socavación, las que están relacionadas con las variables: V1 y V2 de la investigación.

En su desarrollo se fija como objetivo determinar la socavación en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021, con el cual se obtiene los siguientes resultados: En los caudales de diseño de 93.5 m<sup>3</sup>/s, 120.3 m<sup>3</sup>/s, 151.3 m<sup>3</sup>/s y 188.2 m<sup>3</sup>/s para periodos de retorno (Tr) de 25, 50, 100 y 200 años respectivamente, 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; y, finalmente se alcanza a las siguientes conclusiones: que la socavación en obras longitudinales de defensa ribereña se encuentran 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; resultan los promedios de 3.37 m, 3.33 m, 3.77 m y 3.97 m para cada uno de los periodos de retorno siendo la socavación local la que muestra mayores valores de socavación en las secciones del cauce del río Ichu analizadas.

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.

La investigación está conformada por siete capítulos. El capítulo I presenta el planteamiento del proyecto, problemática, objetivos, justificación, importancia, delimitación de la muestra, importancia, hipótesis planteadas y la descripción de las variables del proyecto de investigación. El capítulo II desarrolla los criterios básicos, antecedentes internacionales y antecedentes nacionales los cuales fueron utilizados para el desarrollo del proyecto de investigación. Así mismo, el capítulo III describe el método, alcance, diseño, población, muestra y muestreo del proyecto de investigación.

El capítulo IV describe la zona de estudio, los estudios realizados y se desarrolla el análisis de toda la información y resultados del desarrollo del proyecto de investigación. La discusión de los resultados con los antecedentes elegido se realiza en capítulo V. En el capítulo VI se describen las conclusiones a que se llegan luego de obtener los resultados y discutirlos con los antecedentes. Finalmente, en el capítulo VII, se plantean recomendaciones para futuras investigaciones y diseños de defensas ribereñas.

Las referencias se organizan alfabéticamente desde el desarrollo del proyecto de investigación. Luego se presentan todos los anexos de estudios básicos, mapas, planos, resultados y fotografías del desarrollo del proyecto de investigación.

## CONTENIDO GENERAL

<b>Agradecimientos:</b> .....	<b>2</b>
<b>Dedicatoria:</b> .....	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRAC</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>CONTENIDO GENERAL</b> .....	<b>9</b>
<b>CONTENIDO DE TABLAS</b> .....	<b>12</b>
<b>CONTENIDO DE FIGURAS</b> .....	<b>14</b>
<b>1. CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	<b>15</b>
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema .....	15
1.1.1. Problema general. ....	17
1.1.2. Problemas específicos .....	17
1.2. Objetivos .....	17
1.2.1. Objetivo general.....	17
1.2.2. Objetivos específicos .....	18
1.3. Justificación e importancia de la investigación .....	18
1.3.1. Justificación teórica .....	18
1.3.2. Justificación práctica.....	18
1.3.3. Justificación metodológica.....	18
1.3.4. Importancia de la investigación .....	18
1.4. Hipótesis .....	19
1.4.1. Hipótesis general.....	19
1.4.2. Hipótesis específicas .....	19
1.5. Descripción de variables .....	19
1.5.1. Variable 1: Caudales de diseño.....	19
1.5.2. Variable 2: Socavación .....	19
1.5.3. Operacionalización de variables .....	20
1.6. Delimitación.....	20
1.6.1. Delimitación conceptual .....	20
1.6.2. Delimitación espacial.....	21
1.6.3. Delimitación temporal .....	21
<b>2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>

2.1.	Antecedentes del Problema.....	22
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	22
2.1.2.	Antecedentes nacionales .....	24
2.2.	Bases teóricas.....	26
2.2.1.	Variable 1 caudales de diseño.....	26
2.2.2.	Variable 2: Socavación .....	33
2.3.	Definición de términos básicos.....	40
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>42</b>
3.1.	Métodos y alcance de la investigación.....	42
3.1.1.	Método: Científico .....	42
3.1.2.	Tipo: Aplicada .....	42
3.1.3.	Nivel: Explicativo .....	43
3.1.4.	Diseño: No experimental .....	43
3.2.	Población, muestra y muestreo .....	43
3.2.1.	Población.....	43
3.2.2.	Muestra .....	43
3.2.3.	Muestreo .....	44
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	44
3.3.1.	Técnica: Observación directa.....	44
3.3.2.	Instrumentos de recolección de datos .....	45
3.3.3.	Validez .....	45
3.3.4.	Confiabilidad.....	46
3.4.	Procedimiento .....	46
3.5.	Métodos de análisis de datos.....	46
3.6.	Aspectos éticos.....	46
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
4.1.	Descripción de la zona de estudio.....	48
4.1.1.	Ubicación. ....	48
4.1.2.	Características de la zona de estudio. ....	48
4.2.	Estudios previos.....	48
4.2.1.	Estudios de campo. ....	48
4.2.2.	Estudios de laboratorio .....	49
4.3.	Análisis de la información .....	50

4.3.1.	Cuantificación de caudal de diseño para periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años. ....	50
4.3.2.	Cuantificación de la socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño. ....	63
4.3.3.	Estimación de la socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño. ....	65
4.3.4.	Determinación de la socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño. ....	68
4.4.	Resultados.....	71
4.4.1.	Cuantificación de la socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño. ....	71
4.4.2.	Estimación de la socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño. ....	72
4.4.3.	Determinación de la socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño. ....	74
<b>CAPÍTULO V. DISCUSIONES .....</b>		<b>76</b>
<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES .....</b>		<b>79</b>
<b>CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES .....</b>		<b>81</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>82</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>86</b>
	Anexo 1: Matriz de consistencia.....	87
	Anexo 2: Instrumentos de investigación validados .....	88
	Anexo 3: Panel fotográfico .....	91
	Anexo 4: Plano de calicatas y perfiles estratigráficos .....	93
	Anexo 5: Estudios de laboratorio.....	95
	Anexo 6: Mapas de delimitación de cuenca .....	98
	Anexo 7: Planos de planteamiento general.....	104
	Anexo 8: Resultados obtenidos de Hec Ras .....	106

## CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.1 Matriz de operacionalización de variables.....	20
Tabla 2.1 Grupos hidrológicos de suelos.....	31
Tabla 2.2 Coeficiente de corrección $K_{\theta}$ .....	34
Tabla 2.3 Coeficiente de corrección $K_Q$ .....	34
Tabla 2.4 Coeficiente de corrección $K_m$ .....	35
Tabla 2.5 Coeficiente por la forma del estribo $K_f$ .....	36
Tabla 2.6 Factor de corrección por contracción del cauce $\mu$ .....	38
Tabla 3.1 Rangos de validez.....	45
Tabla 3.2 Validez de contenido del instrumento de las variables: V1 Caudales de diseño y V2 Socavación por juicio de expertos.....	45
Tabla 3.3 Rangos de confiabilidad.....	46
Tabla 4.1 Rango de áreas para diferentes unidades hidrográficas.....	50
Tabla 4.2 Parámetros geomorfológicos.....	51
Tabla 4.3 Estaciones pluviométricas evaluadas.....	52
Tabla 4.4 Precipitación promedio mensual multianual (mm) de las estaciones seleccionadas.....	52
Tabla 4.5 Variación temporal de Precipitación (mm) – Estación Lircay.....	56
Tabla 4.6 Tiempo de concentración método Kirpich.....	57
Tabla 4.7 Precipitación máxima 24 horas corregida.....	57
Tabla 4.8 Pp max en 24 horas – Estación Lircay.....	59
Tabla 4.9 Precipitación máxima en 24 horas - Normal.....	60
Tabla 4.10 Periodo de retorno.....	60
Tabla 4.11 Valores máximos recomendados.....	61
Tabla 4.12 Temperatura mensual en ° c - estación Lircay.....	61
Tabla 4.13 Información para el modelo HecHms.....	62
Tabla 4.14 Caudales máximos para distintos periodos de retorno – río Ichu.....	63
Tabla 4.15 Resultados de HEC RAS ST: 38, ST: 39 y ST: 40.....	64
Tabla 4.16 Resultados de socavación local método Liu, Chang y Skinner.....	64
Tabla 4.17 Resultados de socavación local método Artamonov.....	64
Tabla 4.18 Resultados de socavación local método Froehlich.....	65
Tabla 4.19 Resultados de HEC RAS ST: 10, ST: 13, ST: 22 y ST: 26.....	66

Tabla 4.20 Resultados de socavación general método Lischtvan-Levediev.....	66
Tabla 4.21 Resultados de socavación general método Laursen.....	67
Tabla 4.22 Resultados de socavación general método Straub .....	68
Tabla 4.23 Resultados de HEC RAS ST: 2, ST: 3, ST: 4 y ST: 5 .....	69
Tabla 4.24 Resultados de socavación por contracción método Lischtvan-Levediev .....	69
Tabla 4.25 Resultados de socavación por contracción método Laursen .....	70
Tabla 4.26 Resultados de socavación por contracción método Straub.....	71
Tabla 4.27 Resultados de los métodos de socavación local.....	71
Tabla 4.28 Resultados de los métodos de socavación general.....	72
Tabla 4.29 Resultados de los métodos de socavación por contracción .....	74

## CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.1. Vista de la delimitación espacial de la investigación .....	16
Figura 1.2. Vista de la delimitación espacial de la investigación .....	17
Figura 2.1. Longitud y perímetro de una cuenca .....	27
Figura 2.2. Factor de forma de Horton .....	28
Figura 2.3. Transformación geométrica de la cuenca .....	29
Figura 2.4. Curvas intensidad-duración-frecuencia para precipitaciones máximas .....	30
Figura 2.5. Variables en el método de abstracciones de precipitación del SCS: $I_a$ = abstracción inicial, $P_e$ = exceso de precipitación, $F_a$ = abstracción continuada, $P$ = precipitación total. ...	32
Figura 2.6. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS.....	33
Figura 2.7. Caudales obstruidos por estribos .....	34
Figura 2.8. Formas comunes de estribos.....	36
Figura 2.9. Factor de corrección $K\theta$ .....	36
Figura 2.10. Contracción de un canal .....	40
Figura 4.1. Gráfico curva hipsométrica y polígono de frecuencias .....	50
Figura 4.2. Precipitación promedio mensual (mm) de las estaciones seleccionadas.....	53
Figura 4.3. Hidrograma de precipitación mensual (mm) – Estación Lircay.....	53
Figura 4.4. Hidrograma de precipitación anual (mm) – Estación Lircay .....	54
Figura 4.5. Figura curva de doble masa mensual.....	55
Figura 4.6. Figura Curva de doble masa anual .....	55
Figura 4.7. Variación mensual de precipitación (mm) Estación Lircay .....	56
Figura 4.8. Análisis de datos dudosos sin ningún valor fuera de los límites mínimos ni máximos (outliers).....	58
Figura 4.9. $P_p$ max en 24 horas – Estación Lircay .....	59
Figura 4.10. Parámetros de cuenca y precipitación en HEC HMS .....	62
Figura 4.11. Ingreso de valores de precipitación a cada hora durante 24 horas .....	62
Figura 4.12. Determinación del periodo de análisis y hietograma de precipitación.....	63

## **CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

El proyecto de investigación desarrollado estudió los valores de socavación que se suscitarán con distintos caudales en determinados periodos de retorno y de esta forma predecir fenómenos naturales ya que ello nos permitirá plantear posibles medidas preventivas y correctivas a los problemas presentados en el cauce del rio Ichu.

De acuerdo con el análisis de Idvia Ingenieros (2021), se valora que los fallos en puentes en su mayoría están ligadas al comportamiento hidráulico del cuerpo de agua donde se construyen, siendo una de las más frecuentes las fallas por socavación.

Debido al fenómeno de socavación, se puede observar fallas en puentes desde Croacia en el puente Sava en Zagreb hasta el colapso del puente Hintze Ribeiro en Portugal donde tuvo lugar la muerte de 59 ciudadanos.

En el Perú, la DGPI (2013) evaluó los peligros que presentan y el gran impacto que se da por las inundaciones, las cuales se presentan por acción de las lluvias de gran intensidad y aumento del caudal de los cuerpos de agua, las cuales son más impactantes con el fenómeno El Niño.

Según la página Web, la Ingeniería Hidráulica (2021) afirma que el proceso de socavación se da inicio cuando el flujo de agua modifica la morfología del rio en el fondo o en la periferia del mismo, las cuales se originan en el fondo y el cauce pudiendo generar pequeños vórtices.

Se presenta en forma de fallas en la cimentación de estructuras de encauzamiento, transporte masivo de sedimentos, socavación en laderas lo cual altera incontrolablemente la morfología del cauce.

Las inundaciones perjudican directamente a la infraestructura que es utilizada para proveer bienes y servicios públicos, tales como carreteras, infraestructuras de educación, de salud, sistemas de irrigación, y las viviendas que son aledañas a las riberas del río; ya que si se llegasen a estas estructuras traería como consecuencias la suspensión de la provisión de bienes básicos de acuerdo con el análisis de la DGPI (2013).

Debido a estos problemas es necesario como alternativas de solución, que se realicen proyectos que minimicen el riesgo frente a inundaciones y erosiones, que son causadas por los variables caudales que tienen los ríos.

**Figura 1.1.** *Vista de la delimitación espacial de la investigación*



**Figura 1.2.** *Vista de la delimitación espacial de la investigación*



### **1.1.1. Problema general**

¿Cuánto es la socavación en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021?

### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuánto es la socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021?
- ¿Cuánto es la socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021?
- ¿Cuánto es la socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la socavación en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Cuantificar la socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021.
- Estimar la socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021.
- Determinar la socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021.

### **1.3. Justificación e importancia de la investigación**

#### **1.3.1. Justificación teórica**

Está orientada a obtener los valores de socavación de acuerdo con distintos periodos de retorno, estos serán parámetros que se podrán tomar en cuenta en los futuros diseños de obras de defensa ribereña.

#### **1.3.2. Justificación práctica**

La investigación se justifica en razón del crecimiento de la ciudad que colinda con la delimitación espacial de esta investigación; Huancavelica es una ciudad geográficamente alargada, por lo que, su crecimiento apunta a realizarse longitudinalmente paralela al cauce del río Ichu.

#### **1.3.3. Justificación metodológica**

El uso de fichas de recolección de datos será indispensable para alcanzar los objetivos planteado en la presente investigación.

#### **1.3.4. Importancia de la investigación**

La investigación es muy importante, ya que, en base al análisis de los resultados de los valores de socavación que se espera encontrar, se podrá contar con parámetros más precisos para el diseño de futuras obras de defensa ribereña.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La socavación según caudales de diseño es máxima en un tramo del río Ichu, Huancavelica, Huancavelica 2021.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- La socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño es alta.
- La socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño es medio.
- La socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño es baja.

## **1.5. Descripción de variables**

### **1.5.1. Variable 1: Caudales de diseño**

#### **Definición conceptual**

Robredo (2012) indica que “se debe conocer la precipitación con una determinada distribución temporal e intensidad, para conocer el coeficiente de escorrentía en la superficie pendiente-suelo vegetación” (p. 4).

#### **Definición operacional**

La variable 1 —*caudales de diseño*— se operacionaliza mediante sus dimensiones: D1 (geomorfología de la cuenca), D2 (descarga máxima) y D3 (método de hidrograma unitario). Estas dimensiones vienen a ser los factores de los caudales de diseño; a su vez, estas dimensiones se desglosan en 4, 4 y 3 indicadores respectivamente.

### **1.5.2. Variable 2: Socavación**

#### **Definición conceptual**

Guevara (2013) indica que “la socavación es un proceso que resulta de la acción erosiva del flujo de agua que arranca y acarrea material de lecho y de los márgenes de un cauce, haciendo que disminuya el nivel del río por el incremento de su capacidad de arrastre de sedimentos. Este proceso se da cuando una corriente de agua encuentra un obstáculo, originándose un desequilibrio entre la cantidad de sedimentos aportados a una sección y la capacidad de

transportar sedimentos fuera de ella, por lo cual, se modifican las condiciones de escurrimiento y se cambia la capacidad de arrastre en los alrededores de la obstrucción” (p, 158).

### Definición operacional

La variable 2 (socavación) se operacionaliza mediante sus dimensiones: D1 (socavación local), D2 (socavación general) y D3 (socavación por contracción). Estos vienen a ser los valores de socavación; a su vez, cada una de las dimensiones se desglosa en tres indicadores.

### 1.5.3. Operacionalización de variables

Tabla 1.1. *Matriz de operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>V1: Caudales de diseño</b>	Para la estimación de caudales, primero es conocer la precipitación que cae sobre la cuenca con una distribución temporal y una intensidad determinadas, luego la determinación del coeficiente de escorrentía definida por el complejo pendiente-suelo vegetación, así como el cálculo proyectado del área de la cuenca y otros parámetros geométricos (Robredo, 2012).	La V1 se operacionaliza mediante sus dimensiones: D1, D2, D3 y D4 que viene a ser los factores de los caudales de diseño; a su vez estas dimensiones se desglosan en 4, 4 y 3 indicadores respetivamente	D1: Geomorfología de la cuenca  D2: Descarga máxima  D3: Método de hidrograma unitario	I1: Topografía I2: Forma de la cuenca I3: Índice de Gravelius I4: Densidad de drenaje  I1: Relaciones IDF I2: Hietogramas de precipitación con IDF I3: Precipitación máxima en 24 horas I4: Periodo de retorno
	La socavación es un proceso que resulta de la acción erosiva del flujo de agua que arranca y acarrea material de lecho y de los márgenes de un cauce, haciendo que disminuya el nivel del río por el incremento de su capacidad de arrastre de sedimentos. Este proceso se da cuando una corriente de agua encuentra un obstáculo, originándose un desequilibrio entre la cantidad de sedimentos aportados a una sección y la capacidad de transportar sedimentos fuera de ella, por lo cual, se modifican las condiciones de escurrimiento y se cambia la capacidad de arrastre en los alrededores de la obstrucción (Guevara, 2003)	La V2 se operacionaliza mediante sus dimensiones: D1, D2 y D3 que vienen a ser los valores de socavación; a su vez cada una de las dimensiones se desglosa en 3 indicadores	D1: Socavación local  D2: Socavación general  D3: Socavación por contracción	I1: Curva número I2: Abstracción inicial I3: Tiempo de concentración  I1: Método de Artamonov I2: Método de Liu-Alia I3: Método de Froehlich  I1: Método de Lischtvan - Levediev I2: Método de Straub I3: Método de Laursen  I1: Método de Straub I2: Contracción natural I3: Zonas de aproximación

## 1.6. Delimitación

### 1.6.1. Delimitación conceptual

La investigación comprende dos variables: los caudales de diseño y la socavación en un tramo del río Ichu.

### **1.6.2. Delimitación espacial**

Esta investigación se realizará en el cauce del río Ichu, zona Troncoso, en el distrito de Ascensión, Huancavelica, departamento de Huancavelica.

### **1.6.3. Delimitación temporal**

El periodo de desarrollo de la investigación se llevará a cabo en los meses de marzo hasta mayo del año 2021.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del problema

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Aguirre y Fajardo (2020), en la tesis de grado titulada “*Susceptibilidad ante socavación de la vía Aguazul-Maní por dinámica fluvial del río Unete*”, se plantearon como **objetivo** “determinar la susceptibilidad a la socavación del suelo aledaña a la carretera Aguazul Maní, producto de la hidrodinámica del río Unete”. Para lograrlo aplicaron una **metodología** cuantitativa no experimental. En consecuencia, como **resultados** encontraron que la tendencia del margen izquierdo del cauce en dirección al flujo para suelos cohesivos posee una resistencia media a la erosión y, para suelos no cohesivos, la resistencia es mínima, de acuerdo con la clasificación dada por Vargas (2012).

Finalmente, fijan como **conclusiones** que, se identificó que el tipo de socavación presentado en los puntos críticos es la denominada socavación en curvas.

Sandoval y Cruz (2019), en la tesis de grado *titulado* “*Resistencia relativa a la erosión fluvial de los suelos que conforman la ribera del río Cravo Sur – tramo: casco urbano Yopal, Casanare*”, se proponen, como **objetivo**, hacer un plano que muestre la vulnerabilidad de suelos que componen el cauce del río Cravo Sur a la erosión, a través de la descripción geotécnica, análisis geomorfológico y multitemporal, para lo cual usaron una **metodología** cuantitativa no experimental. Obtuvieron como **resultados** “los suelos que componen el cauce del río están en niveles de resistencia muy baja a alta. Por otra parte, los suelos que están entre el casco urbano de Yopal y aguas abajo son susceptibles a los procesos de erosión ya que presentan resistencia relativa a la erosión fluvial de media a muy baja”.

En **conclusión**, indican que “la geoforma que tiene superior exposición a fenómenos amenazantes es la terraza baja; esta se halla en el sector con mayor posibilidad de inundación y posee menor resistencia relativa a la erosión fluvial”.

Castellanos (2018), en la tesis de grado titulada “*Medidas de mitigación al efecto de socavación que se presenta en el caño Buque, entre el puente ubicado en la vía Bogotá a 1km del túnel Buenavista al puente de la Av. 40 cerca de la Cll. 15, aplicando soluciones de ingeniería*”, se propuso como **objetivo**, “determinar las obras de ingeniería a realizar para mitigar de manera óptima la socavación en los distintos puntos críticos en el trayecto que va desde el puente que se encuentra en la vía Bogotá – Villavicencio, a una distancia de un kilómetro con respecto al túnel Buenavista, al puente que está situado en la avenida cuarenta (40) cerca de la calle quince (15), en la cuenca media caño Buque”. Aplicó una **metodología** cuantitativa experimental. De ello le resultó que

el área de 5.825 km<sup>2</sup>, densidad de drenaje moderada, pendiente 4%, suelo tipo 1: limo arcilloso y suelo tipo 2: limo-gravo-arcillosa, en su mayoría está constituida por bosque sin urbanizar, Precipitación monomodal, temperatura 25.6 °C - 33°C, humedad relativa 70%, evaporación promedio 105 mms, Caudal cuenca 40.9 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, presenta erosión severa y en el cauce muy severa y catastrófica, La profundidad de socavación oscilan entre 0.41m y 3.20 m y los volúmenes de socavación entre 15.93 m<sup>3</sup> (sin puente) y 223.28 m<sup>3</sup> en 4 secciones estudiadas.

Para **concluir**, precisa que las obras de mitigación en el cauce del caño Buque son necesarias para evitar poner en riesgo las edificaciones y personas que se encuentren en el margen de la ladera del cuerpo hídrico.

Peñaloza, Caamaño y Villagrán (2017), en el artículo “*Estudio comparativo de métodos de cálculo de socavación local en una cepa circular en río de lecho arenoso*”, se plantean como **objetivo** “hallar la socavación local en un punto del río con características de suelo arenoso para un Tr = 100 años”. Aplican distintas metodologías de cálculo, una **metodología** cuantitativa no experimental. Obtiene como **resultados** que

en Tr igual a dos, cinco, diez, veinticinco, cincuenta y cien años no hay variación con respecto a la velocidad, ya que cuenta con un flujo subcrítico muy amplio y toman como método más conservador el método de Yaroslaziev debido a que considera variables hidráulicas, geométricas y geotécnicas.

En **conclusión**, hallan un valor de socavación de 12.95 metros (Yaroslatziev) frente a los valores de 3.99 y 3.17 metros (BNSh y CSU respectivamente).

Farias, Pilán, Olmos y Pece (2008), en el artículo “*Erosión general en ríos aluviales*”, buscan como **objetivo** “demostrar que cuando la corriente del cauce adquiriera una constante dinámica se pueda expresar de forma general la profundidad de sección erosionada”, para lo cual aplican una **metodología** cuantitativa no experimental. Los **resultados** son “los valores media de socavación y desviación estándar son 1.018,  $\sigma$  0.132; 1.052,  $\sigma$  0.137; de acuerdo a las fórmulas de Lischtván & Levediev y la formula teórica respectivamente”.

Por tanto, **concluye** que “en base al caudal unitario y granulometría de los sedimentos se puede hallar los valores de erosión general bajo conceptos teóricos”.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

García e Infante (2018), en la tesis de grado titulada “*Determinación del caudal máximo para diseño de defensas ribereñas del sector Tamarindo – río Tumbes 2018*”, se proponen como **objetivo** “determinar el caudal máximo para diseñar defensas ribereñas en el sector Tamarindo del margen izquierdo en el río Tumbes”, para lo cual aplican una **metodología** cuantitativa no experimental. Obtienen como **resultados** “valores estadísticos de la desviación estándar y media, el caudal máximo es 3592.66 m<sup>3</sup>/s para un Tr=50 años, el diseño de la defensa ribereña y el área inundable de 219.11 Has”.

**Concluyen** que “con el tirante hidráulico calculado se diseñó la defensa ribereña con una altura de 6 m, para un caudal máximo de 3000 m<sup>3</sup>/s permitiendo proteger el sector de riego y que con el diseño de la defensa ribereña el área inundable se reduce a 14.20%”.

Lugo (2019), en la tesis de grado titulada “*Socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019*”, se trazó como **objetivo** “hallar los valores de socavación en muros de defensa ribereña en tramos con desnivel alto – en una muestra del río Rímac”, aplicando una **metodología** cuantitativa no experimental. De ello, obtuvo como **resultados** “para un Tr=100 años tendrá una socavación de 2.24 m empleando el método de Lischtván-Levediev y, con el método de Blench el valor socavación de 5.52 m.”

Finalmente, **concluye**

Se estimó un caudal de 350.98 m<sup>3</sup>/seg. Y al emplearse el método de Lischtvan-Levediev se obtuvo como resultado una socavación general de 2.24 m, mientras que con el método de Blench se estimó 5.52 m y, a la profundidad de 4.98m obtenida con el modelamiento en el software de HEC-RAS.

Carhuaz (2020), en la tesis para optar el grado de ingeniero civil titulada “*Mejoramiento del estudio de hidráulica fluvial del proyecto de protección contra inundaciones en seis tramos del río Pisco, Ica*”, se trazó el **objetivo** de “mejorar la hidráulica de ríos, de acuerdo a los valores del estudio hidrológico, simulaciones hidráulicas y la comprobación de los valores de socavación en seis tramos del río Pisco – Ica”, para lo cual aplicó una **metodología** cuantitativa no experimental y, como **resultados** obtuvo “el trazo definitivo de los ejes en el río Pisco, parámetros para el diseño del dique en correspondencia al NAME para un Tr=50 y Tr=100 años y por último el nivel de fondo de la cimentación”.

Por lo tanto, **concluye** en que

se usaron las fórmulas de régimen de Lacey, Blench, Laursen y Lischtvan-Levediev, para un Tr=50 años el caudal se considera 800 m<sup>3</sup>/s; considerando un valor representativo de socavación promedio de 1.35 m; la variación de cotas de borde libre para un Tr=50 años y Tr=100 años es 0.10 m y 0.25 m y caudales de 800 m<sup>3</sup>/s y 900 m<sup>3</sup>/s respectivamente, considerando para un Tr=50 años como borde libre 1.00 m.

Choque, Mamani y Vilcanqui (2020), en el artículo “*Determinación de la faja marginal del río Caplina en el distrito de Pachia y Calana mediante modelamiento hidráulico*”, se plantean el **objetivo** “determinar la faja marginal del río Caplina en los distritos de Pachía y Calana mediante un modelamiento hidráulico”, aplicando una **metodología** explicativa. Obtienen como **resultados** que “los caudales máximos los cuales son 6,37 m<sup>3</sup>/s, 12,33 m<sup>3</sup>/s, 27,13 m<sup>3</sup>/s, 36,05 m<sup>3</sup>/s y 47,01 m<sup>3</sup>/s y 82,55 m<sup>3</sup>/s para Tr de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años correspondientemente”.

Finalmente, sus **conclusiones** son como sigue:

Para un Tr=2 años el área de inundación será de 14,90m<sup>2</sup> (margen derecho distrito de Calana), para 5 años el área de inundación será de 16,46m<sup>2</sup> (margen derecho distrito de Calana), para 10 años el área de inundación será de 09,09m<sup>2</sup> (margen izquierdo distrito de Pachía) y 47,27m<sup>2</sup> (ambos márgenes distrito de Calana), para 25 años el área de inundación será de 80,15m<sup>2</sup> (margen izquierdo distrito de Pachía) y 99,22m<sup>2</sup> (margen

derecho distrito de Calana), para 50 años el área de inundación será de 190,6m<sup>2</sup> (distrito de Pachía) y 197,75m<sup>2</sup> (margen derecho distrito de Calana), para 100 años el área de inundación será de 420,90m<sup>2</sup> (margen izquierdo distrito de Pachía) y 252,93m<sup>2</sup> (margen derecho distrito de Calana).

Herencia y Carrera (2019), en el artículo “*Estimación caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales*”, se plantearon como **objetivo** “encontrar los valores del flujo en máximas avenidas basándose en los datos hidrometeorológicos que brinda el SENAMHI para calcular los valores de flujo con un patrón resumido y racional en la cuenca del río Checras. Para ello aplican una **metodología** cuantitativa no experimental. Los **resultados** fueron que

La eficiencia de la ecuación de Vosresiensky, Zhivotovsky y Zhelezniakov es de 94.3 % la cual se basa en el área de la cuenca estudiada, la misma que cuenta con poca información hidrometeorológica; los caudales obtenidos oscilan entre 10.032 y 10.010 m<sup>3</sup>/s, al realizar la medición del aforo con métodos empíricos se obtiene un valor de 9.4 m/s teniendo como margen de error un 5.99 %.

Finalmente, **concluyen** que “cuando se realiza el estudio de una cuenca que cuenta con poca información hidrometeorológica la ecuación de Vosresiensky, Zhivotovsky y Zhelezniakov son eficientes y pueden ser utilizadas para tal fin”.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Variable 1: caudales de diseño**

#### **2.2.1.1. Factores de la variable V1 caudales de diseño**

##### **2.2.1.1.1. D1: Geomorfología de la cuenca**

Los estudios realizados para determinar la forma de la cuenca están ligados a distintos factores, los cuales se describen como:

- **Topografía**

De acuerdo con las características de la cuenca se consideran los siguientes componentes:

- **Delimitación**

Según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC] de México (2005), “la delimitación de cuencas implica una demarcación de áreas de drenaje

superficial en donde las precipitaciones (principalmente pluviales) que caen sobre éstas tienden a ser drenadas hacia un mismo punto de salida” (p. 3).

- **Área de cuenca**

Para Ibañez, Moreno y Gisbert (2011), “el área de la cuenca está definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro (P). Esta línea se traza normalmente mediante fotointerpretación de fotografía aéreas en las que se aprecia el relieve [...]” (p. 6).

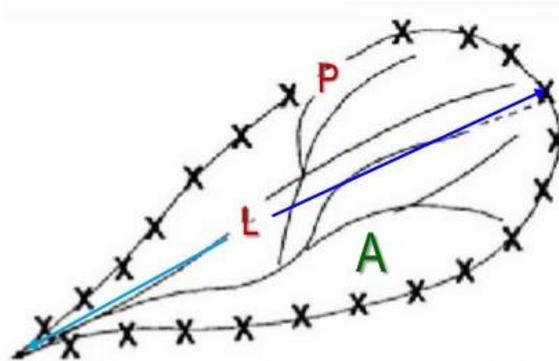
- **Longitud, perímetro y ancho**

Según Ibañez et al. (2011), la longitud L del cauce principal se define por “la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba” (p. 6), como se aprecia en la figura 2.1.

Contando con la longitud y el área podemos calcular el ancho de la cuenca (W) mediante la Ecuación 2.1.

$$W = \frac{A}{L} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Figura 2.1. Longitud y perímetro de una cuenca



Nota: Tomado de Ibañez et al. (2011)

• **Forma de la cuenca**

- **Razón de circularidad de Miller (Rc)**

Londoño (2001) indica que “Miller usó una razón circular adimensional, definida como la razón del área de la cuenca (A), al área de un círculo (Ac) que tiene el mismo perímetro de la cuenca (P)” (p. 208), definida mediante la Ecuación 2.2.

$$Rc = \frac{A}{A_c} \Rightarrow Rc = 12.566 \frac{A}{P^2} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Como consecuencia de esto la “[...] razón es menor o igual a uno; los valores disminuyen a medida que la cuenca es más alargada o rectangular, y tienden a la unidad para cuencas redondas” (p. 208).

- **Factor de forma de Horton**

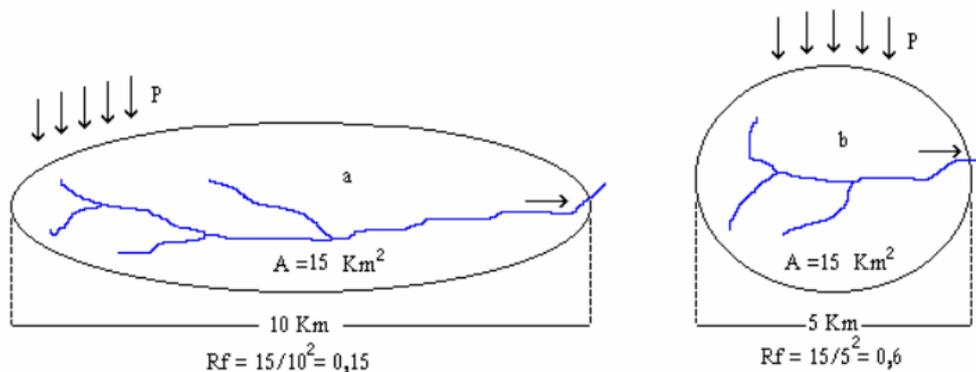
Para Londoño (2001), “el factor de forma de Horton (Rf) expresa la relación existente entre el área de la cuenca (A) y el cuadrado de la longitud máxima o longitud axial de la misma (Lb)” (p. 206) (Ecuación 2.3).

Londoño (2001) también indica que “la concentración es lenta en una cuenca de forma alargada y es menos susceptible a tener lluvia en toda su área, en cambio en una de forma redonda que cuenta con una superficie igual, es más susceptible” (Figura 2.2).

El factor de forma de Horton se calcula mediante la Ecuación 2.3.

$$Rf = \frac{A}{Lb^2} \quad (Ec. 2.3)$$

Figura 2.2. Factor de forma de Horton

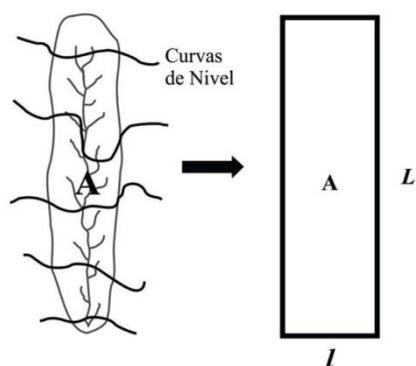


Nota: Tomado de Londoño (2001)

- **Rectángulo equivalente**

De acuerdo con Villón (2011), “el rectángulo equivalente es una transformación geométrica que permite representar una cuenca con la forma de un rectángulo (Figura 2.3), comprendiendo un área igual, perímetro (igual, índice de Gravelius), distribución de alturas (igual, curva hipsométrica) y distribución de terrenos semejantes” (p. 46).

Figura 2.3. Transformación geométrica de la cuenca



Nota: Tomado de Villón (2014)

Para calcular los lados L e I se aplica las Ecuaciones 2.4 y 2.5 respectivamente.

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

$$I = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

- $K$  = índice de Gravelius
- $A$  = área de la cuenca.

- **Índice de Gravelius (índice de compacidad)**

Para Villón (2011), “el índice de compacidad [...] expresa la relación entre el perímetro de la cuenca, y el perímetro equivalente de una circunferencia, que tiene la misma área de la cuenca” (p. 41).

Para poder contar con las características del hidrograma, se calcula la influencia que tiene el perímetro y el área de la cuenca con la Ecuación 2.6.

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

- **Densidad de drenaje**

De acuerdo con Villón (2011), “la densidad de drenaje proporciona una información más real, determinada principalmente por su topografía, condiciones de suelo y régimen de precipitaciones, ya que se expresa como la longitud de los cursos de agua por unidad de área” (p. 42), es decir:

$$D_d = \frac{L_i}{A} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

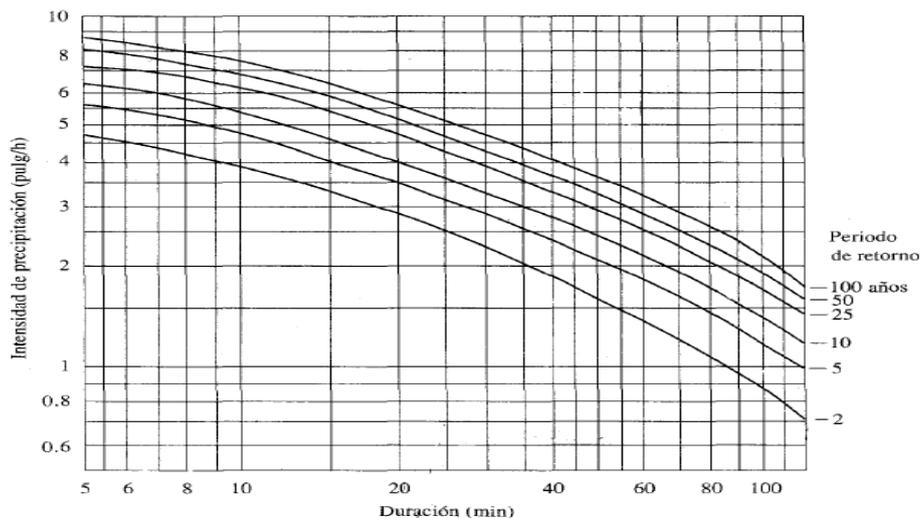
- $D_d$  = Densidad de drenaje
- $L_i$  = Longitud acumulada de los cursos de agua (km)
- $A$  = Área total de la cuenca (km<sup>2</sup>)

#### 2.2.1.1.2. D2: Descarga máxima

- **Relaciones intensidad-duración-frecuencia (IDF)**

Novak, Moffat y Nalluri (2001) explican que “la forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia (o profundidad), la duración y las frecuencias o periodos de retorno apropiados para la obra y el sitio” (p. 465).

**Figura 2.4.** Curvas intensidad-duración-frecuencia para precipitaciones máximas



Fuente: Novak, Moffat & Nalluri (1994)

- **Hietogramas de precipitación de diseño en base a las relaciones IDF**

- **Método del bloque alterno**

Se afirma que “el método del bloque [...] calcula la profundidad de precipitación en intervalos de tiempos sucesivos sobre una duración total, los cuales se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida” Novak, Moffat y Nalluri (2001) (p. 478).

- **Método de la intensidad instantánea**

Novak, Moffat & Nalluri (2001) indican que

si se conoce la ecuación que define la curva IDF, pueden desarrollarse ecuaciones que describan la variación de la intensidad con el tiempo en el hietograma de diseño. El principio es similar al empleado en el método del bloque alterno, es decir, la profundidad de precipitación para un periodo de duración  $T_d$  alrededor del pico de la tormenta es igual al valor dado por la curva o ecuación de IDF (p. 479).

- **Precipitación máxima en 24 horas**

Sánchez (2021) define que “cuando se dispone de series pluviométricas mayores a 20 años (largas) se puede calcular la probabilidad que las precipitaciones superen el valor inicial al año siguiente o cada 10 o cada 100 años” (p. 5).

- **Periodo de retorno**

Mélice y Reason (2007) definen el periodo de retorno “como el lapso o número de años que, en promedio, se cree que será igualado o excedido en cualquier evento extremo” (p. 499).

Por su parte Gutiérrez, et. al. (2011), mencionan que “el grado de magnitud de un fenómeno extremo está relacionado de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia, las precipitaciones muy intensas ocurren con una frecuencia menos que las moderadas o débiles” (p. 2).

### **2.2.1.1.3. D3: Método de hidrograma unitario**

- **Curva número**

Para Diaz (2017), “el número de curva es un parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como por el grupo hidrológico de suelo” (p. 454).

Diaz (2017) continua en su texto indicando “que el número de curva para diferentes combinaciones de grupos hidrológicos, que son conjuntos de suelos que tiene similar comportamiento frente a la generación de escorrentía y se clasifica en una de las siguientes categorías” (p. 454).

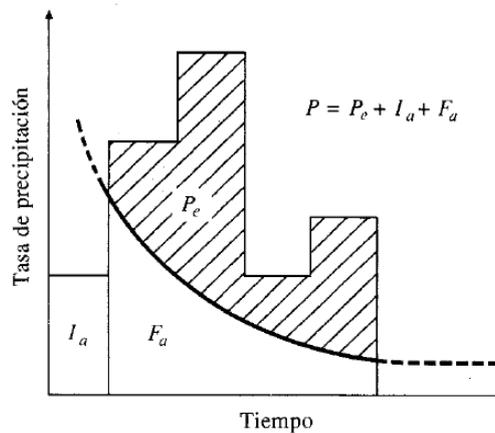
Tabla 2.1. *Grupos hidrológicos de suelos*  
Fuente: Diaz (2017)

GRUPO	DESCRIPCIÓN
Grupo A	Bajo potencial de escurrimiento. Suelos que tienen altas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de arena y gravas profundas, con bueno a exceso drenaje. Estos suelos tienen altas velocidades de transmisión del agua.
Grupo B	Suelos con moderada velocidad de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos con cantidades moderadas de texturas finas y gruesas, con drenaje medio y algo profundo. Son básicamente suelos Arenosos.
Grupo C	Suelos que tienen bajas velocidades de infiltración cuando están mojados consisten principalmente de suelos que tienen un estrato que impide el flujo de agua. Son suelos con texturas finas (margas arcillosas, margas arenosas poco profundas). Estos suelos tienen bajas velocidades de transmisión.
Grupo D	(Alto potencial de escurrimiento. Suelos que tienen muy bajas velocidades de Infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos arcillosos con alto potencial de hinchamiento, suelos con nivel freático y permanente, suelos con estratos arcillosos cerca de sus superficie, o bien suelos someros sobre horizontes impermeables.

- **Abstracción inicial**

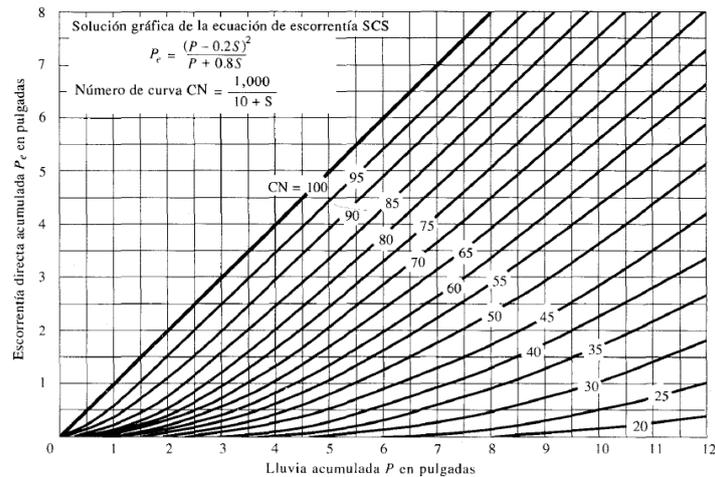
Novak, Moffat y Nalluri (2001) menciona que “el Soil Consevation Service (SCS) desarrolló un método donde considera la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa  $P_e$  es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación  $P$ ; la cual resulta en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales sean iguales” (p. 151).

**Figura 2.5.** Variables en el método de abstracciones de precipitación del SCS:  $I_a$  = abstracción inicial,  $P_e$  = exceso de precipitación,  $F_a$  = abstracción continuada,  $P$  = precipitación total.



Fuente: Novak, Moffat & Nalluri (1994)

**Figura 2.6. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS**



Fuente: Soil Conservation Service (1972)

- **Tiempo de concentración**

Ibañez, Moreno y Gisbert (2011) lo definen como “el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre” (p. 3).

### 2.2.2. Variable 2: Socavación

Para Guevara (2013), “la socavación es un proceso que resulta de la acción erosiva del flujo de agua que arranca y acarrea material de lecho y de las márgenes de un cauce, haciendo que disminuya el nivel del río por el incremento de su capacidad de arrastre de sedimentos” (p.165).

Guevara (2013) también menciona que “el proceso se da cuando una corriente de agua encuentra un obstáculo, originándose un desequilibrio entre la cantidad de sedimentos aportados a una sección y la capacidad de transportar sedimentos fuera de ella, por lo cual, se modifican las condiciones de escurrimiento y se cambia la capacidad de arrastre en los alrededores de la obstrucción” (p.165).

#### 2.2.2.1. Tipos de la variable V2: Socavación

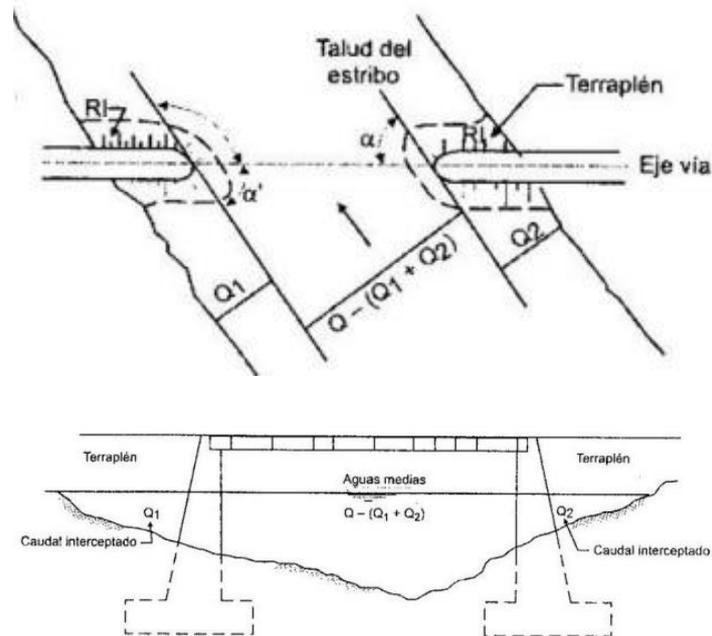
##### 2.2.2.1.1. D1: Socavación local

- **Método de Artamonov**

Para Rodríguez (2010), el método de Artamonov “permite determinar la profundidad de socavación no solamente al pie de estribos sino también el pie de espigones o espolones” (p. 67).

La ecuación del método de Artamonov depende de los factores de relación entre caudales entre la estructura y el cauce, talud de los estribos y el ángulo formado por los ejes del puente y la corriente (Figura 2.7).

Figura 2.7. Caudales obstruidos por estribos



Fuente: Rodríguez (2010)

La profundidad de la lámina de agua más la profundidad de socavación al pie de un estribo o espigón:

$$H_t = K_\theta K_Q K_m h \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

- $H_t$  = profundidad medida desde el espejo de agua hasta la nace del estribo.
- $K_\theta$  = valor de acuerdo al ángulo formado entre la corriente y el eje de la estructura (Tabla 2.2).
- $K_Q$  = relación entre el caudal total  $Q_d$  y los caudales obstruidos por el estribo  $Q_1$  o  $Q_2$  (Tabla 2.3).
- $K_m$  = valor dependiente del talud al borde del cauce (Tabla 2.4).
- $h$  = tirante de agua en la zona cercana al espigón o estribo antes de la socavación.

Tabla 2.2. Coeficiente de corrección  $K_\theta$

$\theta$	20°	60°	90°	120°	150°
$K_\theta$	0,84	0,94	1,00	1,07	1,19

Tabla 2.3. Coeficiente de corrección  $K_Q$

$Q_1/Q_2$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
$K_Q$	2.00	2.65	3.22	3.45	3.67	3.87	4.06	4.20

**Tabla 2.4.** Coeficiente de corrección  $K_m$

Talud $m$	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
$K_m$	1.00	0.91	0.85	0.83	0.61	0.50

- **Método de Liu, Chang y Skinner**

Según Rodríguez (2010), el método de Liu, Chang y Skinner “es aplicado en estribos que se prolongan hasta el cauce principal, donde que el flujo del mismo no alcanza la zona de inundación” (p. 112).

$$\frac{d_s}{h} = K_f \left(\frac{L}{h}\right)^{0.4} Fr^{0.33} \quad (Ec. 2.9)$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (Ec. 2.10)$$

Donde:

- $d_s$  = altura medida desde el nivel más profundo de socavación hasta el espejo de agua (m)
- $h$  = tirante aguas arriba dentro del cauce principal (m)
- $L$  = longitud del estribo que interrumpe el paso del agua por el puente (m)
- $Fr$  = número de Froude calculada aguas arriba
- $V$  = velocidad aguas arriba (m/s)
- $K_f$  = coeficiente de corrección por la forma del estribo
- $K_f = 1.1$  para estribos con pared inclinada hacia el cauce
- $K_f = 2.15$  para estribos con pared vertical

- **Método de Froehlich**

Guevara (2013) precisa que la ecuación dada por Froehlich (ecuación 2.11) “puede ser usada para socavación en agua clara tanto como en lecho móvil, para estribos que se proyecten dentro del cauce principal o fuera del mismo y para flujo concentrado en el cauce principal o combinado con flujo sobre las zonas de inundación” (p. 136).

$$\frac{d_s}{h_e} = 2.27K_f K_\theta \left(\frac{L}{h_e}\right)^{0.43} Fr_e^{0.61} + 1 \quad (Ec. 2.11)$$

$$K_\theta = \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.13} \quad (Ec. 2.12)$$

$$Fr_e r = \frac{V_e}{\sqrt{gh_e}} \quad (Ec. 2.13)$$

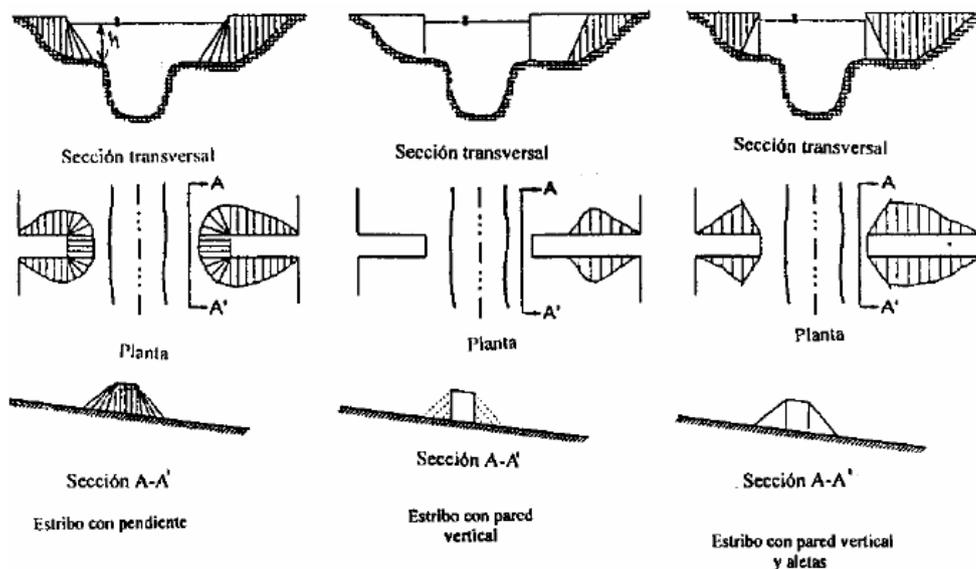
Donde:

- $d_s$  = profundidad de socavación (m)
- $h_e$  = profundidad media del flujo (m)
- $K_f$  = coeficiente de forma del estribo.
- $K_\theta$  = coeficiente dependiente del ángulo entre el flujo y la sección del puente.
- $L$  = longitud del estribo que interrumpe el paso del agua por el puente
- $F_{re}$  = número de Froude en la sección obstruida.
- $\theta$  = ángulo de inclinación del estribo.  
 $\theta < 90^\circ$  si el estribo está inclinado hacia aguas abajo  
 $\theta > 90^\circ$  si el estribo está inclinado hacia aguas arriba

**Tabla 2.5.** Coeficiente por la forma del estribo  $K_f$ .  
Método de Froehlich. HEC-18. 1993

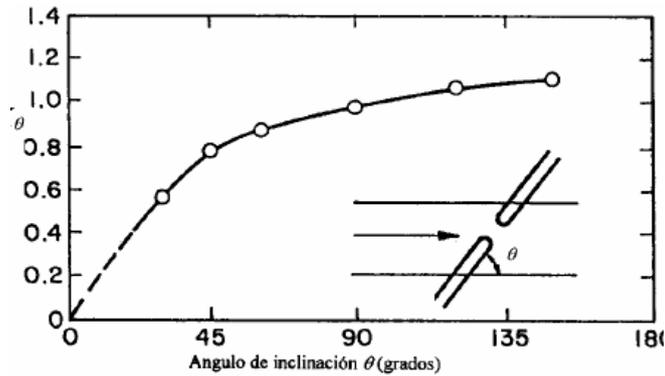
Descripción	$K_f$
Estribo con pared vertical	1.00
Estribo con pared vertical y aletas	1.82
Estribo con pendiente hacia el cauce	0.55

**Figura 2.8.** Formas comunes de estribos



Fuente: Método de Froehlich. HEC-18, 1993

**Figura 2.9.** Factor de corrección  $K_\theta$



Fuente: Método de Froehlich. HEC-18. 1993

### 2.2.2.2.D2: Socavación general

De acuerdo con Toapaxi, Galiano, Castro, Hidalgo y Valencia (2014) definen que

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 (p. 11).

- **Método de Lischtvan – Levediev**

Este método se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente y la velocidad erosiva, que es la velocidad que se requiere para levantar y arrastrar el material del fondo del cauce, llamada velocidad media crítica.

A medida que el tirante aumenta con la socavación,  $H_s$  disminuye hasta alcanzar el tirante  $h$ , lo conlleva a un equilibrio y un cese del fenómeno de socavación.

De acuerdo al estudio de granulometría la formula utiliza será para suelos granulares considerando coeficientes de corrección por contracción y peso específico del agua.

$$H_s = \left( \frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta \mu \phi D_m^{0.28}} \right)^{1/1+z} \quad (Ec. 2.14)$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{AR^{2/3}} = \frac{s^{1/2}}{n} \quad (Ec. 2.15)$$

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \log T_r \quad (Ec. 2.16)$$

$$z = 0.394557 - 0.04136 \log D_m - 0.00891 \log.^2 D_m \quad (Ec. 2.17)$$

$$\varphi = 1.0, \text{ si } \gamma_m = 1.0 \frac{t}{m^3} (\text{agua clara}) \quad (\text{Ec. 2.18})$$

$$\varphi = -0.54 + 1.5143\gamma_m, \text{ si } \gamma_m > 1.0 t/m^3 (\text{lecho móvil}) \quad (\text{Ec. 2.19})$$

Donde:

- $n$  = valores de Manning
- $S$  = si se asume un flujo uniforme se considera la pendiente hidráulica.
- $\alpha$  = coeficiente de sección de acuerdo a las características hidráulicas.
- $z$  = Coeficiente de correlación o de ajuste = 0.9983
- $H_s$  y  $h$  (m)
- $A$  = área de la sección (m<sup>2</sup>)
- $D_m$  (mm)
- $\beta$  = coeficiente de frecuencia.
- $R$  = radio hidráulico (m)
- $\mu$  = factor de corrección por contracción del cauce.
- $\gamma_m$  = peso específico de la muestra agua sedimento.
- $Q_d$  = caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).
- $\varphi$  = factor de corrección por forma de transporte de sedimentos.

**Tabla 2.6.** Factor de corrección por contracción del cauce  $\mu$

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
1.0	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
1.5	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
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	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	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
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
> 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

### • Método de Straub

Para Guevara (2013), el método de Straub “se puede emplear para calcular, cuánto descende el fondo de un cauce cuando por la construcción de una obra ha disminuido su sección hidráulica (erosión transversal)” (p. 62).

Guevara (2013) también menciona que “este método se aplica, siempre y cuando se cumpla el principio de conservación de la masa en la sección estudiada y la sección inalterada, teniendo en cuenta que la rugosidad sea la misma a lo largo de todo el tramo” (p. 62).

$$H_s = \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{0.642} h_1 \quad (\text{Ec. 2.20})$$

$$D_s = H_s - h_1 \quad (\text{Ec. 2.21})$$

Donde:

- $B_1$  = ancho superior del cauce aguas arriba de la contracción (m)
- $B_2$  = ancho superior del cauce en la contracción (m)
- $h_1$  = tirante de agua hacia aguas arriba de la contracción (m)

- **Método de Laursen**

De acuerdo con Valverde (2019), el método de Laursen “es una función de carga total basada inicialmente en ecuaciones de aforadores, del exceso de esfuerzo cortante y la relación entre la velocidad de corte y la velocidad de caída” (p. 33)

$$H_s = \left( \frac{n^2 Q^2}{K_s (G_s - 1) D_m W^2} \right)^{3/7} \quad (\text{Ec. 2.22})$$

Donde:

- $K_s$  = parámetro de Shields = 0.039
- $G_s$  = gravedad específica del material del lecho = 2.65
- $n$  = coeficiente de rugosidad de Manning = 0.041  $D_m^{1/6}$
- $Q_2$  = caudal a través del puente o en las laderas sin transporte de sedimentos [m<sup>3</sup>/s]
- $D_m$  = diámetro medio efectivo del material más pequeño del lecho en el cauce o en la zona de inundación que no es transportado por el flujo.  
Si no se tienen datos precisos,  $D_m = 1.25 D_{50}$

### 2.2.2.3.D3: Socavación por contracción

La socavación por contracción ocasiona la remoción del material del lecho y orillas a través de todo o la mayor parte del ancho del río, debido al incremento de velocidades y al incremento del esfuerzo cortante en el lecho del río debido a la reducción del área de flujo.

- **Método de Straub**

Para Suarez (2001), “el método de Straub estima el descenso del fondo de cause debido a la reducción de su sección transversal por la construcción de obras de ingeniería” (p. 84).

Para aplicar este método, se debe cumplir con el principio de la conservación de la masa en la sección de estudio (sección contraída) y una sección aguas arriba (sin modificaciones).

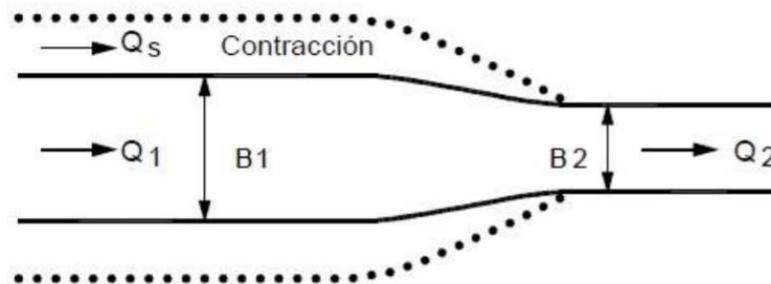
$$H_s = \left( \frac{B_1}{B_2} \right)^{0.642} h_1 \quad (\text{Ec. 2.23})$$

$$D_s = H_s - h_1 \quad (\text{Ec. 2.24})$$

Donde:

- $B_1$  = ancho superior del cauce aguas arriba de la contracción (m)
- $B_2$  = ancho superior del cauce en la contracción (m)
- $h_1$  = tirante de agua hacia aguas arriba de la contracción (m)

Figura 2.10. Contracción de un canal



Fuente: Suárez (2001)

### 2.3. Definición de términos básicos

#### TN1.- Modelo matemático

Sirven para predecir valores de las variables en un determinado periodo o actividad entre distintos objetivos.

#### TN2.- Simulación hidráulica

Es un análisis de interrelación entre parámetros geomorfológicos del cauce de un río y la manera que influye en el nivel de agua las obstrucciones u obras hidráulicas que se presentan en su cauce.

#### TN3.- Cauce

Lugar físico donde fluye el agua en su curso, entre las orillas o riberas. Cuando el agua sale de su cauce, se provoca una inundación.

#### TN4.- Batimetría

Una batimetría se refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, ciénagas, humedales, lagos, embalses, etc.

#### TN5.- Periodo de retorno

Es la estimación del intervalo de tiempo medio transcurrido entre las ocasiones en que ocurre un evento de un tamaño o intensidad definida, por ejemplo, una crecida o lluvias extremas, con un valor o intensidad por encima o por debajo de un valor dado.

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

### 3.1. Métodos y alcance de la investigación

#### 3.1.1. Método científico

Según Sierra (2001), “con el método científico se busca brindar conocimiento sobre la realidad en base a la teoría ya existente para responder preguntas, resolver problemas y explicarlos para dar soluciones” (p. 20).

La investigación refleja la necesidad de medir los valores de socavación generadas en su cauce en determinadas frecuencias (periodos de retorno), basados en conocimiento científicos ya existentes.

El presente proyecto de investigación se utilizó el método *científico*.

#### 3.1.2. Investigación de tipo aplicada

Para Murillo (2008), como se citó en Vargas (2009), “la investigación aplicada se basa en conocimiento teóricos adquiridos para luego aplicarlos y convertirlos en conocimientos prácticos, adquiriendo nuevos conocimientos en el proceso, lo cual deriva en conocer la realidad de una forma precisa, ordenada y sistemática” (p. 159).

En consecuencia, al concluir la presente investigación se podrá determinar parámetros de socavación los cuales podrán ser aplicados en futuros diseños más precisos de defensa ribereña.

En base a los conceptos descritos, este proyecto de investigación se clasifica del tipo *aplicada*.

### **3.1.3. Nivel explicativo**

Hernández, Fernández y Baptista (2014) indican que “los estudios explicativos están dirigidos a interpretar la realidad, explicando el por qué y para qué de la manifestación de un fenómeno y su relación entre variables” (p. 95).

Con la presente investigación se pretende evaluar y aclarar por qué la socavación del cauce del río Ichu varía de acuerdo con la frecuencia de su caudal.

El presente trabajo de investigación corresponde al nivel *explicativo*.

### **3.1.4. Diseño no experimental**

Por su parte Kerlinger y Lee (2020), describen que “la investigación no experimental solo observa los fenómenos en el contexto en el que suceden, debido a que ya han ocurrido, por lo que solo se hace inferencias en la relación de las variables, sin intervención directa” (p. 504).

Se observará la socavación dada en el río Ichu, para analizarla de acuerdo a distintos periodos de retorno.

Este proyecto de investigación será realizará mediante un diseño *no experimental*.

## **3.2. Población, muestra y muestreo**

### **3.2.1. Población**

Según Fracica (1988), la población es “[...] el conjunto de todos los elementos a los cuales se refiere la investigación. Se puede definir también como el conjunto de todas las unidades de muestreo” (p. 36).

En la presente investigación, la población estará conformada por la delimitación de toda la longitud del río Ichu que es 45 km.

### **3.2.2. Muestra**

Ander-Egg (2011) considera que “la muestra es la adecuada selección del porcentaje de individuos con características proporcionalmente más parecidas a las de la población de los que se obtendrá información, datos u opiniones para el estudio” (p. 106-107).

En la presente investigación, la muestra estará comprendida en un tramo del río Ichu (zona Troncoso), del distrito de Ascensión, de la provincia de Huancavelica; se delimita esta zona ya que contiene características necesarias para lograr el objetivo a investigar.

### **3.2.3. Muestreo**

Hernández et. Al. (2014) definen el muestreo como “el acto de seleccionar un subconjunto de un conjunto mayor, universo o población de interés para recolectar datos a fin de responder a un planteamiento de un problema de investigación” (p. 567).

Por su parte Johnson (2014), como se citó en Hernández et al (2014) precisa que “en las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador” (p. 176).

Para Palella y Martins (2012), el muestreo intencional es donde “el investigador establece previamente los criterios para seleccionar las unidades de análisis, las cuales reciben el nombre de tipo” (p. 114)

El proyecto de investigación desarrollado es de tipo *no probabilístico* debido a que la muestra no es representativa ya que puede presentarse en diferentes condiciones, ya sea por su ubicación, por el clima, entre otros.

En cuanto a subtipo es un *muestreo intencional* ya que se tomará la muestra de acuerdo a criterios de ubicación, clima, entre otros.

## **3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **3.3.1. Observación directa**

De acuerdo a Palella, et. al. (2012), indican que la observación es directa “cuando el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar” (p. 118)

En la presente investigación se aplicará la técnica de observación directa para la recopilación de la información.

### 3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Cerda (1991) indica que “Los instrumentos vienen a ser el resumen o traducción operativa de los conceptos y variables teóricas, defecto, de los objetivos generales y específicos” (p. 235).

El instrumento es uno de los productos finales de la investigación debido a que plasma toda la información en el tiempo de recopilación para ser contrastado en campo.

Se usará como instrumento la ficha recolección de datos para el presente proyecto.

### 3.3.3. Validez

Para Anastasi y Urbina (1998), la validez “tiene que ver con lo que mide el cuestionario y cuán bien lo hace” (p.113).

Además, Kerlinger (1986) plantea la siguiente pregunta respecto de la validez: “¿está midiendo lo que cree que está midiendo? Si es así, su medida es válida; si no, evidentemente carece de validez” (p. 138).

Los instrumentos de investigación se validaron mediante el juicio de expertos.

**Tabla 3.1.** Rangos de validez

Rango de validez	Interpretación
0.81 a 1.00	Muy alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy baja

Tabla 3.2. Validez de contenido del instrumento de las variables: V1 Caudales de diseño y V2 Socavación por juicio de expertos.

Nº	Grado académico	Nombres y Apellidos	CIP	Validez
01	Doctor Ing. Civil	Jaime Rupay Aguilar	55138	0.85
02	Ing. Civil	Adolfo Ñahui Gaspar	89663	0.90
03	Ing. Civil	Roger Quispe Espinoza	86921	1.00

### 3.3.4. Confiabilidad

Según Corral (2009), “La confiabilidad responde a la pregunta ¿con cuánta exactitud los ítems reactivos o tareas representan al universo es donde fueron seleccionados?” (p.238).

La confiabilidad se determina generalmente mediante la prueba de alpha de Cronbach.

**Tabla 3.3.** Rangos de confiabilidad

Rango de validez	Interpretación
0.81 a 1.00	Muy alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy baja

### 3.4. Procedimiento

Cumplido los análisis de confiabilidad y validez, se aplicará la prueba piloto con una muestra de los instrumentos; se aplicarán en forma anónima, supervisado por el investigador, recolectándose la información en los cuestionarios, cuyos datos se procesarán con el software estadístico SPSS 26.

### 3.5. Métodos de análisis de datos

Como método de análisis se empleó la estadística descriptiva para el cálculo de frecuencias, parámetros de tendencia central y dispersión, mientras que el contraste de hipótesis se empleó la estadística inferencial. El procesado de la información se realizó con Excel y el software SPSS26 respectivamente.

Modelo Hidrológico: Software de Sistema de Información Geográfica (QGIS)

Modelo Hidráulico: Hec-Ras, Hec-HMS

Software de ofimática: Ms Office (Ms Excel, Ms Word, Ms Power Point)

### 3.6. Aspectos éticos

Describe los criterios (nacionales e internacionales) que se utilizan para garantizar la calidad ética de la investigación, explicando la aplicación de los principios éticos (beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia) según corresponda.

En esta investigación se respetarán: validez de los resultados, propiedad intelectual de los autores, confiabilidad de la información conseguida y la identidad de las personas que participarán en el estudio.

Los criterios éticos tomados en cuenta fueron: confidencialidad, objetividad, originalidad y el consentimiento informado de las personas implicadas en la información.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

### **4.1. Descripción de la zona de estudio**

#### **4.1.1. Ubicación**

El sector Troncoso políticamente se encuentra ubicado en el distrito de Ascensión, provincia de Huancavelica, región de Huancavelica; como muestra se ubica el inicio en la progresiva 0+000 (a 100 m al sur oeste del Hospital Regional Zacarias Correa Valdivia) con coordenadas UTM WGS 84-18S E: 497509.909 N = 8587870.817 y Cota igual a 3744.93 m.s.n.m. y el fin en la progresiva 1+950 aguas abajo del punto inicial (a 25 m sur este del puente peatonal Callqui Chico) con coordenadas UTM WGS 84-18S E: 499268.272, N: 8587871.186 y Cota igual a 3725.57 m.s.n.m.

#### **4.1.2. Características de la zona de estudio**

La cuenca del río Ichu abarca un área de 510.195 km<sup>2</sup>, una pendiente de la cuenca principal de 31.238 m/km, la pendiente de la muestra es de 1.1 % desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 1+950 (puente peatonal); las características del tipo de suelo están compuestas en su mayoría por grava arena limosa no plástica, mezcla de grava arena limo de color marrón plomizo.

### **4.2. Estudios previos**

#### **4.2.1. Estudios de campo**

##### **4.2.1.1. Estudios topográficos**

- Se realizó la medición de lados (ángulos y distancias) del tramo estudiado con una Estación Total, por el método de repetición (anteojo directo e inverso), entre los puntos definidos de la poligonal del tramo del río Ichu y los puntos BM 1, 2 y 3.

Al no encontrar un BM oficial cerca del tramo estudiado se procedió a ubicar el BM1 y BM2 mediante GPS, pudiendo de esta forma georreferenciar la Estación Total.

A partir del BM1, con coordenadas E: 499250.259, N: 8587924.690 y Cota m.s.n.m. 3730.437 se desarrolla la nivelación geométrica cerrada, logrando calcular las cotas con un error tolerable de  $\pm 0.012\sqrt{K}$  (Kilómetro) y así cumplir con el control vertical de Cotas.

- Los equipos utilizados son GPS Garmin, Estación Total marca Topcon modelo CS-105, un trípode de aluminio, dos prismas y porta prismas.
- El panel fotográfico se muestra en el anexo 1.

#### **4.2.1.2.Exploración de suelos**

Se ha efectuado trabajos de exploración de suelos mediante excavación de calicatas a cielo abierto, la C-1 ubicada en la progresiva 0+050, C-2 ubicada en la progresiva 0+950 y C-3 ubicada en la progresiva 1+850, en los cuales se realizó el respectivo análisis granulométrico por tamizado en el laboratorio de mecánica de suelos VAZATT GEOTEST SRL.

Los planos de calicatas y perfiles estratigráficos se muestran en el anexo 2.

#### **4.2.1.3.Aforos de corrientes naturales**

El área de estudio no cuenta con una estación de registro de caudal, debido a esto se recurre a la utilización de datos de precipitación y temperatura de estaciones pluviométricas cercanas.

Para la presente investigación se evaluó 4 estaciones pluviométricas, Lircay, Huancalpi, Tunel Cero y Acobamba las cuales cuentan con un registro de precipitación desde el año 1965 hasta el 2013, siendo la estación pluviométrica de Lircay la más cercana a la muestra delimitada en el presente trabajo de investigación.

#### **4.2.2. Estudios de laboratorio**

Análisis granulométrico por tamizado: Desarrollado bajo la Norma Técnica Peruana 339.128 y/o ASTM D 422; los certificados se adjuntan en el anexo 3.

### 4.3. Análisis de la información

#### 4.3.1. Cuantificación de caudal de diseño para periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años

Para cuantificar los valores de socavación primero se determinará las avenidas máximas para los periodos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años a partir de un modelo hidrológico, que, de acuerdo a su caracterización morfológica, usos de suelos y otros factores permitirán obtener los caudales en función a las avenidas máximas antes descritas.

##### 4.3.1.1. Descripción general de la cuenca

- **Delimitación de la muestra de estudio**

Para la delimitación de las unidades hidrográficas del estudio se ha utilizado la extensión HIDROLOGY del programa de información geográfica ARC GIS 10.5, pudiendo clasificarla como una subcuenca con cursos de agua de 4° y 5° orden, de acuerdo a la tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Rango de áreas para diferentes unidades hidrográficas

Unidad hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	Orden
Cuenca	500 – 8000	6° a más
Subcuenca	50 – 500	4° y 5°
Micro cuenca	50	1°, 2° y 3°

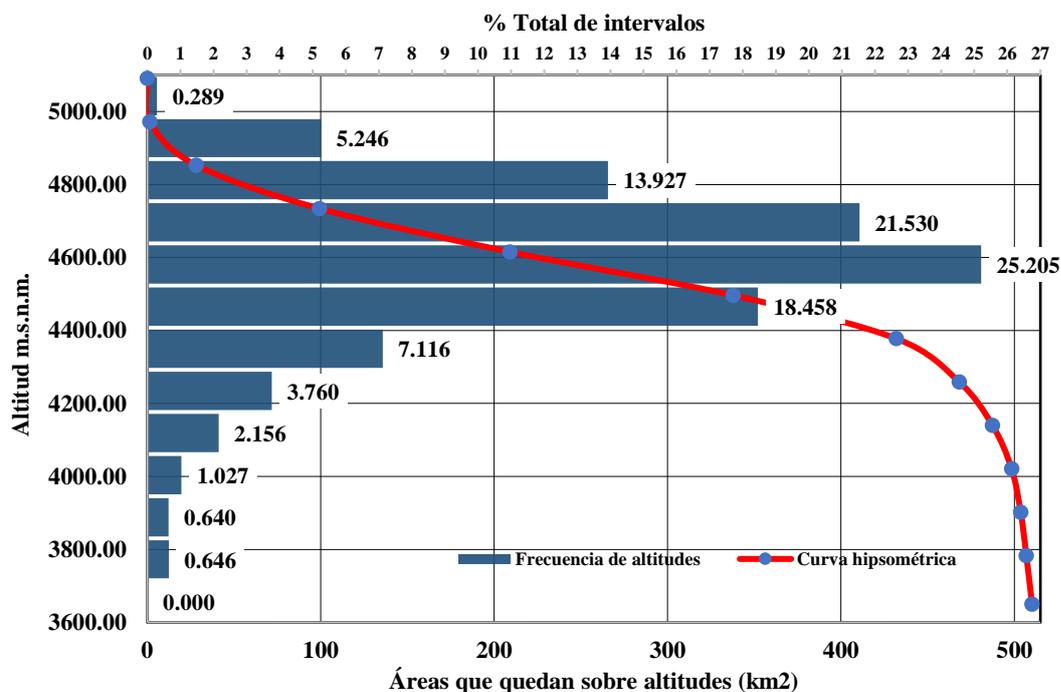


Figura 4.1. Gráfico curva hipsométrica y polígono de frecuencias

De la figura se evalúa que, hasta la altura del punto de control, posee características de un curso de agua joven mas no maduro.

También se puede observar que la mayor cantidad de área de la subcuenca delimitada hasta el punto de control está dentro de los 4600 y 4700 m.s.n.m.

A continuación, se presenta el resumen de los parámetros morfométricos para la subcuenca estudiada.

**Tabla 4.2. Parámetros geomorfológicos**

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
<b>1 Geometría de la cuenca</b>		
Área	km <sup>2</sup>	510.195
Perímetro de la cuenca	km	128.393
<b>Cotas</b>		
Cota máxima	msnm	5 100.000
Cota mínima	msnm	3 714.930
<b>Centroide (PSC: wgs 1984 UTM Zone 18S)</b>		
X centroide	m	487 313.595
Y centroide	m	8 573 993.934
Z centroide	msnm	4 627.483
<b>2 Parámetros Geomorfológicos referidos a la Forma de la Cuenca</b>		
Pendiente promedio de la cuenca	%	14.993
Pendiente del cauce principal	m/km	31.238
Coeficiente de compacidad (Cc)		1.604
Relación de elongación (Re)		0.575
Factor de Forma (Ft)		0.260
Coeficiente de masividad (Cm)		9.070
Radio de Circularidad (Rc)		0.389
<b>3 Parámetros Geomorfológicos referidos a la Altitud de la Cuenca</b>		
Altitud media	msnm	4 627.483
Altitud más frecuente (Curva Hipsométrica)	msnm	4 615.295
Altitud de frecuencia media (Curva Hipsométrica)	msnm	4 496.408
Rectángulo Equivalente		
L (Lado mayor)	km	55.481
I= (Lado menor)	km	9.196
<b>4 Parámetros Geomorfológicos referidos a la Red Hídrica</b>		
Longitud del curso principal	km	44.339
Orden de la Red Hídrica	und	4
Longitud de la red hídrica	km	223.104
Densidad de drenaje	km/km <sup>2</sup>	0.437
Pendiente promedio de la red hídrica (%)		1.296

Relación de bifurcación  
 Frecuencia de corriente (N de ríos / Área Cuenca)

**Parámetros generados**

**Tiempo de concentración**

horas

### 4.3.1.2. Evaluación hidrológica

- Análisis y tratamiento de la información pluviométrica**

La data de precipitación recopilada fue proporcionada por el PISCO v2.0 del Senamhi (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations), teniendo estas una extensión .nc, los cuales son descargados con la herramienta PYTHON y extraídas mediante lenguaje de programación R, todos estos datos están disponibles hasta el año 2013, las estaciones de precipitación utilizadas se muestran en la Tabla 4.3.

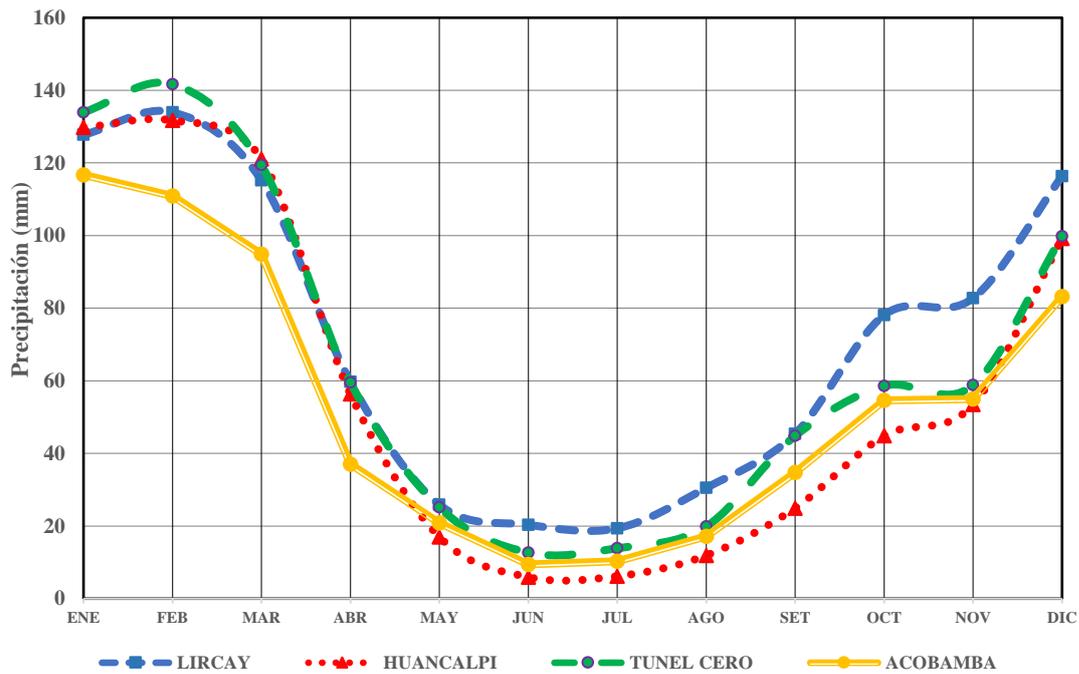
**Tabla 4.3.** Estaciones pluviométricas evaluadas

N°	Nombre de estación	Altura	Norte	Este	Tipo	Periodo de registro
1	HUANCALPI	3846	8609263.9	473737.9	Pp total mensual	1965-2013
2	LIRCAY	3303	8564897.8	530572.9	Pp total mensual	1965-2013
3	ACOBAMBA	3399	8580102.8	547569.5	Pp total mensual	1965-2013
4	TUNEL CERO	4512	8534185.5	490688	Pp otal mensual	1965-2013

La información pluviométrica total mensual obtenida se resume consistentemente de todas las estaciones seleccionadas para el periodo de registro 1965-2013, la cual se considera un numero apto de datos para calcular el comportamiento espacio temporal de la precipitación tabla 4.4 y figura 4.2.

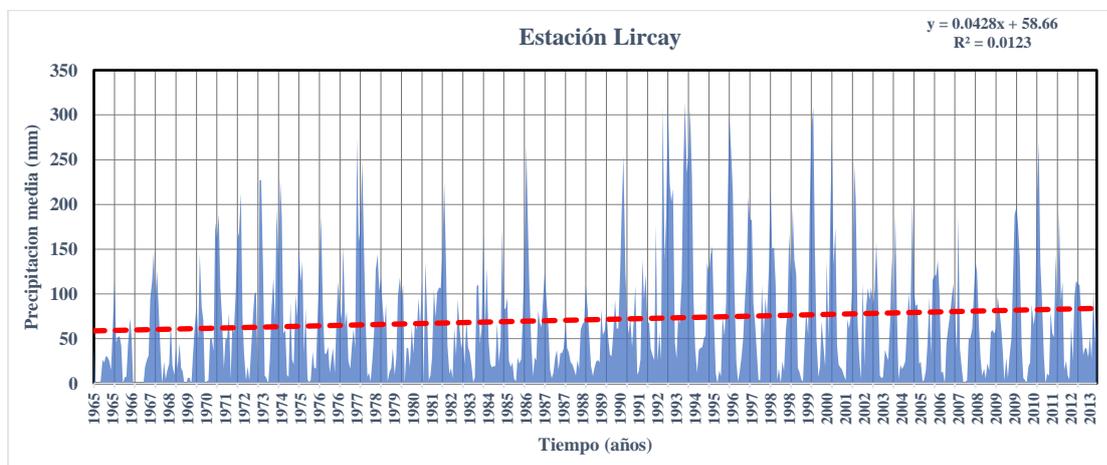
**Tabla 4.4.** Precipitación promedio mensual multianual (mm) de las estaciones seleccionadas

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
LIRCAY	127.7	134.0	115.2	59.7	25.9	20.3	19.4	30.5	45.4	78.1	82.8	116.4	855.3
HUANCALPI	129.8	131.7	121.1	56.4	17.0	5.9	6.2	11.9	24.9	44.9	53.4	99.2	702.4
TUNEL CERO	134.0	141.7	119.4	59.6	25.1	12.7	13.9	19.9	44.8	58.6	58.8	99.9	788.3
ACOBAMBA	116.7	110.9	94.9	37.0	20.8	9.4	10.3	17.2	34.8	54.6	55.0	83.2	644.7



**Figura 4.2.** Precipitación promedio mensual (mm) de las estaciones seleccionadas

En base a la información pluviométrica se desarrolló el hidrograma de precipitación para la estación Lircay (estación seleccionada por su cercanía a la zona de la muestra del presente proyecto de investigación).



**Figura 4.3.** Hidrograma de precipitación mensual (mm) – Estación Lircay

Así mismo se desarrolló el hidrograma anual de la estación seleccionada.

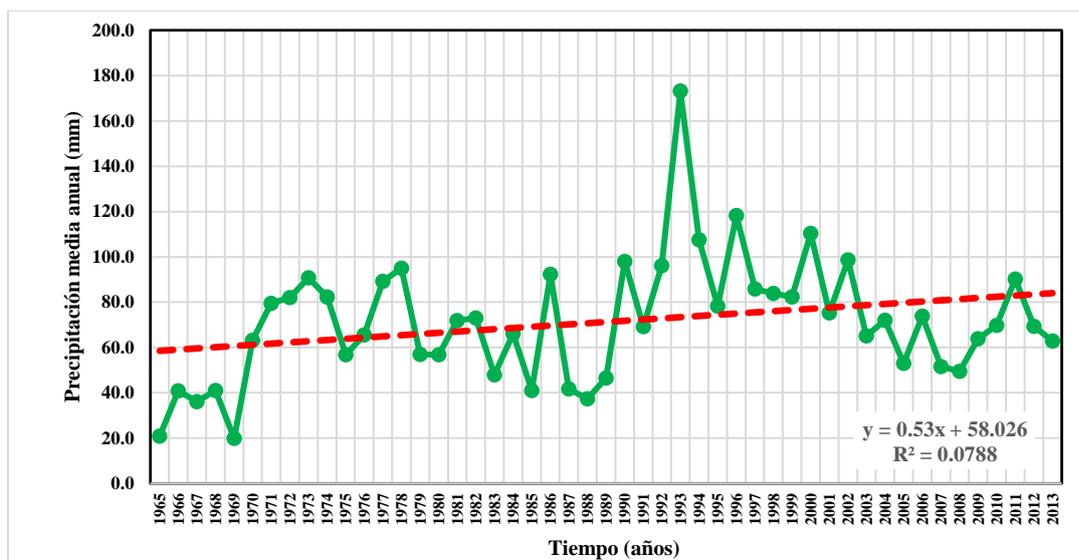


Figura 4.4. *Hidrograma de precipitación anual (mm) – Estación Lircay*

- **Análisis de consistencia de la información pluviométrica**

Para el análisis de consistencia de la información se desarrollaron dos etapas.

- **Análisis gráfico**

Esta etapa consiste en observar la distribución temporal de toda la información pluviométrica, de la cual se podrá deducir si la información es dudosa o aceptable.

Para considerar una información dudosa o de poco valor para el estudio, la muestra deberá evidenciar valores constantes en periodos en los cuales por su característica aleatoria de datos no sería posible evidenciar valores constantes.

En la observación de los histogramas es posible encontrar saltos y/o tendencias en la información histórica, siendo realizado para identificar posibles incoherencias, las cuales deberán ser evaluadas estadísticamente.

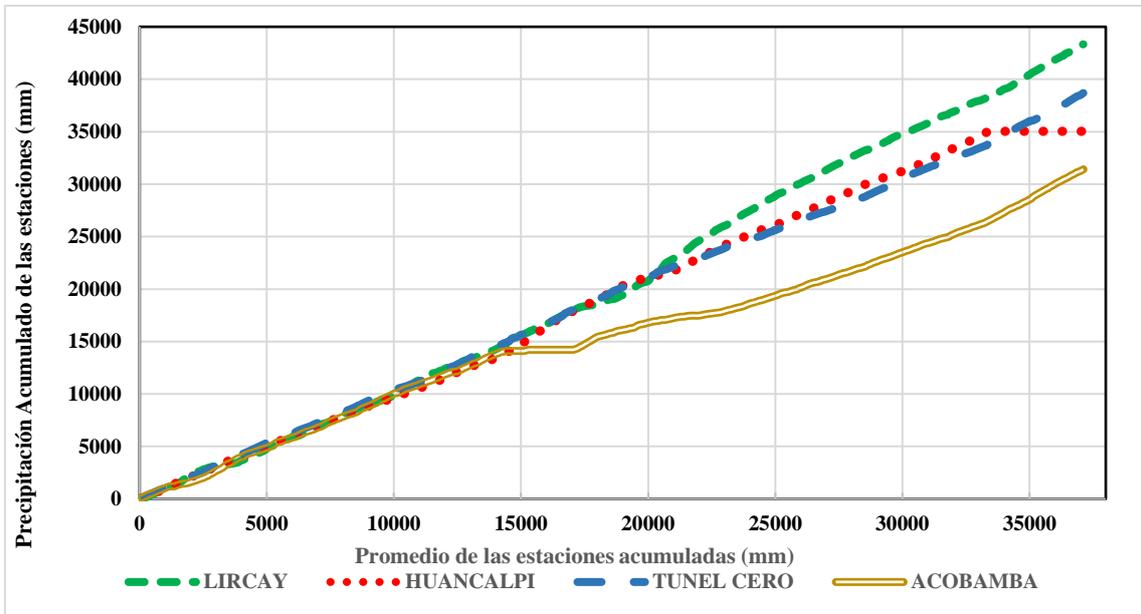
***Análisis de doble masa***

Debido a que se cuenta con más de dos series de datos (estaciones) es posible aplicar el presente análisis de detección de inconsistencias.

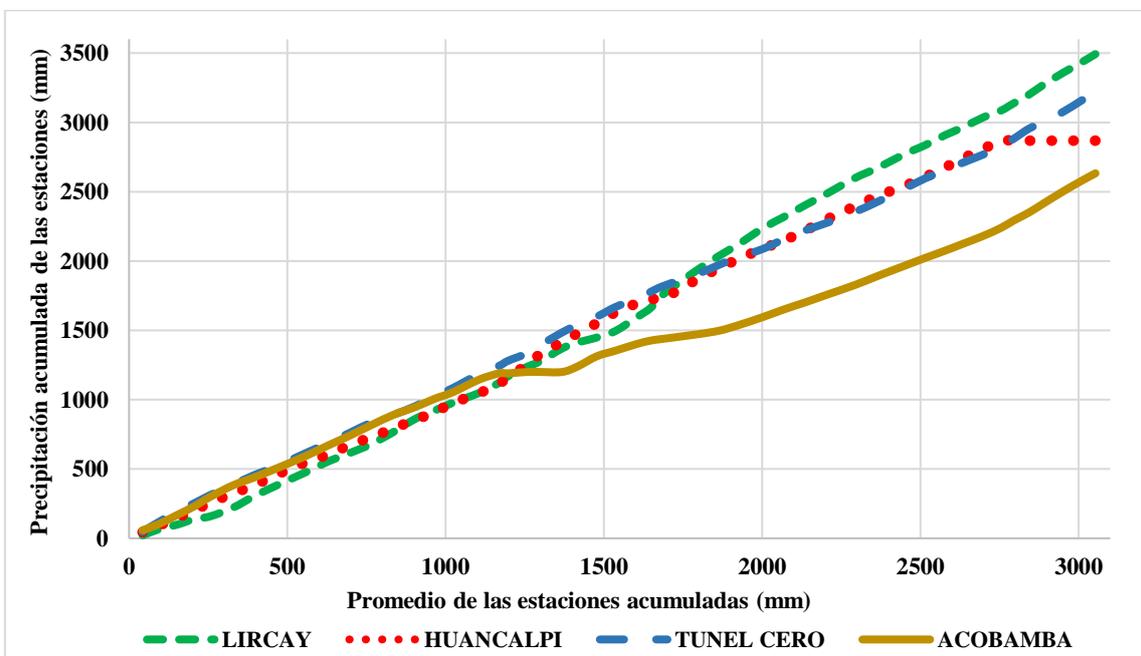
Consiste en trazar líneas rectas, de pendiente constante graficados con los valores acumulados de la estación, para un determinado periodo.

Un quiebre o un cambio de pendiente en la recta de doble masa, podría ser significativo siempre en cuando este quiebre o cambio se encuentre dentro de los límites de confianza de la variación de la recta para un nivel de probabilidades dado.

De acuerdo a las estaciones utilizadas se obtienen los siguientes gráficos.



**Figura 4.5.** *Figura curva de doble masa mensual*



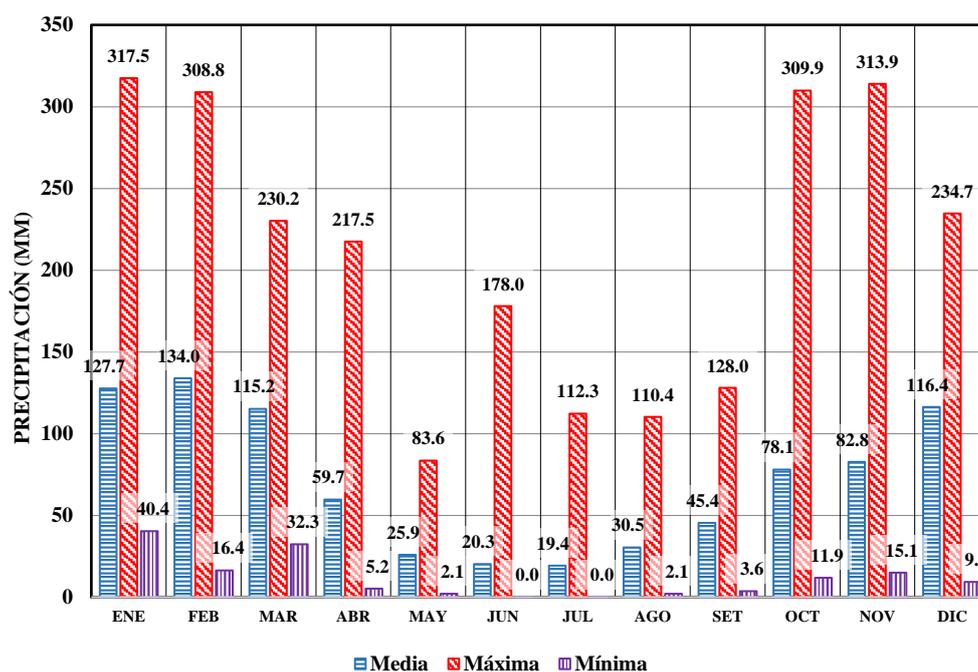
**Figura 4.6.** *Figura Curva de doble masa anual*

En los gráficos de curva de doble masa mensual y anual se puede observar que no existe quiebres significativos en ninguna de las estaciones utilizadas.

- **Variabilidad temporal de precipitaciones de la estación evaluada**

**Tabla 4.5.** Variación temporal de Precipitación (mm) – Estación Lircay

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Pp Total anual (mm)
Media	127.7	134.0	115.2	59.7	25.9	20.3	19.4	30.5	45.4	78.1	82.8	116.4	855.3
Máxima	317.5	308.8	230.2	217.5	83.6	178.0	112.3	110.4	128.0	309.9	313.9	234.7	2,544.8
Mínima	40.4	16.4	32.3	5.2	2.1	0.0	0.0	2.1	3.6	11.9	15.1	9.3	138.5
Desviación Estándar	71.9	85.0	62.1	40.4	21.3	31.1	23.0	26.3	28.9	56.6	59.8	55.4	561.7



**Figura 4.7.** Variación mensual de precipitación (mm) Estación Lircay

- **Análisis de máximas avenidas**

- **Cálculo del tiempo de concentración**

Para el cálculo del tiempo de concentración se considera para la situación más crítica, es decir para un tiempo de concentración menor, por lo que, se opta por utilizar el método de Kirpich.

$$tc = 3.97 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (Ec. 4.1)$$

Donde:

- $tc$  = ecuación de Kirpich [min]
- $L$  = longitud del cauce [km]
- $S$  = pendiente del cauce

**Tabla 4.6. Tiempo de concentración método Kirpich**

Cuenca	Área	Longitud	Cota	Cota	S	Tiempo de
	Km <sup>2</sup>	(L) Km	Máx (m.s.n.m)	Mín (m.s.n.m)		Concentración (MIN) tc Kirpich (min)
Río Ichu	510.20	44.339	5100	3714.93	0.105	175.51

- **Análisis estadístico de datos hidrológicos**

Para obtener los datos de precipitaciones máximas en determinados periodos de retorno se realiza los siguientes análisis.

- **Análisis de precipitación máxima horaria**

Es casi improbable que lluvias intensas se generen en todos los intervalos observados, razón por la cual los datos iniciales evaluados no reflejan el valor verdadero máximo.

Para poder ajustar los valores reales máximos se deben reajustar en un 13% los valores verdaderos en 24 horas (Linsley, Kohler y Paulus, 1977, p. 246).

Para la muestra tomada del río Ichu, las lluvias que ocurren en la cuenca tienen un origen orográfico.

**Tabla 4.7. Precipitación máxima 24 horas corregida**

N°	Año	Pmax 24h	Pmax 24h corregida	N°	Año	Pmax 24h	Pmax 24h corregida
1	1965	11.0	12.430	26	1990	41.2	46.556
2	1966	17.6	19.888	27	1991	45.0	50.850
3	1967	54.0	61.020	28	1992	54.0	61.020
4	1968	26.4	29.832	29	1993	45.0	50.850
5	1969	22.6	25.538	30	1994	40.6	45.878
6	1970	20.0	22.600	31	1995	45.6	51.528
7	1971	24.2	27.346	32	1996	41.0	46.330
8	1972	28.0	31.640	33	1997	31.6	35.708
9	1973	27.6	31.188	34	1998	31.2	35.256
10	1974	27.3	30.849	35	1999	31.3	35.369
11	1975	19.3	21.809	36	2000	47.3	53.449
12	1976	18.4	20.792	37	2001	25.9	29.267
13	1977	40.7	45.991	38	2002	25.5	28.815
14	1978	40.7	45.991	39	2003	33.2	37.516
15	1979	16.5	18.645	40	2004	61.0	68.930
16	1980	20.0	22.600	41	2005	16.3	18.419
17	1981	26.4	29.832	42	2006	34.9	39.437
18	1982	32.7	36.951	43	2007	22.5	25.425
19	1983	24.9	28.137	44	2008	19.5	22.035
20	1984	42.6	48.138	45	2009	28.5	32.205
21	1985	15.1	17.063	46	2010	41.1	46.443
22	1986	25.4	28.702	47	2011	36.3	41.019
23	1987	25.0	28.250	48	2012	36.1	40.793

<b>24</b>	1988	26.0	29.380	<b>49</b>	2013	18.6	21.018
<b>25</b>	1989	25.1	28.363				

- **Prueba de datos dudosos**

Para evaluar los valores pluviométricos que se encuentran fuera de la línea máximo o mínima de precipitación, se ha efectuado el método de Water Resouces Council para determinar los datos dudosos de las series analizadas (outliers).

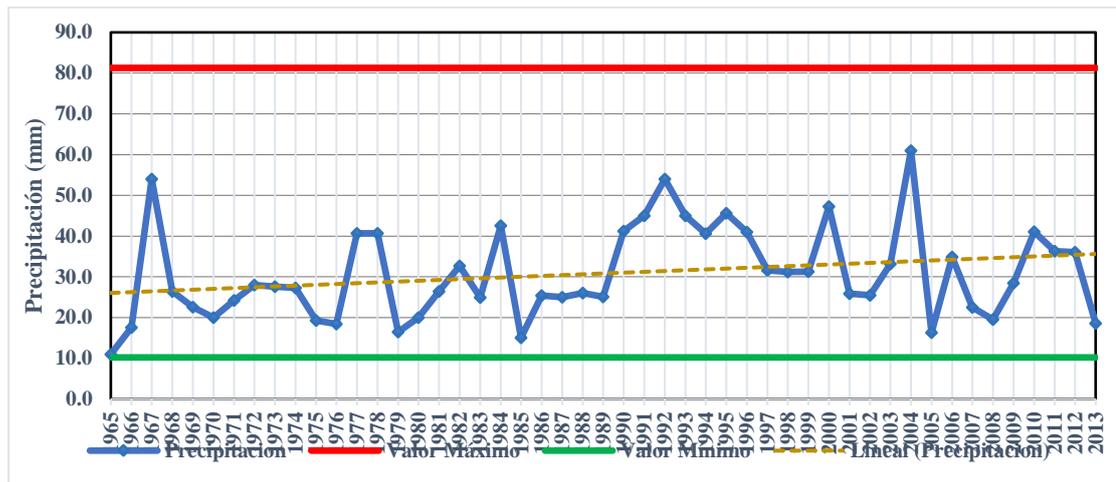


Figura 4.8. *Análisis de datos dudosos sin ningún valor fuera de los límites mínimos ni máximos (outliers)*

- **Análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas**

Una vez que se ha analizado la serie de precipitaciones máximas diarias y eliminando los “outliers”, se aplicó el análisis de frecuencia correspondiente.

El análisis de frecuencia ayuda a entender como las precipitaciones actúan en una determinada área, en base a los datos pluviométricos históricos y modelos estadísticos con los cuales se podrá obtener la intensidad de la precipitación para un determinado periodo de retorno.

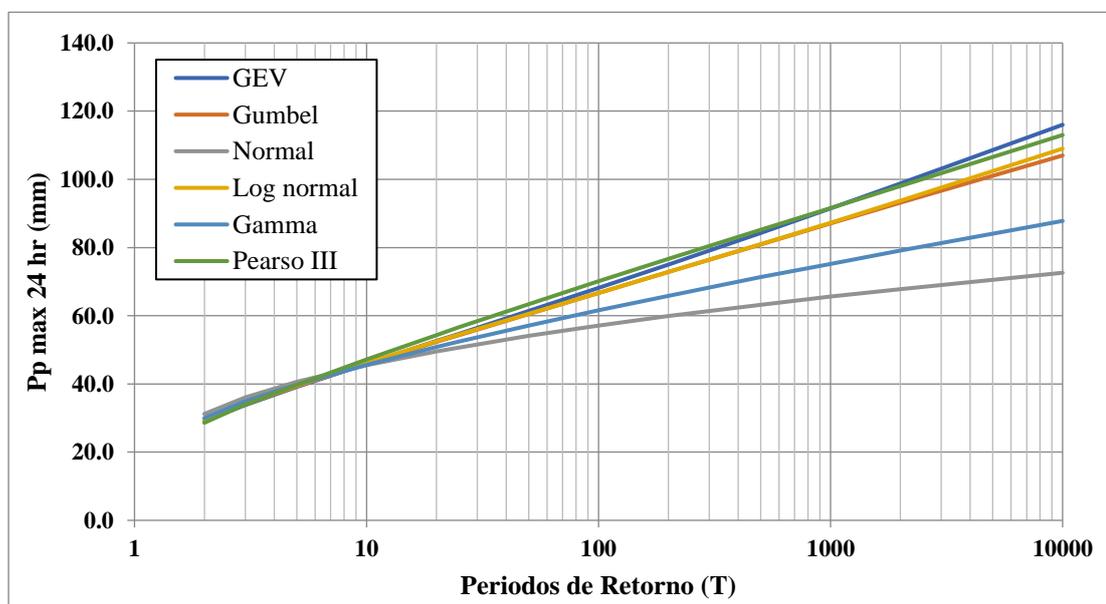
Para un óptimo análisis los métodos probabilísticos aplicados al proyecto de investigación, serán las distribuciones Gumbel, Gamma, Pearson tipo III, GEV, Normal y Log Normal.

El análisis de frecuencias de precipitaciones máximas en 24 horas para períodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, se ha realizado para la estación seleccionada.

Definidos los parámetros y distribuciones mediante la herramienta tecnología Hyfran se procedió a calcular las precipitaciones máximas en 24 horas en periodos de retorno seleccionados tabla 4.8.

**Tabla 4.8.** Pp max en 24 horas – Estación Lircay

T (años)	GEV (mm)	Gumbel (mm)	Normal (mm)	Log normal (mm)	Gamma (mm)	Pearson III (mm)
2	29.2	29.3	31.2	29.4	30.0	28.6
3	33.8	34.0	36.0	34.2	34.9	34.0
5	39.1	39.3	40.6	39.5	39.8	39.7
10	45.9	45.9	45.5	46.2	45.6	47.2
20	52.6	52.3	49.5	52.5	50.8	54.3
25	54.7	54.3	50.7	54.5	52.4	56.6
50	61.4	60.5	54.1	60.6	57.1	63.4
100	68.2	66.7	57.1	66.7	61.6	70.1
200	75.0	72.8	59.9	72.8	65.8	76.7
500	84.3	80.9	63.2	81.0	71.3	85.2
1000	91.5	87.1	65.6	87.3	75.2	91.6
2000	98.8	93.2	67.8	93.7	79.1	98.0
10000	116.0	107.0	72.6	109.0	87.8	113.0



**Figura 4.9.** Pp max en 24 horas – Estación Lircay

Los valores utilizados resultan de la estación pluviométrica Lircay, siendo los valores de la Distribución normal los más conservadores y por ende los valores seleccionados.

**Tabla 4.9.** Precipitación máxima en 24 horas - Normal

Tr (años)	P <sub>24h</sub> Normal
2	31.2
3	36.0
5	40.6
10	45.5
20	49.5
25	50.7
50	54.1
100	57.1
200	59.9
500	63.2
1000	65.6
2000	67.8
10000	72.6

- **Periodo de retorno y vida útil de las estructuras**

Para considerar un valor de riesgo de falla admisible R se deberá relacionar con la vida útil de las mismas y un determinado periodo de retorno, la cual está dada por la ecuación 4.2.

$$R = 1 - \left(1 - \left(\frac{1}{T}\right)^2\right) \quad (\text{Ec. 4.2})$$

**Tabla 4.10.** Periodo de retorno

Riesgo R	Vida útil de las obras (n años)												
	1	2	3	5	10	15	20	25	40	50	100	200	500
0.01	100	199	299	498	995	1493	1990	2488	3980	4975	9950	19900	49750
0.02	50	99	149	248	495	743	990	1238	1980	2475	4950	9900	24750
0.05	20	39	59	98	195	293	390	488	780	975	1950	3900	9748
0.1	10	19	29	48	95	143	190	238	380	475	950	1899	4746
0.15	7	13	19	31	62	93	124	154	247	308	616	1231	3077
0.2	5	9	14	23	45	68	90	113	180	225	449	897	2241
0.25	4	7	11	18	35	53	70	87	140	174	348	696	1739
0.3	3	6	9	15	29	43	57	71	113	141	281	561	1402
0.35	3	5	7	12	24	35	47	59	93	117	233	465	1161
0.4	3	4	6	10	20	30	40	49	79	98	196	392	979
0.5	2	3	5	8	15	22	29	37	58	73	145	289	722
0.75	1	2	3	4	8	11	15	19	29	37	73	145	361
0.99	1	1	1	2	3	4	5	6	9	11	22	44	109

Los periodos de retorno máximos de acuerdo a la vida útil y el riesgo establecidos para defensas ribereñas (muro gavión y diques de concreto) y puentes se ajustaron a los parámetros brindados en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC Tabla 4.11.

**Tabla 4.11. Valores máximos recomendados**

Tipo de obra	Riesgo Admisible	Vida útil	Periodo de retorno (Tr)
Defensas ribereñas	25%	40 años	140 años
Puente	25%	40 años	140 años

- **Análisis de otras variables meteorológicas**

- **Temperatura media mensual**

Para determinar la temperatura media mensual se utilizó la información de la estación Lircay; esta estación cuenta con un periodo de registro de 1965 – 2013 de temperaturas máximas y mínimas, los valores de temperaturas resultantes de máxima mensual, mínima mensual y la media mensual se muestran en la tabla 4.12.

**Tabla 4.12. Temperatura mensual en ° c - estación Lircay**

TEMP.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Prom. anual
Máxima	18.2	17.9	17.9	18.3	18.4	17.6	17.2	17.7	18.3	19.1	19.6	18.2	17.9
Media	12.4	12.4	12.3	11.7	10.5	9.5	9.1	9.7	10.8	11.8	12.2	12.4	11.2
Mínima	6.7	6.8	6.7	5.2	2.7	1.3	0.9	1.7	3.2	4.4	4.8	5.9	4.2

Se ha tomado las temperaturas de esta estación con el fin de considerar datos similares a la ubicación de la muestra del presente proyecto de investigación.

La tabla 4.12 muestra que la temperatura media mensual oscila entre los 9.1°C y 12.4°C en la estación Lircay; siendo estos valores típicos de la zona altoandina. Los valores altos de temperaturas medias se presentan entre noviembre a abril, y los más bajos se presentan entre mayo a octubre, siendo julio el mes más frío en la estación Lircay.

Las máximas temperaturas mensuales registradas oscilan entre los 17.2°C a 19.6°C.

- **Análisis de máximas avenidas**

Debido a que no existe una estación hidrométrica cerca de la zona del proyecto se procedió a calcular las descargas máximas usando un método precipitación escorrentía, con el modelo Hec Hms, que en base a las precipitaciones máximas en 24 horas calcula las máximas descargas.

- **Método precipitación escorrentía – Hec Hms**

El modelo Hec Hms requiere de datos de entrada necesarios dependiendo del método de generación de caudales que se elige, para el desarrollo del proyecto de investigación se eligió el método del Soil Conservation Service (SCS) el cual utiliza los valores obtenidos de precipitación máxima en 24 horas, el tiempo de concentración de la cuenca

y Curva Numero table 4.13, donde se elige los periodos de retorno y de esta forma se obtuvo los caudales de diseño.

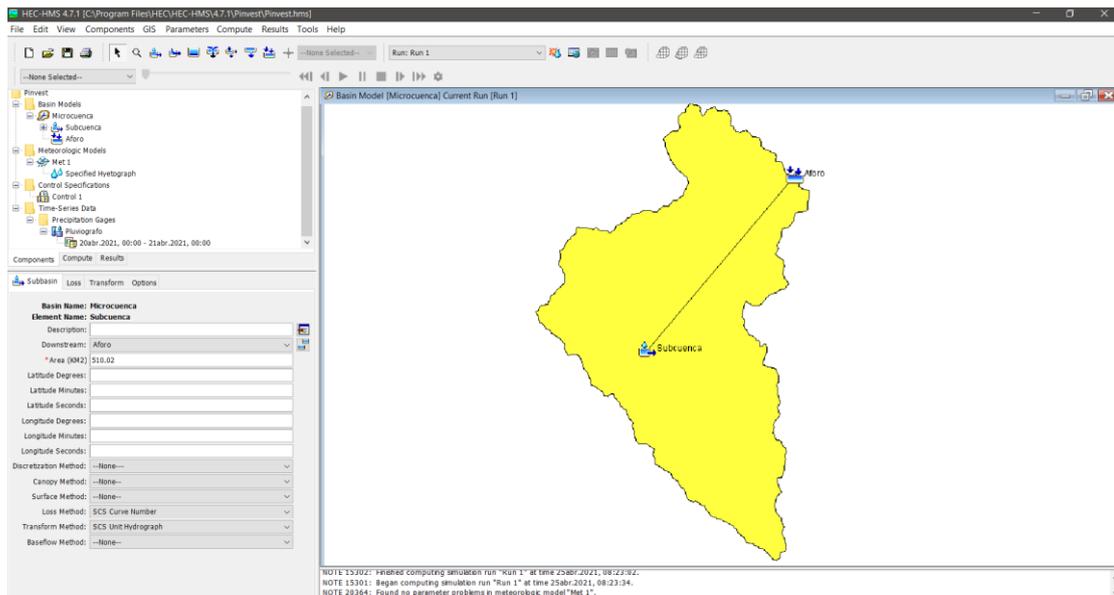
**Tabla 4.13.** Información para el modelo HecHms

TR	Rio Ichu		
	PpMax24hr	TC	CN
25	50.7	175.51	74
50	54.1	175.51	74
100	57.1	175.51	74
200	59.9	175.51	74

**- Aplicación del modelo Hec Hms**

Al aplicar un modelo mediante la herramienta Hec Hms, se siguió 3 pasos.

**Paso 1:** Se ingresó los datos geomorfológicos definidos en la delimitación de la cuenca



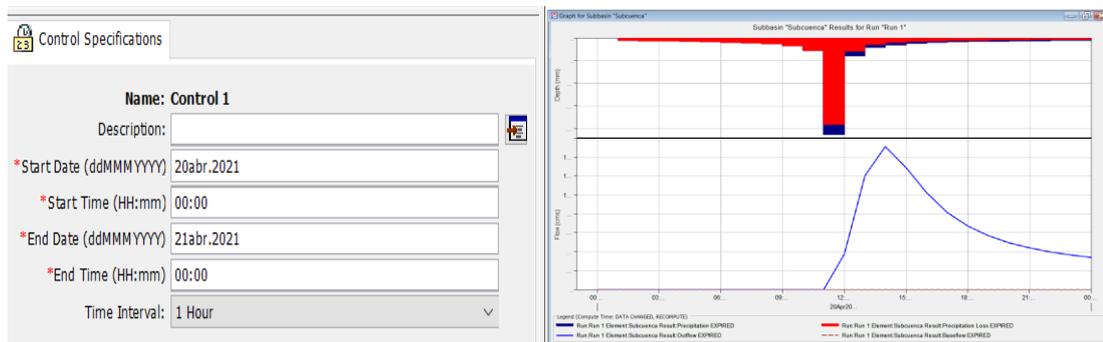
**Figura 4.10.** Parámetros de cuenca y precipitación en HEC HMS

**Paso 2:** Se distribuye por cada hora una determinada cantidad de precipitación

Time (ddMMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
20abr.2021, 00:00	
20abr.2021, 01:00	0.51
20abr.2021, 02:00	0.55
20abr.2021, 03:00	0.59
20abr.2021, 04:00	0.65
20abr.2021, 05:00	0.71
20abr.2021, 06:00	0.80
20abr.2021, 07:00	0.91

**Figura 4.11.** Ingreso de valores de precipitación a cada hora durante 24 horas

**Paso 3:** se definió un periodo de análisis, de acuerdo a los datos de precipitación en intervalos de 60 minutos para 24 horas.



**Figura 4.12.** Determinación del periodo de análisis y hietograma de precipitación

De acuerdo a la simulación realizada en la herramienta Hec Hms resultados los valores de la Tabla 4.14

**Tabla 4.14.** Caudales máximos para distintos periodos de retorno – río Ichu

Periodo de retorno (años)	RÍO ICHU	
	Caudal Max (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (mm)
<b>25</b>	93.5	4.41
<b>50</b>	120.3	5.44
<b>100</b>	151.3	6.59
<b>200</b>	188.2	7.95

#### 4.3.2. Cuantificación de la socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño.

##### 4.3.2.1. Cálculo de socavación local método de Liu, Chang y Skinner

Para cuantificar los valores de socavación local mediante el método de Liu, Chang y Skinner se realizará el análisis y cálculo de acuerdo a la ecuación 2.9 y ecuación 2.10, tomando como valores los resultados obtenidos en la modelación hidráulica del río Ichu con la herramienta digital HEC RAS.

La cuantificación de la socavación local se realizará en la sección codificada como ST: PUENTE, haciendo uso también de los resultados de las secciones ST: 38, ST: 39 y ST: 40, de acuerdo a la Tabla 4.15.

**Tabla 4.15. Resultados de HEC RAS ST: 38, ST: 39 y ST: 40**

Secc.	Prog.	Periodo de Retorno	Caudal (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev E (m)	.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width Froude (m)	# Chl
ST: 40	1+950	Tr 25 años	93.50	3,724.43	3,726.37	3,726.37	3,726.89	0.00939	3.21	29.15	28.37	1.01
ST: 40	1+950	Tr 50 años	120.30	3,724.43	3,726.59	3,726.59	3,727.17	0.00913	3.37	35.74	31.67	1.01
ST: 40	1+950	Tr 100 años	151.30	3,724.43	3,726.87	3,726.87	3,727.41	0.00903	3.28	46.08	42.30	1.00
ST: 40	1+950	Tr 200 años	188.20	3,724.43	3,727.03	3,727.03	3,727.67	0.00888	3.54	53.09	42.80	1.02
ST: 39	1+900	Tr 25 años	93.50	3,724.25	3,726.28	3,726.84	3,728.21	0.06598	6.15	15.21	23.74	2.39
ST: 39	1+900	Tr 50 años	120.30	3,724.25	3,726.41	3,727.03	3,728.59	0.06066	6.53	18.42	24.66	2.40
ST: 39	1+900	Tr 100 años	151.30	3,724.25	3,726.55	3,727.23	3,728.99	0.05731	6.91	21.89	25.80	2.41
ST: 39	1+900	Tr 200 años	188.20	3,724.25	3,726.70	3,727.44	3,729.41	0.05476	7.29	25.81	27.17	2.45
ST: 38	1+850	Tr 25 años	93.50	3,725.04	3,727.37	3,727.37	3,727.95	0.00929	3.38	27.70	24.18	1.01
ST: 38	1+850	Tr 50 años	120.30	3,725.04	3,727.60	3,727.60	3,728.27	0.00888	3.61	33.28	25.32	1.01
ST: 38	1+850	Tr 100 años	151.30	3,725.04	3,727.83	3,727.83	3,728.59	0.00861	3.85	39.26	26.50	1.01
ST: 38	1+850	Tr 200 años	188.20	3,725.04	3,728.08	3,728.08	3,728.93	0.00831	4.10	45.90	27.42	1.01

**Tabla 4.16. Resultados de socavación local método Liu, Chang y Skinner**

Sección	Progresiva	Periodo de diseño Tr años	Longitud de estribo (L)	Tirante (h)	Coefficiente de corrección (Kf)	ds	Socavación (m)
<b>Margen izquierdo</b>							
ST: PUENTE	1+921	25	7.0000	2.03	2.1500	2.39	<b>2.39</b>
ST: PUENTE	1+921	50	7.0000	2.16	2.1500	2.33	<b>2.33</b>
ST: PUENTE	1+921	100	7.0000	2.30	2.1500	2.27	<b>2.27</b>
ST: PUENTE	1+921	200	7.0000	2.45	2.1500	2.21	<b>2.21</b>
<b>Margen derecho</b>							
ST: PUENTE	1+921	25	3.5000	2.03	2.1500	1.81	<b>1.81</b>
ST: PUENTE	1+921	50	3.5000	2.16	2.1500	1.77	<b>1.77</b>
ST: PUENTE	1+921	100	3.5000	2.30	2.1500	1.72	<b>1.72</b>
ST: PUENTE	1+921	200	3.5000	2.45	2.1500	1.67	<b>1.67</b>

#### 4.3.2.2. Cálculo de socavación local método de Artamonov

Para cuantificar los valores de socavación local mediante el método de Artamonov se realizará el análisis y cálculo de acuerdo a la ecuación 2.8, tomando como valores los resultados de la tabla 4.15 obtenidos en la modelación hidráulica del río Ichu con la herramienta digital HEC RAS.

**Tabla 4.17. Resultados de socavación local método Artamonov**

Sección	Progresiva	Periodo de diseño Tr años	Coefficiente (Kθ)	Coefficiente (KQ)	Coefficiente (Km)	Tirante (h)	Hs	Socavación (m)
<b>Margen izquierdo</b>								
ST: PUENTE	1+921	25	0.9000	3.58	0.8500	2.03	5.56	<b>3.53</b>
ST: PUENTE	1+921	50	0.9000	3.47	0.8500	2.16	5.74	<b>3.58</b>

ST: PUENTE	1+921	100	0.9000	3.58	0.8500	2.30	6.30	<b>4.00</b>
ST: PUENTE	1+921	200	0.9000	3.73	0.8500	2.45	6.99	<b>4.54</b>
<b>Margen derecho</b>								
ST: PUENTE	1+921	25	0.8550	3.97	0.8500	2.03	5.85	<b>3.82</b>
ST: PUENTE	1+921	50	0.8550	4.12	0.8500	2.16	6.46	<b>4.30</b>
ST: PUENTE	1+921	100	0.8550	4.24	0.8500	2.30	7.09	<b>4.79</b>
ST: PUENTE	1+921	200	0.8550	4.40	0.8500	2.45	7.83	<b>5.38</b>

#### 4.3.2.3.Cálculo de socavación local método de Froehlich

Para cuantificar los valores de socavación local mediante el método de Froehlich se realizará el análisis y cálculo de acuerdo a la ecuación 2.10, ecuación 2.11 y ecuación 2.12, tomando como valores los resultados de la Tabla 4.15 obtenidos en la modelación hidráulica del río Ichu con la herramienta digital HEC RAS.

**Tabla 4.18.** Resultados de socavación local método Froehlich

Sección	Prog.	Periodo de diseño Tr años	Coef. (K $\Theta$ )	Coef. (Kf)	Longitud de estribo ( L )	Tirante ( h )	Número de Froude (Fre)	Hs	Socavación ( m )
<b>Margen izquierdo</b>									
ST: PUENTE	1+921	25	0.9084	0.82	7.00	2.03	0.6786	3.273	1.24
ST: PUENTE	1+921	50	0.9084	0.82	7.00	2.16	0.6781	3.212	1.05
ST: PUENTE	1+921	100	0.9084	0.82	7.00	2.30	0.6767	3.150	0.85
ST: PUENTE	1+921	200	0.9084	0.82	7.00	2.45	0.6746	3.089	0.64
<b>Margen derecho</b>									
ST: PUENTE	1+921	25	0.8509	0.82	3.50	2.03	0.6786	2.580	0.55
ST: PUENTE	1+921	50	0.8509	0.82	3.50	2.16	0.6781	2.538	0.38
ST: PUENTE	1+921	100	0.8509	0.82	3.50	2.30	0.6767	2.495	0.20
ST: PUENTE	1+921	200	0.8509	0.82	3.50	2.45	0.6746	2.452	0.00

#### 4.3.3. Estimación de la socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño

##### 4.3.3.1.Estimación de la socavación general método de Lischvan-Levediev

Para cuantificar los valores de socavación general mediante el método de Lischvan-Levediev se realizará el análisis y cálculo de acuerdo a la ecuación 2.14 hasta la ecuación 2.19, tomando como valores los resultados de la tabla 4.19 obtenidos en la modelación hidráulica del río Ichu con la herramienta digital HEC RAS.

La cuantificación de la socavación general se realizará en las secciones codificadas como ST: 10, ST: 13, ST: 22, ST: 26 y ST: 31, de acuerdo a la tabla 4.19

**Tabla 4.19. Resultados de HEC RAS ST: 10, ST: 13, ST: 22 y ST: 26**

Secc.	Prog.	Periodo de Retorno	Caudal	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev E	.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width Froude	# Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
ST: 31	1+500	Tr 25 años	93.50	3,727.00	3,728.94	3,728.94	3,729.53	0.00904	3.42	27.37	23.12	1.00
ST: 31	1+500	Tr 50 años	120.30	3,727.00	3,729.17	3,729.17	3,729.85	0.00876	3.67	32.79	24.28	1.01
ST: 31	1+500	Tr 100 años	151.30	3,727.00	3,729.40	3,729.40	3,730.19	0.00844	3.93	38.50	24.87	1.01
ST: 31	1+500	Tr 200 años	188.20	3,727.00	3,729.65	3,729.65	3,730.55	0.00814	4.20	44.86	25.40	1.01
ST: 26	1+250	Tr 25 años	93.50	3,729.63	3,731.46	3,731.46	3,732.06	0.00918	3.43	27.31	23.41	1.01
ST: 26	1+250	Tr 50 años	120.30	3,729.63	3,731.68	3,731.68	3,732.38	0.00871	3.72	32.51	23.85	1.01
ST: 26	1+250	Tr 100 años	151.30	3,729.63	3,731.92	3,731.92	3,732.73	0.00818	3.97	38.34	24.34	1.00
ST: 26	1+250	Tr 200 años	188.20	3,729.63	3,732.18	3,732.18	3,733.10	0.00785	4.26	44.65	24.88	1.00
ST: 22	1+050	Tr 25 años	93.50	3,730.89	3,732.71	3,732.71	3,733.19	0.00941	3.06	30.57	32.14	1.00
ST: 22	1+050	Tr 50 años	120.30	3,730.89	3,732.89	3,732.89	3,733.45	0.00900	3.31	36.29	32.60	1.00
ST: 22	1+050	Tr 100 años	151.30	3,730.89	3,733.07	3,733.07	3,733.72	0.00873	3.57	42.32	33.08	1.01
ST: 22	1+050	Tr 200 años	188.20	3,730.89	3,733.29	3,733.29	3,734.03	0.00817	3.79	49.64	33.65	1.00
ST: 13	0+600	Tr 25 años	93.50	3,736.02	3,737.81	3,737.81	3,738.33	0.00943	3.18	29.45	29.13	1.01
ST: 13	0+600	Tr 50 años	120.30	3,736.02	3,738.00	3,738.00	3,738.61	0.00899	3.45	34.92	29.53	1.01
ST: 13	0+600	Tr 100 años	151.30	3,736.02	3,738.20	3,738.20	3,738.90	0.00858	3.72	40.86	29.95	1.01
ST: 13	0+600	Tr 200 años	188.20	3,736.02	3,738.42	3,738.42	3,739.23	0.00816	3.97	47.62	30.46	1.00
ST: 10	0+450	Tr 25 años	93.50	3,737.77	3,739.55	3,739.55	3,740.22	0.00857	3.61	26.26	20.39	1.00
ST: 10	0+450	Tr 50 años	120.30	3,737.77	3,739.80	3,739.80	3,740.57	0.00819	3.91	31.31	20.84	1.00
ST: 10	0+450	Tr 100 años	151.30	3,737.77	3,740.06	3,740.06	3,740.95	0.00783	4.20	36.82	21.27	1.00
ST: 10	0+450	Tr 200 años	188.20	3,737.77	3,740.34	3,740.34	3,741.36	0.00749	4.50	42.88	21.77	1.00

**Tabla 4.20. Resultados de socavación general método Lischtvan-Levediev**

Sección	Progresiva	Periodo de diseño	Coef. (α)	Tirante (h)	Coficiente de frec. (β)	Diámetro Medio (Dm)	z	Factor c. cauce	Factor c. forma	Hs	Socavación (m)
ST: 10	0+450	25	3.542	1.78	0.929	12.76	0.338	1.00	1.00	4.37	<b>2.59</b>
ST: 13	0+600	25	3.568	1.79	0.929	12.76	0.338	1.00	1.00	4.42	<b>2.63</b>
ST: 22	1+050	25	3.451	1.82	0.929	12.76	0.338	1.00	1.00	4.40	<b>2.58</b>
ST: 26	1+250	25	3.067	1.83	0.929	12.76	0.338	1.00	1.00	4.06	<b>2.23</b>
ST: 31	1+500	25	4.130	1.94	0.929	12.76	0.338	1.00	1.00	5.45	<b>3.51</b>
ST: 10	0+450	50	3.443	2.03	0.958	12.76	0.338	1.00	1.00	4.92	<b>2.89</b>
ST: 13	0+600	50	3.480	1.98	0.958	12.76	0.338	1.00	1.00	4.81	<b>2.83</b>
ST: 22	1+050	50	3.358	2.00	0.958	12.76	0.338	1.00	1.00	4.74	<b>2.74</b>
ST: 26	1+250	50	2.989	2.05	0.958	12.76	0.338	1.00	1.00	4.48	<b>2.43</b>
ST: 31	1+500	50	3.034	2.17	0.958	12.76	0.338	1.00	1.00	4.86	<b>2.69</b>
ST: 10	0+450	100	3.348	2.29	0.988	12.76	0.338	1.00	1.00	5.47	<b>3.18</b>
ST: 13	0+600	100	3.394	2.18	0.988	12.76	0.338	1.00	1.00	5.20	<b>3.02</b>

ST: 22	1+050	100	3.290	2.18	0.988	12.76	0.338	1.00	1.00	5.08	<b>2.90</b>
ST: 26	1+250	100	2.894	2.29	0.988	12.76	0.338	1.00	1.00	4.91	<b>2.62</b>
ST: 31	1+500	100	3.848	2.40	0.988	12.76	0.338	1.00	1.00	6.44	<b>4.04</b>
ST: 10	0+450	200	3.275	2.57	1.017	12.76	0.338	1.00	1.00	6.08	<b>3.51</b>
ST: 13	0+600	200	3.298	2.40	1.017	12.76	0.338	1.00	1.00	5.61	<b>3.21</b>
ST: 22	1+050	200	3.162	2.40	1.017	12.76	0.338	1.00	1.00	5.44	<b>3.04</b>
ST: 26	1+250	200	2.833	2.55	1.017	12.76	0.338	1.00	1.00	5.40	<b>2.85</b>
ST: 31	1+500	200	3.743	2.65	1.017	12.76	0.338	1.00	1.00	6.98	<b>4.33</b>

#### 4.3.3.2. Estimación de la socavación general método de Laursen

Para cuantificar los valores de socavación general mediante el método Laursen se realizará el análisis y cálculo de acuerdo a la ecuación 2.20, tomando como valores los resultados de la tabla 4.19 obtenidos en la modelación hidráulica del río Ichu con la herramienta digital HEC RAS.

**Tabla 4.21.** Resultados de socavación general método Laursen

Sección	Progresiva	Periodo de diseño	Coef. Manning (n)	Parám. Shields (Ks)	G. E. mat. de lecho (Gs)	Diámetro Medio (Dm)	W	Hs	Socavación (m)
<b>ST: 10</b>	0+450	25	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	4.54	<b>2.76</b>
<b>ST: 13</b>	0+600	25	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	4.54	<b>2.75</b>
<b>ST: 22</b>	1+050	25	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	4.54	<b>2.72</b>
<b>ST: 26</b>	1+250	25	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	4.54	<b>2.71</b>
<b>ST: 31</b>	1+500	25	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	4.54	<b>2.60</b>
<b>ST: 10</b>	0+450	50	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	4.98	<b>2.95</b>
<b>ST: 13</b>	0+600	50	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	4.98	<b>3.00</b>
<b>ST: 22</b>	1+050	50	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	4.98	<b>2.98</b>
<b>ST: 26</b>	1+250	50	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	4.98	<b>2.93</b>
<b>ST: 31</b>	1+500	50	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	4.98	<b>2.81</b>
<b>ST: 10</b>	0+450	100	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	5.68	<b>3.39</b>
<b>ST: 13</b>	0+600	100	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	5.68	<b>3.50</b>
<b>ST: 22</b>	1+050	100	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	5.68	<b>3.50</b>
<b>ST: 26</b>	1+250	100	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	5.68	<b>3.39</b>
<b>ST: 31</b>	1+500	100	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	5.68	<b>3.28</b>
<b>ST: 10</b>	0+450	200	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	6.57	<b>4.00</b>
<b>ST: 13</b>	0+600	200	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	6.57	<b>4.17</b>
<b>ST: 22</b>	1+050	200	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	6.57	<b>4.17</b>
<b>ST: 26</b>	1+250	200	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	6.57	<b>4.02</b>
<b>ST: 31</b>	1+500	200	0.109	0.039	2.6500	15.95	0.265	6.57	<b>3.92</b>

### 4.3.3.3. Estimación de la socavación general método de Straub

Para cuantificar los valores de socavación general mediante el método de Straub se realizará el análisis y cálculo de acuerdo a la ecuación 2.22, tomando como valores los resultados de la tabla 4.19 obtenidos en la modelación hidráulica del río Ichu con la herramienta digital HEC RAS.

**Tabla 4.22. Resultados de socavación general método Straub**

Sección	Progresiva	Periodo de diseño	Ancho aguas arriba ( B1 )	Ancho en la sección ( B2 )	Tirante ( h )	Hs	Socavación ( m )
ST: 10	0+450	25	23.50	22.50	1.78	1.8304	1.83
ST: 13	0+600	25	32.50	31.50	1.79	1.8263	1.83
ST: 22	1+050	25	34.00	33.00	1.82	1.8552	1.86
ST: 26	1+250	25	21.00	19.50	1.83	1.9192	1.92
ST: 31	1+500	25	34.00	32.50	1.94	1.9970	2.00
ST: 10	0+450	50	23.50	22.50	2.03	2.0875	2.09
ST: 13	0+600	50	32.50	31.50	1.98	2.0201	2.02
ST: 22	1+050	50	34.00	33.00	2.00	2.0387	2.04
ST: 26	1+250	50	21.00	19.50	2.05	2.1499	2.15
ST: 31	1+500	50	34.00	32.50	2.17	2.2338	2.23
ST: 10	0+450	100	23.50	22.50	2.29	2.3548	2.35
ST: 13	0+600	100	32.50	31.50	2.18	2.2242	2.22
ST: 22	1+050	100	34.00	33.00	2.18	2.2222	2.22
ST: 26	1+250	100	21.00	19.50	2.29	2.4016	2.40
ST: 31	1+500	100	34.00	32.50	2.40	2.4705	2.47
ST: 10	0+450	200	23.50	22.50	2.57	2.6428	2.64
ST: 13	0+600	200	32.50	31.50	2.40	2.4486	2.45
ST: 22	1+050	200	34.00	33.00	2.40	2.4464	2.45
ST: 26	1+250	200	21.00	19.50	2.55	2.6743	2.67
ST: 31	1+500	200	34.00	32.50	2.65	2.7279	2.73

### 4.3.4. Determinación de la socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño

#### 4.3.4.1. Estimación de la socavación por contracción método de Lischtvan-Levediev

Para cuantificar los valores de socavación por contracción mediante el método de Lischtvan-Levediev se realizará el análisis y cálculo de acuerdo a la ecuación 2.14 hasta la ecuación 2.19, tomando como valores los resultados de la tabla 4.19 obtenidos en la modelación hidráulica del río *Ichu* con la herramienta digital HEC RAS.

La cuantificación de la socavación por contracción se realizará en las secciones codificadas como ST: 2, ST: 3, ST: 4, y ST: 5, de acuerdo a la tabla 4.23

**Tabla 4.23. Resultados de HEC RAS ST: 2, ST: 3, ST: 4 y ST: 5**

Secc.	Prog.	Per. de Retorno	Caudal (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev E (m)	.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width Froude (m)	# Chl
ST: 5	0+200	Tr 25 años	93.50	3,741.0	3,742.8	3,742.8	3,743.4	0.0085	3.66	28.69	24.70	1.01
ST: 5	0+200	Tr 50 años	120.30	3,741.0	3,743.0	3,743.0	3,743.8	0.0081	3.97	34.47	25.61	1.01
ST: 5	0+200	Tr 100 años	151.30	3,741.0	3,743.3	3,743.3	3,744.1	0.0076	4.24	41.13	26.42	1.00
ST: 5	0+200	Tr 200 años	188.20	3,741.0	3,743.6	3,743.6	3,744.5	0.0073	4.56	48.11	27.01	1.01
ST: 4	0+150	Tr 25 años	93.50	3,742.0	3,744.0	3,744.0	3,744.6	0.0078	3.50	29.63	27.00	0.97
ST: 4	0+150	Tr 50 años	120.30	3,742.0	3,744.3	3,744.3	3,744.9	0.0073	3.76	36.10	28.31	0.96
ST: 4	0+150	Tr 100 años	151.30	3,742.0	3,744.5	3,744.5	3,745.3	0.0071	4.06	42.50	28.83	0.97
ST: 4	0+150	Tr 200 años	188.20	3,742.0	3,744.8	3,744.8	3,745.6	0.0066	4.29	50.74	30.01	0.95
ST: 3	0+100	Tr 25 años	93.50	3,743.5	3,745.8	3,745.8	3,746.5	0.0074	3.75	28.53	22.91	0.96
ST: 3	0+100	Tr 50 años	120.30	3,743.5	3,746.1	3,746.1	3,746.8	0.0068	4.01	35.08	27.18	0.95
ST: 3	0+100	Tr 100 años	151.30	3,743.5	3,746.4	3,746.4	3,747.2	0.0063	4.25	43.36	31.58	0.94
ST: 3	0+100	Tr 200 años	188.20	3,743.5	3,746.6	3,746.6	3,747.6	0.0068	4.69	50.44	34.34	0.98
ST: 2	0+050	Tr 25 años	93.50	3,745.2	3,746.7	3,746.7	3,747.2	0.0101	3.05	35.19	44.58	1.02
ST: 2	0+050	Tr 50 años	120.30	3,745.2	3,746.9	3,746.9	3,747.4	0.0094	3.28	42.66	46.83	1.01
ST: 2	0+050	Tr 100 años	151.30	3,745.2	3,747.0	3,747.0	3,747.6	0.0098	3.63	49.05	49.17	1.06
ST: 2	0+050	Tr 200 años	188.20	3,745.2	3,747.3	3,747.3	3,747.9	0.0079	3.68	61.62	51.89	0.98

**Tabla 4.24. Resultados de socavación por contracción método Lischtvan-Levediev**

Sección	Progresiva	Periodo de diseño	Coef. (a)	Tirante (h)	Coef. de frec. (β)	Diámetro Medio (Dm)	z	F. C. cauce	F. C. forma	(Hs)	Socavación (m)
ST: 2	0+050	25	2.677	1.54	0.929	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>4.11</b>	2.57
ST: 3	0+100	25	3.338	2.29	0.929	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>7.78</b>	5.49
ST: 4	0+150	25	3.643	2.00	0.929	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>7.04</b>	5.04
ST: 5	0+200	25	3.096	1.78	0.929	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>5.44</b>	3.66
ST: 2	0+050	50	2.514	1.70	0.958	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>4.32</b>	2.62
ST: 3	0+100	50	3.082	2.57	0.958	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>8.26</b>	5.69
ST: 4	0+150	50	3.400	2.23	0.958	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>7.47</b>	5.24
ST: 5	0+200	50	2.210	2.01	0.958	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>4.82</b>	2.81
ST: 2	0+050	100	2.517	1.83	0.988	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>4.63</b>	2.80
ST: 3	0+100	100	2.757	2.85	0.988	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>8.44</b>	5.59
ST: 4	0+150	100	3.285	2.46	0.988	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>8.02</b>	5.56
ST: 5	0+200	100	2.814	2.26	0.988	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>6.48</b>	4.22

<b>ST: 2</b>	0+050	200	2.160	2.08	1.017	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>4.74</b>	2.66
<b>ST: 3</b>	0+100	200	2.690	3.06	1.017	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>8.85</b>	5.79
<b>ST: 4</b>	0+150	200	3.071	2.74	1.017	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>8.52</b>	5.78
<b>ST: 5</b>	0+200	200	2.729	2.52	1.017	2.15	0.380	1.00	1.00	<b>7.07</b>	4.55

#### 4.3.4.2. Estimación de la socavación por contracción método de Laursen

Para cuantificar los valores de socavación por contracción mediante el método Laursen se realizará el análisis y cálculo de acuerdo a la ecuación 2.20, tomando como valores los resultados de la tabla 4.19 obtenidos en la modelación hidráulica del río Ichu con la herramienta digital HEC RAS.

Tabla 4.25 Resultados de socavación por contracción método Laursen

Sección	Progresiva	Periodo de diseño	C. R. Manning (n)	Parám. Shields (Ks)	G. E. mat. de lecho (Gs)	Diámetro Medio (Dm)	W	Hs	Socavación (m)
<b>ST: 2</b>	0+050	25	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	4.35	<b>2.81</b>
<b>ST: 3</b>	0+100	25	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	4.35	<b>2.06</b>
<b>ST: 4</b>	0+150	25	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	4.35	<b>2.35</b>
<b>ST: 5</b>	0+200	25	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	4.35	<b>2.57</b>
<b>ST: 2</b>	0+050	50	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.09	<b>3.39</b>
<b>ST: 3</b>	0+100	50	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.09	<b>2.52</b>
<b>ST: 4</b>	0+150	50	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.09	<b>2.86</b>
<b>ST: 5</b>	0+200	50	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.09	<b>3.08</b>
<b>ST: 2</b>	0+050	100	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.43	<b>3.60</b>
<b>ST: 3</b>	0+100	100	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.43	<b>2.58</b>
<b>ST: 4</b>	0+150	100	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.43	<b>2.97</b>
<b>ST: 5</b>	0+200	100	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.43	<b>3.17</b>
<b>ST: 2</b>	0+050	200	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.84	<b>3.76</b>
<b>ST: 3</b>	0+100	200	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.84	<b>2.78</b>
<b>ST: 4</b>	0+150	200	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.84	<b>3.10</b>
<b>ST: 5</b>	0+200	200	0.018	0.039	2.650	2.69	0.265	5.84	<b>3.32</b>

#### 4.3.4.3. Estimación de la socavación por contracción método de Straub

Para cuantificar los valores de socavación local mediante el método de Straub se realizará el análisis y cálculo de acuerdo a la ecuación 2.22, tomando como valores los resultados de la Tabla 4.19 obtenidos en la modelación hidráulica del río *Ichu* con la herramienta digital HEC RAS.

**Tabla 4.26. Resultados de socavación por contracción método Straub**

Sección	Progresiva	Periodo de diseño	Ancho aguas arriba ( B1 )	Ancho en la sección ( B2 )	Tirante ( h )	Hs	Socavación ( m )
ST: 2	0+050	25	34.00	32.50	1.54	1.59	1.59
ST: 3	0+100	25	32.50	24.75	2.29	2.73	2.73
ST: 4	0+150	25	24.75	32.75	2.00	1.67	1.67
ST: 5	0+200	25	32.75	23.00	1.78	2.23	2.23
ST: 2	0+050	50	34.00	32.50	1.70	1.75	1.75
ST: 3	0+100	50	32.50	24.75	2.57	3.06	3.06
ST: 4	0+150	50	24.75	32.75	2.23	1.86	1.86
ST: 5	0+200	50	32.75	23.00	2.01	2.52	2.52
			0.00				
ST: 2	0+050	100	34.00	32.50	1.83	1.88	1.88
ST: 3	0+100	100	32.50	24.75	2.85	3.39	3.39
ST: 4	0+150	100	24.75	32.75	2.46	2.06	2.06
ST: 5	0+200	100	32.75	23.00	2.26	2.84	2.84
			0.00				
ST: 2	0+050	200	34.00	32.50	2.08	2.14	2.14
ST: 3	0+100	200	32.50	24.75	3.06	3.64	3.64
ST: 4	0+150	200	24.75	32.75	2.74	2.29	2.29
ST: 5	0+200	200	32.75	23.00	2.52	3.16	3.16

#### 4.4. Resultados

##### 4.4.1. Cuantificación de la socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño

Obtenidos ya los resultados de socavación mediante los métodos de Liu, Chang y Skinner, Artamonov y Froehlich, se pasa a evaluar los distintos resultados que cada método proporciona para el presente proyecto de investigación.

**Tabla 4.27. Resultados de los métodos de socavación local**

SOCAVACIÓN LOCAL			
PERIODO DE RETORNO	MÉTODO	SOCAVACIÓN - MARGEN IZQUIERDO (m)	SOCAVACIÓN - MARGEN DERECHO (m)
25 años	Liu, Chang y Skinner	<b>2.39</b>	<b>1.81</b>
	Artamonov	<b>3.53</b>	<b>3.82</b>
	Froehlich	<b>1.24</b>	<b>0.55</b>
50 años	Liu, Chang y Skinner	<b>2.33</b>	<b>1.77</b>
	Artamonov	<b>3.58</b>	<b>4.30</b>
	Froehlich	<b>1.05</b>	<b>0.38</b>

<b>100 años</b>	Liu, Chang y Skinner	<b>2.27</b>	<b>1.72</b>	
	Artamonov	<b>4.00</b>	<b>4.79</b>	
	Froehlich	<b>0.85</b>	<b>0.20</b>	
<b>200 años</b>	Liu, Chang y Skinner	<b>2.21</b>	<b>1.67</b>	
	Artamonov	<b>4.54</b>	<b>5.38</b>	
	Froehlich	<b>0.64</b>	<b>0.00</b>	

### Interpretación de los resultados

De acuerdo con la tabla 4.27 se puede apreciar que existe una variación para cada método debido a que cada uno de estos utiliza distintas variables, sin embargo, podemos elegir el método que brinda los resultados más elevados, que para obtener los resultados de socavación local en el presente desarrollo del proyecto investigación dicho método es el de Artamonov, que tiene como resultados para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, analizadas en la sección del puente peatonal (ver PG-02), para el margen izquierdo valores de socavación iguales a 3.53 m, 3.58 m, 4.00 m y 4.54 m respectivamente y para el margen derecho valores de socavación iguales a 3.82 m, 4.30 m, 4.79 m y 5.38 m.

#### 4.4.2. Estimación de la socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño

Obtenidos ya los resultados de socavación mediante los métodos de Lischtván – Levediev, Laursen y Straub, se pasa a evaluar los distintos resultados que cada método proporciona para el presente proyecto de investigación.

**Tabla 4.28. Resultados de los métodos de socavación general**

<b>SOCAVACIÓN GENERAL</b>					
<b>ST: 10 PROG.: 0+450</b>			<b>ST: 13 PROG.: 0+600</b>		
<b>PERIODO DE RETORNO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>	<b>PERIODO DE RETORNO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>
25 años	Lischtván - Levediev	<b>2.59</b>	25 años	Lischtván - Levediev	<b>2.63</b>
	Laursen	<b>2.76</b>		Laursen	<b>2.75</b>
	Straub	<b>1.83</b>		Straub	<b>1.83</b>
50 años	Lischtván - Levediev	<b>2.89</b>	50 años	Lischtván - Levediev	<b>2.83</b>
	Laursen	<b>2.95</b>		Laursen	<b>3.00</b>
	Straub	<b>2.09</b>		Straub	<b>2.02</b>
100 años	Lischtván - Levediev	<b>3.18</b>	100 años	Lischtván - Levediev	<b>3.02</b>
	Laursen	<b>3.39</b>		Laursen	<b>3.50</b>
	Straub	<b>2.35</b>		Straub	<b>2.22</b>
200 años	Lischtván - Levediev	<b>3.51</b>	200 años	Lischtván - Levediev	<b>3.21</b>
	Laursen	<b>4.00</b>		Laursen	<b>4.17</b>
	Straub	<b>2.64</b>		Straub	<b>2.45</b>

<b>ST: 22 PROG.: 1+050</b>			<b>ST: 26 PROG.: 1+250</b>		
<b>PERIODO DE RETORNO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>SOCAVACIÓN ( m )</b>	<b>PERIODO DE RETORNO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>SOCAVACIÓN ( m )</b>
25 años	Lischtvan - Levediev	<b>2.58</b>	25 años	Lischtvan - Levediev	<b>2.23</b>
	Laursen	<b>2.72</b>		Laursen	<b>2.71</b>
	Straub	<b>1.86</b>		Straub	<b>1.92</b>
50 años	Lischtvan - Levediev	<b>2.74</b>	50 años	Lischtvan - Levediev	<b>2.43</b>
	Laursen	<b>2.98</b>		Laursen	<b>2.93</b>
	Straub	<b>2.04</b>		Straub	<b>2.15</b>
100 años	Lischtvan - Levediev	<b>2.90</b>	100 años	Lischtvan - Levediev	<b>2.62</b>
	Laursen	<b>3.50</b>		Laursen	<b>3.39</b>
	Straub	<b>2.22</b>		Straub	<b>2.40</b>
200 años	Lischtvan - Levediev	<b>3.04</b>	200 años	Lischtvan - Levediev	<b>2.85</b>
	Laursen	<b>4.17</b>		Laursen	<b>4.02</b>
	Straub	<b>2.45</b>		Straub	<b>2.67</b>

<b>ST: 31 PROG.: 1+500</b>		
<b>PERIODO DE RETORNO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>SOCAVACIÓN ( m )</b>
25 años	Lischtvan - Levediev	<b>3.51</b>
	Laursen	<b>2.60</b>
	Straub	<b>2.00</b>
50 años	Lischtvan - Levediev	<b>2.69</b>
	Laursen	<b>2.81</b>
	Straub	<b>2.23</b>
100 años	Lischtvan - Levediev	<b>4.04</b>
	Laursen	<b>3.28</b>
	Straub	<b>2.47</b>
200 años	Lischtvan - Levediev	<b>4.33</b>
	Laursen	<b>3.92</b>
	Straub	<b>2.73</b>

### **Interpretación de los resultados**

De acuerdo a la tabla 4.28, se puede apreciar que existe una variación de resultados para cada método debido a que cada uno de estos utiliza distintas variables, sin embargo, podemos elegir el método que brinda los resultados más conservadores, que para obtener los resultados de socavación general en el presente desarrollo del proyecto investigación dicho método es el de Lischtvan y Levediev, que tiene como resultados para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, analizadas en las secciones ST: 10, ST: 13, ST: 22, ST: 26 y ST: 31 (ver PG-01 y PG-02), los valores promedios de socavación iguales a 2.71 m  $\pm$  17.63 %, 2.72 m  $\pm$  6.51 %, 3.15 m  $\pm$  17.02 % y 3.39 m  $\pm$  17.09 % respectivamente.

#### 4.4.3. Determinación de la socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño

Obtenidos ya los resultados de socavación mediante los métodos de Lischtván – Levediev, Laursen y Straub, se pasa a evaluar los distintos resultados que cada método proporciona para el presente proyecto de investigación.

**Tabla 4.29.** Resultados de los métodos de socavación por contracción

<b>SOCAVACIÓN POR CONTRACCIÓN</b>					
<b>ST: 2 PROG.: 0+050</b>			<b>ST: 3 PROG.: 0+100</b>		
<b>PERIODO DE RETORNO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>	<b>PERIODO DE RETORNO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>
25 años	Lischtván - Levediev	<b>2.57</b>	25 años	Lischtván - Levediev	<b>5.49</b>
	Laursen	<b>2.81</b>		Laursen	<b>2.06</b>
	Straub	<b>1.59</b>		Straub	<b>2.73</b>
50 años	Lischtván - Levediev	<b>2.62</b>	50 años	Lischtván - Levediev	<b>5.69</b>
	Laursen	<b>3.39</b>		Laursen	<b>2.52</b>
	Straub	<b>1.75</b>		Straub	<b>3.06</b>
100 años	Lischtván - Levediev	<b>2.80</b>	100 años	Lischtván - Levediev	<b>5.59</b>
	Laursen	<b>3.60</b>		Laursen	<b>2.58</b>
	Straub	<b>1.88</b>		Straub	<b>3.39</b>
200 años	Lischtván - Levediev	<b>2.66</b>	200 años	Lischtván - Levediev	<b>5.79</b>
	Laursen	<b>3.76</b>		Laursen	<b>2.78</b>
	Straub	<b>2.14</b>		Straub	<b>3.64</b>
<b>ST: 4 PROG.: 0+150</b>			<b>ST: 5 PROG.: 0+200</b>		
<b>PERIODO DE RETORNO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>	<b>PERIODO DE RETORNO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>
25 años	Lischtván - Levediev	<b>5.04</b>	25 años	Lischtván - Levediev	<b>3.66</b>
	Laursen	<b>2.35</b>		Laursen	<b>2.57</b>
	Straub	<b>1.67</b>		Straub	<b>2.23</b>
50 años	Lischtván - Levediev	<b>5.24</b>	50 años	Lischtván - Levediev	<b>2.81</b>
	Laursen	<b>2.86</b>		Laursen	<b>3.08</b>
	Straub	<b>1.86</b>		Straub	<b>2.52</b>
100 años	Lischtván - Levediev	<b>5.56</b>	100 años	Lischtván - Levediev	<b>4.22</b>
	Laursen	<b>2.97</b>		Laursen	<b>3.17</b>
	Straub	<b>2.06</b>		Straub	<b>2.84</b>
200 años	Lischtván - Levediev	<b>5.78</b>	200 años	Lischtván - Levediev	<b>4.55</b>
	Laursen	<b>3.10</b>		Laursen	<b>3.32</b>
	Straub	<b>2.29</b>		Straub	<b>3.16</b>

## **Interpretación de los resultados**

De acuerdo con la tabla 4.29, se puede apreciar que existe una variación de resultados para cada método debido a que cada uno de estos utiliza distintas variables, sin embargo, podemos elegir el método que brinda los resultados más conservadores, que para obtener los resultados de socavación general en el presente desarrollo del proyecto investigación dicho método es el de Lischtvan y Levediev, que tiene como resultados para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, analizadas en las secciones ST: 2, ST: 3, ST: 4 y ST: 5 (ver PG-01), los valores promedios de socavación iguales a  $4.19 \text{ m} \pm 31.86 \%$ ,  $4.09 \text{ m} \pm 39.05 \%$ ,  $4.54 \text{ m} \pm 29.25 \%$  y  $4.69 \text{ m} \pm 31.50 \%$  respectivamente.

## **CAPÍTULO V: DISCUSIONES**

Las discusiones se realizaron en el orden de los objetivos (específicos y general)

### **Discusión 1:**

Se puede apreciar que existe una variación para cada método debido a que cada uno de estos utiliza distintas variables, sin embargo, podemos elegir el método que brinda los resultados más elevados, que para obtener los resultados de socavación local en el presente desarrollo del proyecto investigación dicho método es el de Artamonov, que tiene como resultados para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, analizadas en la sección del puente peatonal (ver PG-02), para el margen izquierdo valores de socavación iguales a 3.53 m, 3.58 m, 4.00 m y 4.54 m respectivamente y para el margen derecho valores de socavación iguales a 3.82 m, 4.30 m, 4.79 m y 5.38 m.

Al respecto, Peñaloza et.al. (2017), citado como antecedente internacional, menciona que los resultados obtenidos del modelo de alturas y velocidades para todos los periodos de retorno estudiados (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) indican que los valores de socavación local son más conservadores aludiendo a la conocida sobreestimación de los métodos tradicionales.

Para Elbio (2016), los valores de socavación resultantes de su análisis en el puente Colpa Alta mediante tres métodos, el método que le brinda los valores máximos es el de Artamonov.

Como se puede observar, los valores determinados mediante el método de Artamonov es el que muestra valores de socavación más altos los cuales son consistentes con los antecedentes, por consiguiente, el objetivo es alcanzado.

### **Discusión 2:**

Existe una variación de resultados para cada método debido a que cada uno de estos utiliza distintas variables, sin embargo, podemos elegir el método que brinda los resultados más conservadores, que para obtener los resultados de socavación general en el presente desarrollo del proyecto investigación dicho método es el de Lischtván y Levediev, que tiene como resultados para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, analizadas en las secciones ST: 10, ST: 13, ST: 22, ST: 26 y ST: 31 (ver PG-01 y PG-02), los valores promedios de socavación iguales a  $2.71 \text{ m} \pm 17.63 \%$ ,  $2.72 \text{ m} \pm 6.51 \%$ ,  $3.15 \text{ m} \pm 17.02 \%$  y  $3.39 \text{ m} \pm 17.09 \%$  respectivamente.

Lo que sostiene Carhuaz (2020), citado como antecedente nacional, es que la socavación del cauce principal fue evaluada con la fórmula de Lischtván-Levediev, por lo que considera tomar como valor representativo la socavación promedio de 1.35 m.

Esteves (2018) aplica el método de Lischtván-Levediev debido a que le resulta un mayor porcentaje de exactitud y sustenta que se demuestra que son los valores más conservadores y seguros.

Como se puede observar los valores determinados mediante el método de Lischtván-Levediev es el utilizado para el cálculo de la socavación general el cual es consistente con los antecedentes, por consiguiente, el objetivo es alcanzado.

### Discusión 3:

Se puede apreciar que existe una variación de resultados para cada método debido a que cada uno de estos utiliza distintas variables; sin embargo, podemos elegir el método que brinda los resultados más conservadores, que para obtener los resultados de socavación general en el presente desarrollo del proyecto investigación dicho método es el de Lischtván y Levediev, que tiene como resultados para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, analizadas en las secciones ST: 2, ST: 3, ST: 4 y ST: 5 (ver PG-01), los valores promedios de socavación iguales a  $4.19 \text{ m} \pm 31.86 \%$ ,  $4.09 \text{ m} \pm 39.05 \%$ ,  $4.54 \text{ m} \pm 29.25 \%$  y  $4.69 \text{ m} \pm 31.50 \%$  respectivamente.

En base a lo mencionado por Farias et. al. (2008), citado como antecedente internacional, es que de acuerdo con el análisis de velocidad crítica y de equilibrio conllevó a la aplicación de una fórmula generalizada (Lischtván-Levediev) para calcular la erosión general en ríos con lechos arenosos.

Para Freire y Ruilova (2012), el método que presenta una fórmula simplificada para calcular la socavación es el método de Lischtvan-Levediev ya que este método aplica los valores del diámetro de las partículas del fondo del cauce y el caudal de diseño para un determinado periodo de retorno.

Como se puede observar, los valores determinados mediante el método de Lischtvan-Levediev es el utilizado para el cálculo de la socavación por contracción el cual es consistente con los antecedentes, por consiguiente, el objetivo es alcanzado.

#### Discusión 4:

La socavación calculada tiene como resultados para los caudales de diseño de 93.5 m<sup>3</sup>/s, 120.3 m<sup>3</sup>/s, 151.3 m<sup>3</sup>/s y 188.2 m<sup>3</sup>/s para periodos de retorno (Tr) de 25, 50, 100 y 200 años respectivamente, muestra los valores promedios de socavación iguales a 3.37 m ± 35.03 %, 3.33 m ± 36.77 %, 3.77 m ± 30.72 % y 3.97 m ± 30.43 % respectivamente.

Lugo (2019), citado como antecedente nacional, sostiene que con los métodos que se analiza los valores de socavación varían de acuerdo a las variables de cada uno de los métodos, con lo que en el desarrollo del proyecto de investigación se encontraron valores que difieren el uno del otro en cada uno de los métodos seleccionados.

Valverde (2019) concluye en su trabajo que los métodos aplicados resultan los valores aproximados, no llegan a ser exactos, sin embargo, nos muestran un rango para validar los valores obtenidos.

Para determinar el periodo de retorno y caudal de diseño, se deberá evaluar el riesgo admisible de falla y la vida útil de la estructura como se puede observar los valores determinados para este ítem son similares y consistentes con los antecedentes, por consiguiente, el objetivo es alcanzado.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

Las conclusiones se realizaron en el orden de los objetivos (específicos y general)

### Conclusión 1

La socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño de 93.5 m<sup>3</sup>/s, 120.3 m<sup>3</sup>/s, 151.3 m<sup>3</sup>/s y 188.2 m<sup>3</sup>/s para periodos de retorno (Tr) de 25, 50, 100 y 200 años respectivamente, analizadas con el método de Artamonov (valores máximos en ST: Puente); es igual 3.53 m, 3.58 m, 4.00 m y 4.54 en el margen izquierdo y 3.82 m, 4.30 m, 4.79 m y 5.38 m en el margen derecho de acuerdo a los periodos de retorno seleccionados.

### Conclusión 2

La socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño de 93.5 m<sup>3</sup>/s, 120.3 m<sup>3</sup>/s, 151.3 m<sup>3</sup>/s y 188.2 m<sup>3</sup>/s para periodos de retorno (Tr) de 25, 50, 100 y 200 años respectivamente, analizadas con el método de Lischtvan-Levediev (valores más conservadores en ST: 10, ST: 13, ST: 22, ST: 26 y ST: 31); en encuentra en el rango de 2.23 m a 3.19 m para un Tr = 25 años, 2.54 m a 2.89 m para un Tr = 50 años, 2.62 m a 3.69 m para un Tr = 100 años y 2.81 m a 3.97 m para un Tr = 200 años; resultando promedios de 2.71 m, 2.72 m, 3.15 m y 3.39 m para cada uno de los periodos de retorno seleccionados.

### Conclusión 3

La socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño de 93.5 m<sup>3</sup>/s, 120.3 m<sup>3</sup>/s, 151.3 m<sup>3</sup>/s y 188.2 m<sup>3</sup>/s para periodos de retorno (Tr) de 25, 50, 100 y 200 años respectivamente, analizadas con el método de Lischtvan-Levediev (valores más conservadores en ST: 2, ST: 3, ST: 4 y ST: 5); en encuentra en el rango de 2.85 m a 5.52 m para un Tr = 25 años, 2.49 m a 5.69 m para un Tr = 50 años, 3.21 m a 5.87 m para un Tr =

100 años y 3.22 m a 6.17 m para un  $Tr = 200$  años; resultando promedios de 4.19 m, 4.09 m, 4.54 m y 4.69 m para cada uno de los periodos de retorno seleccionados.

#### Conclusión 4

La socavación en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño de 93.5 m<sup>3</sup>/s, 120.3 m<sup>3</sup>/s, 151.3 m<sup>3</sup>/s y 188.2 m<sup>3</sup>/s para periodos de retorno ( $Tr$ ) de 25, 50, 100 y 200 años respectivamente, se encuentran 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; resultando promedios de 3.37 m, 3.33 m, 3.77 m y 3.97 m para cada uno de los periodos de retorno seleccionados, siendo la socavación local la que muestra mayores valores de socavación en las secciones del cauce del río *Ichu* analizadas.

## **CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones se formularon en el orden de las conclusiones (específicas y general)

### **Recomendación 1**

Se recomienda que la cuantificación de la socavación local debe realizarse por el método de Artamanov, ya que este método brinda los valores máximos de socavación y utiliza mayores parámetros o variables de condición del sitio analizado.

### **Recomendación 2**

Se recomienda que la estimación de la socavación local debe realizarse por el método de Lischtvan-Levediev, ya que este método brinda los valores más conservadores de socavación y utiliza mayores parámetros o variables de condición del sitio analizado.

### **Recomendación 3**

Se recomienda que la determinación de la socavación por contracción debe realizarse por el método de Lischtvan-Levediev, ya que este método brinda los valores más conservadores de socavación y utiliza mayores parámetros o variables de condición del sitio analizado.

### **Recomendación 4**

Se recomienda analizar toda la longitud del cauce para determinar con más precisión la socavación en cada progresiva, considerando la granulometría en cada tramo del mismo, ya que esto influye la posibilidad de falla estructural de las defensas ribereñas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, A., & Fajardo, S. (2020). *Susceptibilidad ante socavación de la vía Aguazul Maní por dinámica fluvial del río Unete*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Anastasi, A., & Urbina, S. (1998). *Test Psicológicos*. México: Prentice Hall.
- Ander-Egg, E. (2011). *Aprende a investigar nociones básicas para la investigación social*. Buenos Aires: Brujas.
- Carhuaz, D. (2020). *Mejoramiento del estudio de hidráulica fluvial del proyecto de protección contra inundaciones en seis tramos del río Pisco, Ica*. Lima.
- Castellanos Hernández, Y. (2018). *Medidas de mitigación al efecto de socavación que se presenta en el caño Buque, entre el puente ubicado en la vía Bogotá a 1km del túnel Buenavista al puente de la Av. 40 cerca de la Cll. 15, aplicando soluciones de ingeniería*. Villavicencio: Universidad Santo Tomás.
- Cerda, H. (1991). *Los elementos de la investigación*. Quito, Ecuador : El Buho LTDA.
- Choque, R., Mamani, D., & Vilcanqui, A. (2020). Determinación de la faja marginal del río caplina en el distrito de pachia y calana mediante modelamiento hidráulico. *Ingeniería investiga*.
- Corral, Y. (2009). Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. *Revista Ciencias de la Educación*, 20.
- DGPI, E. t. (2013). *Guía simplificada para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de servicios de protección frente a inundaciones, a nivel de perfil*. Lima: Ministerio de economía y finanzas.
- Díaz Carvajal, Á., & Mercado Fernández, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. *Ingeniería y desarrollo*, 19.
- Dirección en Manejo Integral de Cuencas de México. (2005). *Instructivo para la revisión de la delimitación de las Cuencas Hidrográficas de México a escala 1:250 000*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México.
- Elbio Felipe, M. (2016). *Socavación producida por el río Huallaga al puente colpa alta en la provincia de Huánuco, utilizando los métodos de Artamanov, Straub y Maza, en el hec-ras*. Lima: Universidad de Piura.

- Esteves Diaz, M. (2018). *Evaluación de métodos para el calculo de la socavación en puentes. caso del puente sobre el rio Shanusi en el distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas, 2018*. Trujillo: Universidad nacional de Trujillo.
- Farias, D., Pilán, T., Olmos, L., & Pece, F. (2008). Erosión general en rios aluviales. *Ingenieria del agua*.
- Fracica, N. (1988). *Modelo de simulación en muestreo*. Bogotá: Universidad de la Sabana.
- Freire Zurita, P., & Ruilova Blacio, J. (2012). *Socavacion en puentes: tramo entre avenida 12 de octubre – Solano*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Garcia Celi, A. D., & Infante Arcaya, F. (2018). *Determinaciòn del caudal màximo para diseño de defensas ribereñas del sector Tamarindo – río Tumbes 2018*. Tumbes.
- Guevara Álvarez, M. E. (2013). *Socavacion en Puentes*. Bogotá: Lemoine Editores SAS.
- Gutiérrez Lozano, J., Vargas Tristán, V., Romero Rodríguez, M., Plácido de la Cruz, J., Aguirre Bortoni, M., & Silva Espinoza, H. (2011). Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas, México. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, 20-33.
- Herencia Félix, B. G., & Carrera Saavedra, C. E. (2019). Estimación caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales. *Instituto de investigación de la facultad de Ingenieria Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la UNMSM*, 10.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGRAW-HILL Interamericana editores S.A.
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Idvia Ingenieros. (25 de febrero de 2021). *La socavación y su relación con el colapso de los puentes*. Obtenido de [www.idvia.es](http://www.idvia.es): <https://www.idvia.es/la-socavacion-y-su-relacion-con-el-colapso-de-los-puentes>
- Ingeniería Hidráulica. (20 de 02 de 2021). *Tipos de socavación: definición y estimación*. Obtenido de <https://www.hidraulicautiling.com/2020/03/el-fenomeno-de-socavacion-tipos-y.html>
- Kerlinger, F. (1986). *Foundations of behavioural research*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Kerlinger, F., & Lee, H. (2020). *Investigación del comportamiento*. Bogotá: McGRAW-HILL Interamericana S.A.

- Londoño Arango, C. H. (2001). *CUENCAS HIDROGRÁFICAS: BASES CONCEPTUALES-CARACTERIZACIÓN-PLANIFICACIÓN-ADMINISTRACIÓN*. Ibagué: Universidad del Tolima.
- Lugo Espinoza, J. V. (2019). *Socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019*. Lima.
- Lugo Espinoza, J. V. (2019). *Socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019*. Lima.
- Mélice, J. L., & Reason, J. C. (2007). Return period of extreme rainfall at George, South Africa. *South African Journal of Science*, 3.
- Novak, P., Moffat, A., & Narayanan, R. (2001). *Estructuras Hidráulicas*. Bogotá: McGRAW-HILL Interamericana S.A.
- Parella Stracuzzi, S., & Martins Pestana, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. Caracas: FEDUPEL.
- Peñaloza, F., Caamaño, D., & Villagrán, M. (2017). Estudio comparativo de métodos de cálculo de socavación local en una cepa circular en río de lecho arenoso. *UCSC*.
- Robredo Sánchez, J. C. (2012). *Cálculo de caudales de avenida*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Rodríguez Díaz, H. A. (2010). *Hidráulica fluvial fundamentos y aplicaciones socavación*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sánchez San Román, J. (01 de marzo de 2021). *Hidrología Hidrogeología*. Obtenido de <https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>
- Sandoval Olaya, F. A., & Cruz Rojas, J. P. (2019). *Resistencia relativa a la erosión fluvial de los suelos que conforman la ribera del río Cravo Sur – tramo: casco urbano Yopal, Casanare*. Bogotá.
- Sierra Bravo, R. (2001). *Técnicas de investigación social teoría y ejercicios*. Madrid: Paraninfo.
- Suarez, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Toapaxi, J., Galiano L., Castro, M., Hidalgo, X., & Valencia, N. (2014). Análisis de la Socavación en Cauces Naturales. *Revista politecnica EPN*, 11.

Valverde, A. (2019). *Estimación de sedimentos, mediante el modelo unidimensional HEC-RAS, en el río costero tropical Hato - Panamá*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Vargas Cordero, Z. R. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 155-165.

Villón Bejar, M. (2011). *Hidrología*. Lima: Villón.

## **ANEXOS**

## Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cuánto es la socavación en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río <i>Ichu</i>, Huancavelica, Huancavelica 2021?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>-¿Cuánto es la socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río <i>Ichu</i>, Huancavelica, Huancavelica 2021?</p> <p>-¿Cuánto es la socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río <i>Ichu</i>, Huancavelica, Huancavelica 2021?</p> <p>-¿Cuánto es la socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río <i>Ichu</i>, Huancavelica, Huancavelica 2021?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar la socavación en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río <i>Ichu</i>, Huancavelica, Huancavelica 2021</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>-Cuantificar la socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río <i>Ichu</i>, Huancavelica, Huancavelica 2021</p> <p>-Estimar la socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río <i>Ichu</i>, Huancavelica, Huancavelica 2021</p> <p>-Determinar la socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño en un tramo del río <i>Ichu</i>, Huancavelica, Huancavelica 2021</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>La socavación según caudales de diseño es máxima en un tramo del río <i>Ichu</i>, Huancavelica, Huancavelica 2021</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>-La socavación local en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño es alta.</p> <p>-La socavación general en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño es medio.</p> <p>-La socavación por contracción en obras longitudinales de defensa ribereña según caudales de diseño es baja.</p>	<p>V1: Caudales de diseño</p> <p>V2: Socavación</p>	<p>D1: Geomorfología de la cuenca</p> <p>D2: Descarga máxima</p> <p>D3: Método de Hidrograma unitario</p> <p>D1: Socavación local</p> <p>D2: Socavación general</p> <p>D3: Socavación por contracción</p>	<p>I1: Topografía</p> <p>I2: Forma de la cuenca</p> <p>I3: Índice de Gravelius</p> <p>I4: Densidad de drenaje</p> <p>I1: Relaciones IDF</p> <p>I2: Hietogramas de precipitación con IDF</p> <p>I3: Precipitación máxima en 24 horas</p> <p>I4: Periodo de retorno</p> <p>I1: Curva número</p> <p>I2: Abstracción inicial</p> <p>I3: Tiempo de concentración</p> <p>I1: Método de Artamonov</p> <p>I2: Método de Liu-Alia</p> <p>I3: Método de Froehlich</p> <p>I1: Método de Lischtvan - Levediev</p> <p>I2: Método de Straub</p> <p>I3: Método de Laursen</p> <p>I1: Método de Straub</p> <p>I2: Contracción natural</p> <p>I3: Zonas de aproximación</p>	<p><b>Método: Científico</b></p> <p>Según Sierra (2001) conocimiento sobre la realidad en base a la teoría ya existente para resolver problemas y explicarlos para dar soluciones</p> <p><b>Tipo: Aplicada</b></p> <p>Para Murillo (2008), como se citó en Vargas (2009), conocimientos teóricos adquiridos para luego aplicarlos y conocer la realidad de una forma precisa, ordenada y sistemática.</p> <p><b>Nivel: Explicativo</b></p> <p>Hernández, Fernández &amp; Baptista (2014) interpretar la realidad, por qué y para qué de la manifestación de un fenómeno y su relación entre variables.</p> <p><b>Diseño: No experimental</b></p> <p>Por su parte Kerlinger &amp; Lee (2020) solo observa los fenómenos en el contexto en el que suceden, inferencias en la relación de las variables, sin intervención directa.</p> <p><b>Población</b></p> <p>Longitud del río <i>Ichu</i> que es 45 km.</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>Un tramo del río <i>Ichu</i> (zona Troncoso), del distrito de Ascensión, Huancavelica</p> <p><b>Muestreo</b></p> <p>Tipo no probabilístico</p> <p>Subtipo intencional</p>

## Anexo 2: Instrumentos de investigación validados

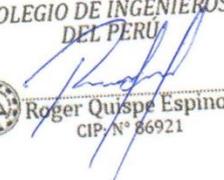
### FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

PROYECTO: SOCAVACIÓN EN OBRAS LONGITUDINALES DE DEFENSA RIBEREÑA SEGÚN CAUDALES DE DISEÑO EN UN TRAMO DEL RIO ICHU, HUANCVELICA, HUANCVELICA 2021

AUTOR: NELSON MIGUEL QUINTE LULO

I.- INFORMACION GENERAL:							
UBICACIÓN:							
DISTRITO:	Ascensión	ALTITUD:	3712				
PROVINCIA:	Huancavelica	LATITUD:	12° 46' 21" S				
REGION:	Huancavelica	LONGITUD:	75° 00' 36" O				
II.- D1V1 Geomorfología de la cuenca							
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und
Topografía	km2	Forma de cuenca	alargada o concava	Índice de Gavelius	valor numérico	Densidad de drenaje	km/km2
III.- D2V1 Descarga máxima							
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und
Relaciones IDF	pulg/h/h *Tr	Hietogramas con IDF	pulg/h*h	Precipitación máx. 24 h	mm/año	Periodo de retorno	años
IV.- D3V1 Método de hidrograma unitario							
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und
Curva número	valor numérico	Abstracción inicial	valor numérico	Tiempo de concentración	horas		
V.- D1V2 Socavación local							
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und
Método de Artamonov	m	Método de Liu-Alia	m	Método de Froehlich	m		
VI.- D2V2 Socavación general							
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und
Método de Lischtvan - L.	m	Método de Straub	m	Método de Laursen	m		
VII. D3V2 Socavación por contracción							
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und
Método de Straub	m						
APELLIDOS Y NOMBRES:	Quispe Espinoza Roger						
PROFESION Y GRADO	Ingeniero Civil						
REGISTRO CIP No:	86921						
EMAIL:	roger_qe@hotmail.com						
TELEFONO:	957600081						

COLEGIO DE INGENIEROS  
DEL PERÚ

  
Roger Quispe Espinoza  
CIP-N° 86921

### FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

PROYECTO: SOCAVACIÓN EN OBRAS LONGITUDINALES DE DEFENSA RIBEREÑA SEGÚN CAUDALES DE DISEÑO EN UN TRAMO DEL RIO ICHU, HUANCVELICA, HUANCVELICA 2021

AUTOR: NELSON MIGUEL QUINTE LULO

I.- INFORMACION GENERAL:								
UBICACIÓN:								
DISTRITO:	Ascensión	ALTITUD:	3712					
PROVINCIA:	Huancavelica	LATITUD:	12° 46' 21" S					
REGION:	Huancavelica	LONGITUD:	75° 00' 36" O					
II.- D1V1 Geomorfología de la cuenca								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Topografía	km2	Forma de cuenca	alargada o concava	Índice de Gavelius	valor numérico	Densidad de drenaje	km/km2	
III.- D2V1 Descarga máxima								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Relaciones IDF	pulg/h/h *Tr	Hietogramas con IDF	pulg/h*h	Precipitación máx. 24 h	mm/año	Periodo de retorno	años	
IV.- D3V1 Método de hidrograma unitario								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Curva número	valor numérico	Abstracción inicial	valor numérico	Tiempo de concentración	horas			
V.- D1V2 Socavación local								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Método de Artamonov	m	Método de Liu-Alia	m	Método de Froehlich	m			
VI.- D2V2 Socavación general								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Método de Lischtvan - L.	m	Método de Straub	m	Método de Laursen	m			
VII. D3V2 Socavación por contracción								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Método de Straub	m	Contracción natural		Zonas de aproximación				
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ñahui Gaspar Adolfo							
PROFESIÓN Y GRADO	Ingeniero Civil							
REGISTRO CIP No:	89663							
EMAIL:	adolfo2000@hotmail.com							
TELEFONO:	964494963							

  
**Adolfo Nahui Gaspar**  
 Ingeniero Civil  
 CIP: N° 89663

### FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

PROYECTO: SOCAVACIÓN EN OBRAS LONGITUDINALES DE DEFENSA RIBEREÑA SEGÚN CAUDALES DE DISEÑO EN UN TRAMO DEL RIO ICHU, HUANCVELICA, HUANCVELICA 2021

AUTOR: NELSON MIGUEL QUINTE LULO

I.- INFORMACION GENERAL:								
UBICACIÓN:								
DISTRITO:	Ascensión	ALTITUD:	3712					
PROVINCIA:	Huancavelica	LATITUD:	12° 46' 21" S					
REGION:	Huancavelica	LONGITUD:	75° 00' 36" O					
II.- D1V1 Geomorfología de la cuenca								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Topografía	km2	Forma de cuenca	alargada o concava	Índice de Gavelius	valor numérico	Densidad de drenaje	km/km2	
III.- D2V1 Descarga máxima								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Relaciones IDF	pulg/h/h *Tr	Hietogramas con IDF	pulg/h*h	Precipitación máx. 24 h	mm/año	Periodo de retorno	años	
IV.- D3V1 Método de hidrograma unitario								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Curva número	valor numérico	Abstracción inicial	valor numérico	Tiempo de concentración	horas			
V.- D1V2 Socavación local								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Método de Artamonov	m	Método de Liu-Alia	m	Método de Froehlich	m			
VI.- D2V2 Socavación general								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Método de Lischtvan - L.	m	Método de Straub	m	Método de Laursen	m			
VII.- D3V2 Socavación por contracción								
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	Indicador 4:	Und	
Método de Straub	m	Contracción natural		Zonas de aproximación				
APELLIDOS Y NOMBRES:		Rupay Aguilar Jaime Eduardo						
PROFESIÓN Y GRADO		Ingeniero Civil / Doctor de Ingenieria Civil						
REGISTRO CIP No:		55138						
EMAIL:		jrupay@hotmail.com						
TELEFONO:		964901749						



  
 Jaime E. Rupay Aguilar  
 Ingeniero Civil  
 CIP: N° 55138

### Anexo 3: Panel fotográfico

Figura 1: *Vista de la sección del puente peatonal progresiva 1+950*



Figura 2: *Vista de la sección del puente peatonal*



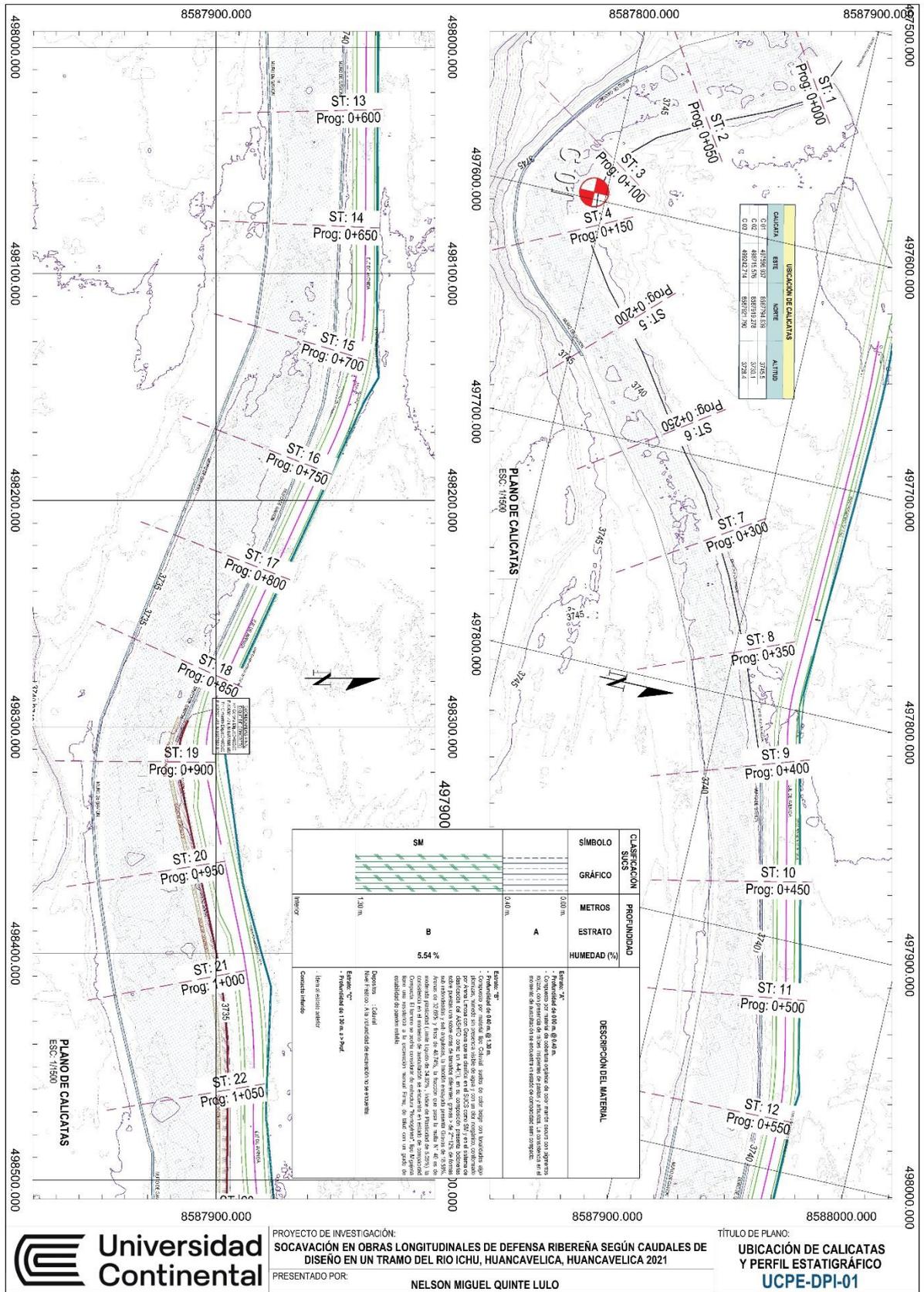
Figura 3: *Vista del tramo de diques de concreto y muros de gavión*

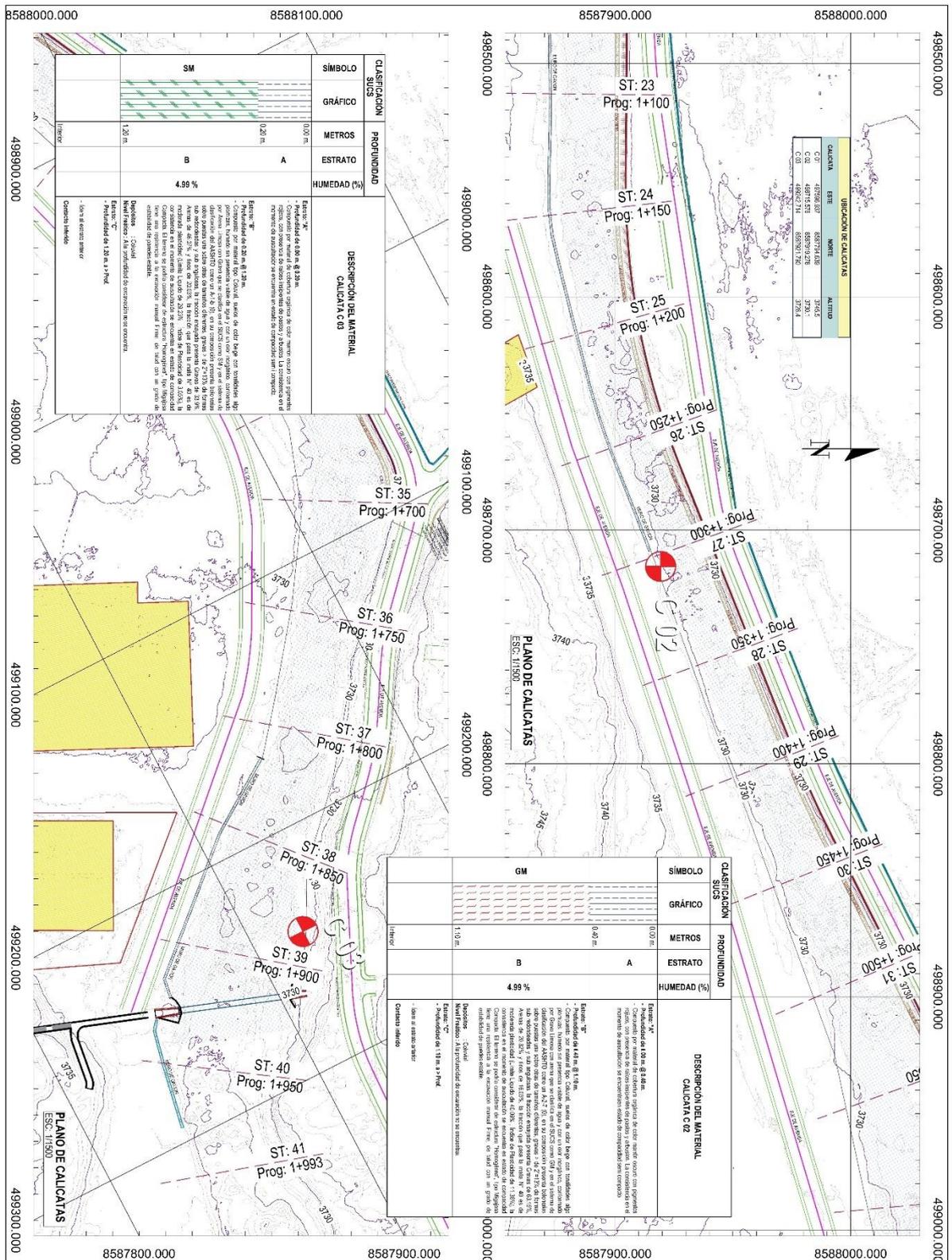


Figura 4: *Vista del tramo de diques de concreto y borde natural*



# Anexo 4: Plano de calicatas y perfiles estratigráficos





CLASIFICACION SUCS	PROFUNDIDAD	DESCRIPCION DEL MATERIAL
SM	0.20 m	ESTRATO "A" - Proveedor de 0.20 m a 1.20 m. - Humedad de 4.99%. - Estrato "B" - Proveedor de 1.20 m a 1.70 m. - Humedad de 4.99%.
B	4.99 %	ESTRATO "B" - Proveedor de 0.20 m a 1.20 m. - Humedad de 4.99%. - Estrato "A" - Proveedor de 1.20 m a 1.70 m. - Humedad de 4.99%.

CLASIFICACION SUCS	PROFUNDIDAD	DESCRIPCION DEL MATERIAL
GM	0.40 m	ESTRATO "A" - Proveedor de 0.40 m a 1.00 m. - Humedad de 4.99%. - Estrato "B" - Proveedor de 1.00 m a 1.70 m. - Humedad de 4.99%.
B	4.99 %	ESTRATO "B" - Proveedor de 0.40 m a 1.00 m. - Humedad de 4.99%. - Estrato "A" - Proveedor de 1.00 m a 1.70 m. - Humedad de 4.99%.



PROYECTO DE INVESTIGACION:  
**SOCACIVACION EN OBRAS LONGITUDINALES DE DEFENSA RIBERENA SEGUN CAUDALES DE DISEÑO EN UN TRAMO DEL RIO ICHU, HUANCavelica, HUANCavelica 2021**

PRESENTADO POR:  
**NELSON MIGUEL QUINTE LULO**

TITULO DE PLANO:  
**UBICACION DE CALICATAS Y PERFIL ESTADIGRAFICO**  
**UCPE-DPI-02**

# Anexo 5: Estudios de laboratorio

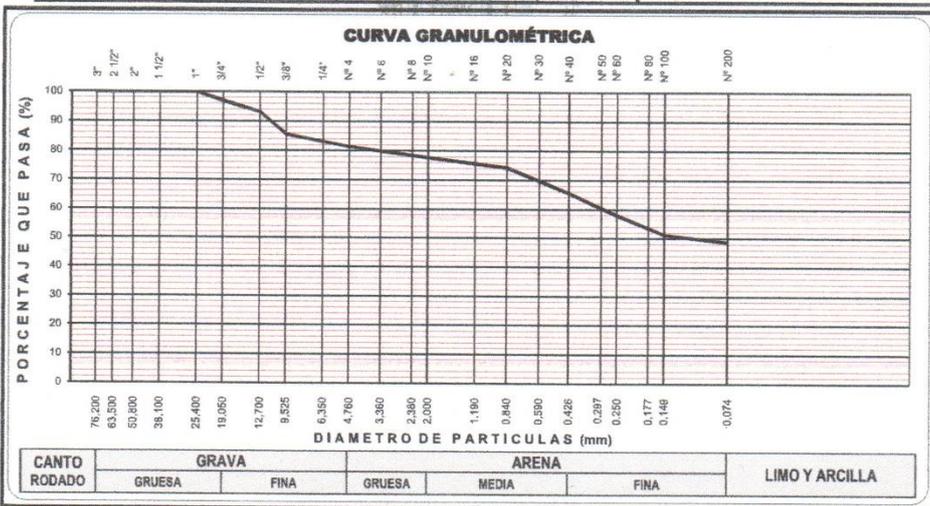
## VAZATT GEOTEST SRL ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO Y DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN

### ENSAYO ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN

(ASTM D 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, D 1557)

Proyecto : SOCAVACIÓN EN OBRAS LONGITUDINALES DE DEFENSA RIBERENA SEGÚN CAUDALES DE  
 DISEÑO EN UN TRAMO DEL RIO ICHU, HUANCAMELICA, HUANCAMELICA 2021  
 Solicitante : NELSON MIGUEL QUINTE LULO Departamento : HUANCAMELICA  
 Descripción : CALICATA N° 01 Estrato : "B" Provincia : HUANCAMELICA  
 Ubicación : RÍO ICHU KM. 0+050 Distrito : HUANCAMELICA  
 Fecha : Abril del 2021 Lugar : RIO ICHU

TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	PESO Retenido (gr.)	% RETENIDO Parcial	% RETENIDO Acumulado	% QUE Pasa	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200	-	-	-	100.00	<b>PESOS DE LA MUESTRA ENSAYADA</b> Peso seco inicial 1200.00 Peso seco lavado 618.14 Pérdida por lavado 581.86
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00	
2"	50.800	-	-	-	100.00	
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00	
1"	25.400	-	-	-	100.00	
3/4"	19.050	36.59	3.05	3.05	96.95	<b>PARÁMETROS DE GRANULOMETRÍA</b> % Grava 18.6 % Grava gruesa 0.0 % Grava fina 18.6 % Arena 32.7 % Arena gruesa 3.6 % Arena media 12.1 % Arena fina 16.9 % de Finos 48.7
1/2"	12.700	45.87	3.82	6.87	93.13	
3/8"	9.525	90.45	7.54	14.41	85.59	
1/4"	6.350	-	-	14.41	85.59	
N° 4	4.760	50.00	4.17	18.58	81.42	
N° 6	3.360	-	-	18.58	81.42	
N° 8	2.380	-	-	18.58	81.42	
N° 10	2.000	43.62	3.64	22.21	77.79	
N° 16	1.190	-	-	22.21	77.79	
N° 20	0.840	42.00	3.50	25.71	74.29	
N° 30	0.590	-	-	25.71	74.29	
N° 40	0.426	103.69	8.64	34.35	65.65	
N° 50	0.297	-	-	34.35	65.65	
N° 60	0.250	92.48	7.71	42.06	57.94	
N° 80	0.177	-	-	42.06	57.94	
N° 100	0.149	80.00	6.67	48.73	51.28	
N° 200	0.075	30.45	2.54	51.28	48.74	
Fondo	-	2.99	0.25	51.51	-	
Lavado	-	581.9	48.49	100.00	-	
<b>TOTAL</b>		<b>1200.0</b>	<b>100.0</b>			



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

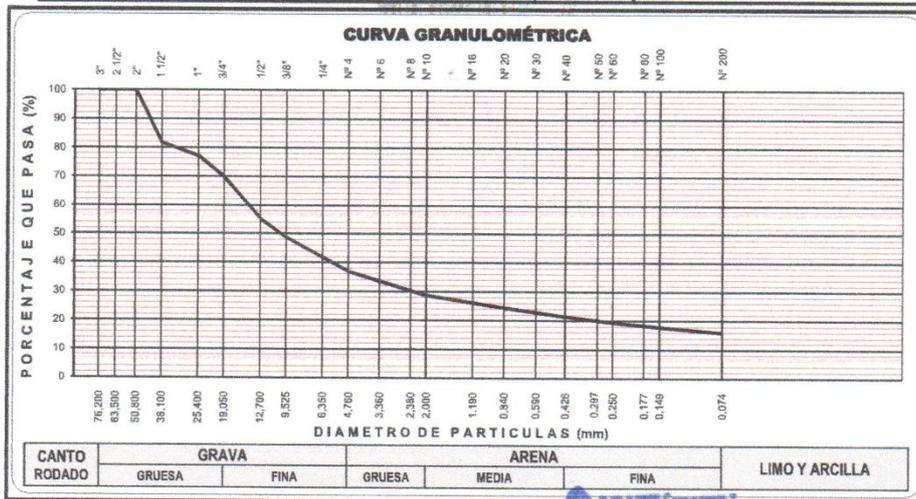
**VAZATT GEOTEST SRL**  
**ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO Y DE MECÁNICA DE SUELOS**  
**CON FINES DE CIMENTACIÓN**

**ENSAYO ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN**

(ASTM D 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, D 1557)

Proyecto : SOCAVACIÓN EN OBRAS LONGITUDINALES DE DEFENSA RIBEREÑA SEGÚN CAUDALES DE DISEÑO EN UN TRAMO DEL RÍO ICHU, HUANCVELICA, HUANCVELICA 2021  
 Solicitante : NELSON MIGUEL QUINTE LULO Departamento : HUANCVELICA  
 Descripción : CALICATA N° 02 Estrato : "B" Provincia : HUANCVELICA  
 Ubicación : RÍO ICHU KM. 0+950 Distrito : HUANCVELICA  
 Fecha : Abril del 2021 Lugar : RÍO ICHU

TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	PESO Retenido (gr.)	% RETENIDO Parcial	% RETENIDO Acumulado	% QUE Pasa	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200	-	-	-	100.00	<b>PESOS DE LA MUESTRA ENSAYADA</b>
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00	Peso seco inicial 1450.00
2"	50.800	-	-	-	100.00	Peso seco lavado 1221.38
1 1/2"	38.100	264.07	18.21	18.21	81.79	Pérdida por lavado 228.62
1"	25.400	65.94	4.55	22.76	77.24	<b>PARÁMETROS DE GRANULOMETRIA</b>
3/4"	19.050	107.58	7.42	30.18	69.82	% Grava 63.1
1/2"	12.700	211.38	14.58	44.76	55.24	% Grava gruesa 22.8
3/8"	9.525	93.99	6.48	51.24	48.76	% Grava fina 40.4
1/4"	6.350	-	-	51.24	48.76	% Arena 20.8
N° 4	4.760	172.71	11.91	63.15	36.85	% Arena gruesa 8.2
N° 6	3.360	-	-	63.15	36.85	% Arena media 7.2
N° 8	2.380	-	-	63.15	36.85	% Arena fina 5.5
N° 10	2.000	118.63	8.18	71.33	28.67	% de Finos 16.0
N° 16	1.190	-	-	71.33	28.67	<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS</b>
N° 20	0.840	61.25	4.22	75.56	24.44	AASHTO A-2-7 (0)
N° 30	0.590	-	-	75.56	24.44	Clasificación SUCS GM
N° 40	0.426	42.58	2.94	78.49	21.51	Nombre de Grupo
N° 50	0.297	-	-	78.49	21.51	Grava Limosa con Arena
N° 60	0.250	28.86	2.06	80.55	19.45	<b>ENSAYOS ESTÁNDAR</b>
N° 80	0.177	-	-	80.55	19.45	<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>
N° 100	0.149	21.93	1.51	82.06	17.94	Límite Líquido 40.09
N° 200	0.075	27.69	1.91	83.97	16.03	Límite Plástico 28.73
Fondo	-	3.77	0.26	84.23	15.77	Índice de Plasticidad 11.36
Lavado	-	228.6	15.77	100.00	-	
<b>TOTAL</b>		<b>1450.0</b>	<b>100.0</b>			



  
**WENDELINUS VASQUEZ VASQUEZ**  
 INGENIERO CIVIL  
 JEFE DE LABORATORIO

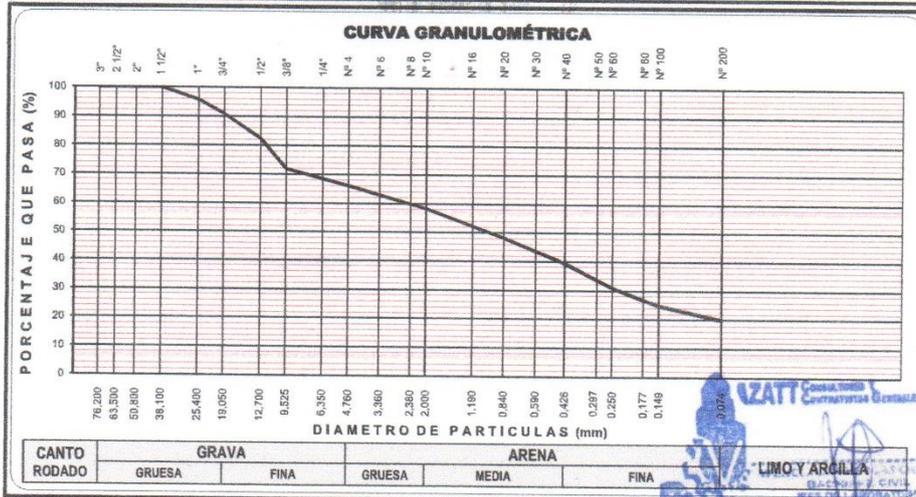
**VAZATT GEOTEST SRL**  
**ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO Y DE MECÁNICA DE SUELOS**  
**CON FINES DE CIMENTACIÓN**

**ENSAYO ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN**  
 (ASTM D 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, D 1557)

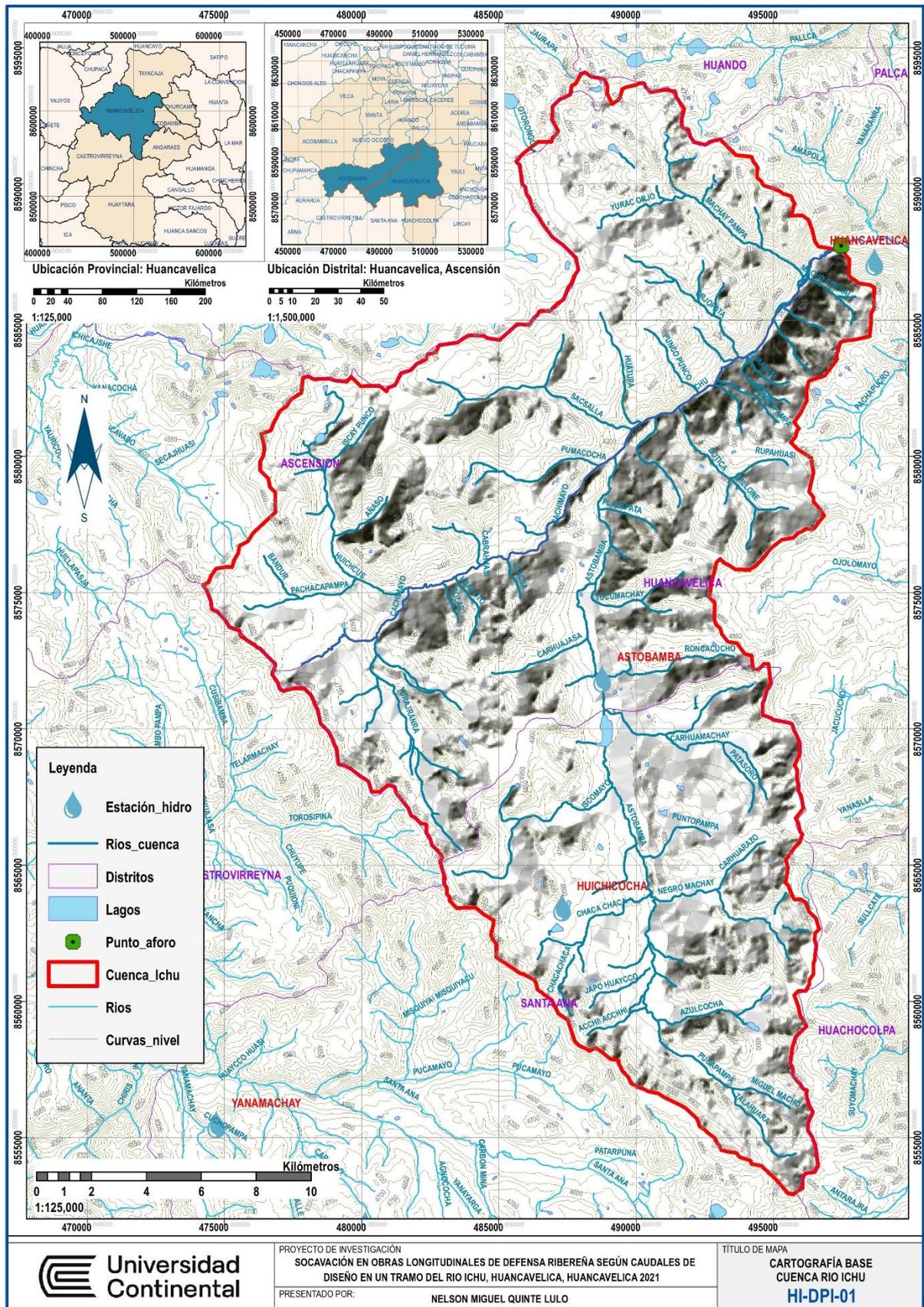
Proyecto : SOCAVACIÓN EN OBRAS LONGITUDINALES DE DEFENSA RIBEREÑA SEGÚN CAUDALES DE DISEÑO EN UN TRAMO DEL RIO ICHU, HUANCAMELICA, HUANCAMELICA 2021  
 Solicitante : NELSON MIGUEL QUINTE LULO  
 Descripción : CALICATA N° 03 Estrato : "B"  
 Ubicación : RÍO ICHU KM. 1+850  
 Fecha : Abril del 2021

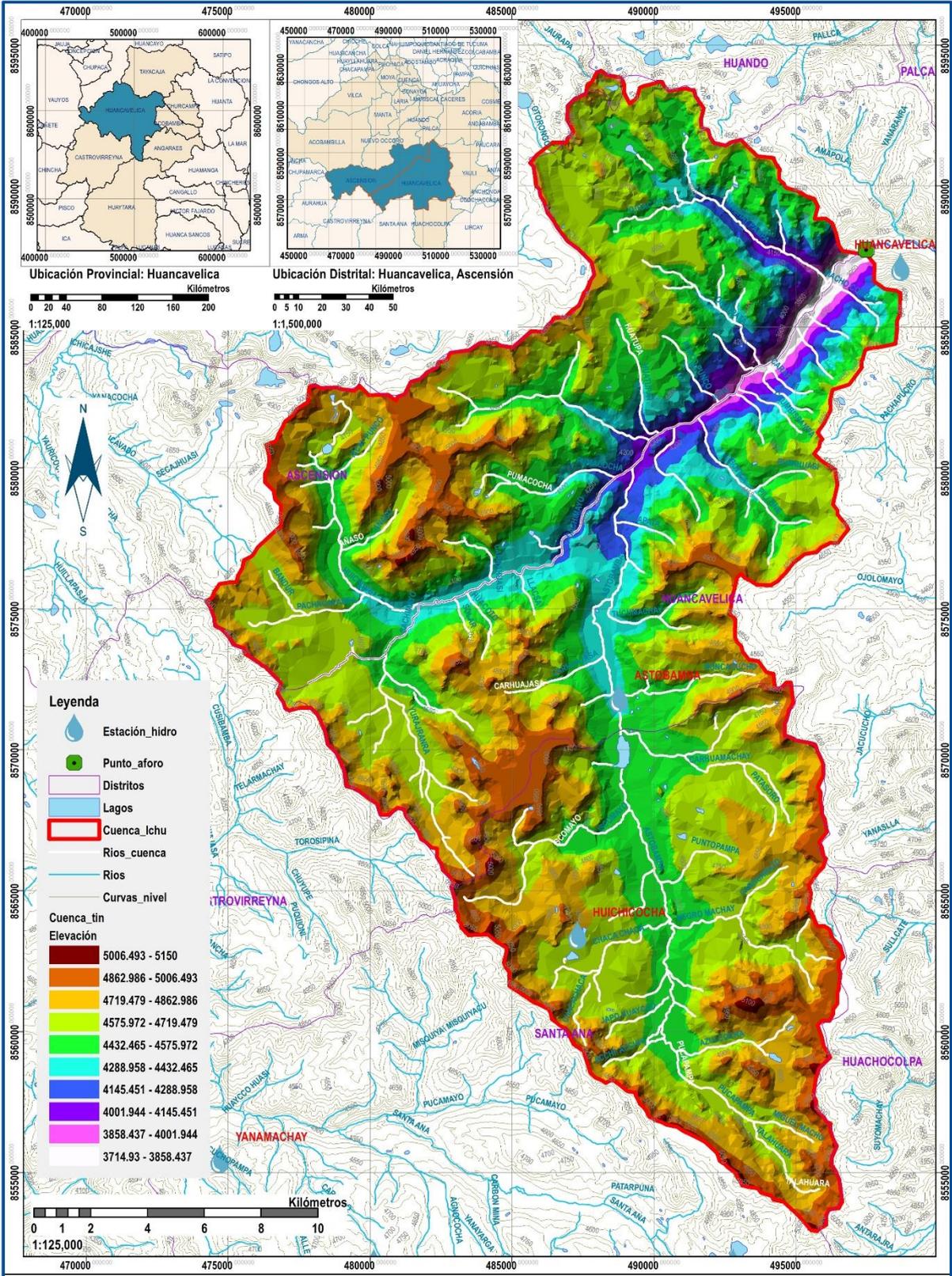
Departamento : HUANCAMELICA  
 Provincia : HUANCAMELICA  
 Distrito : HUANCAMELICA  
 Lugar : RÍO ICHU

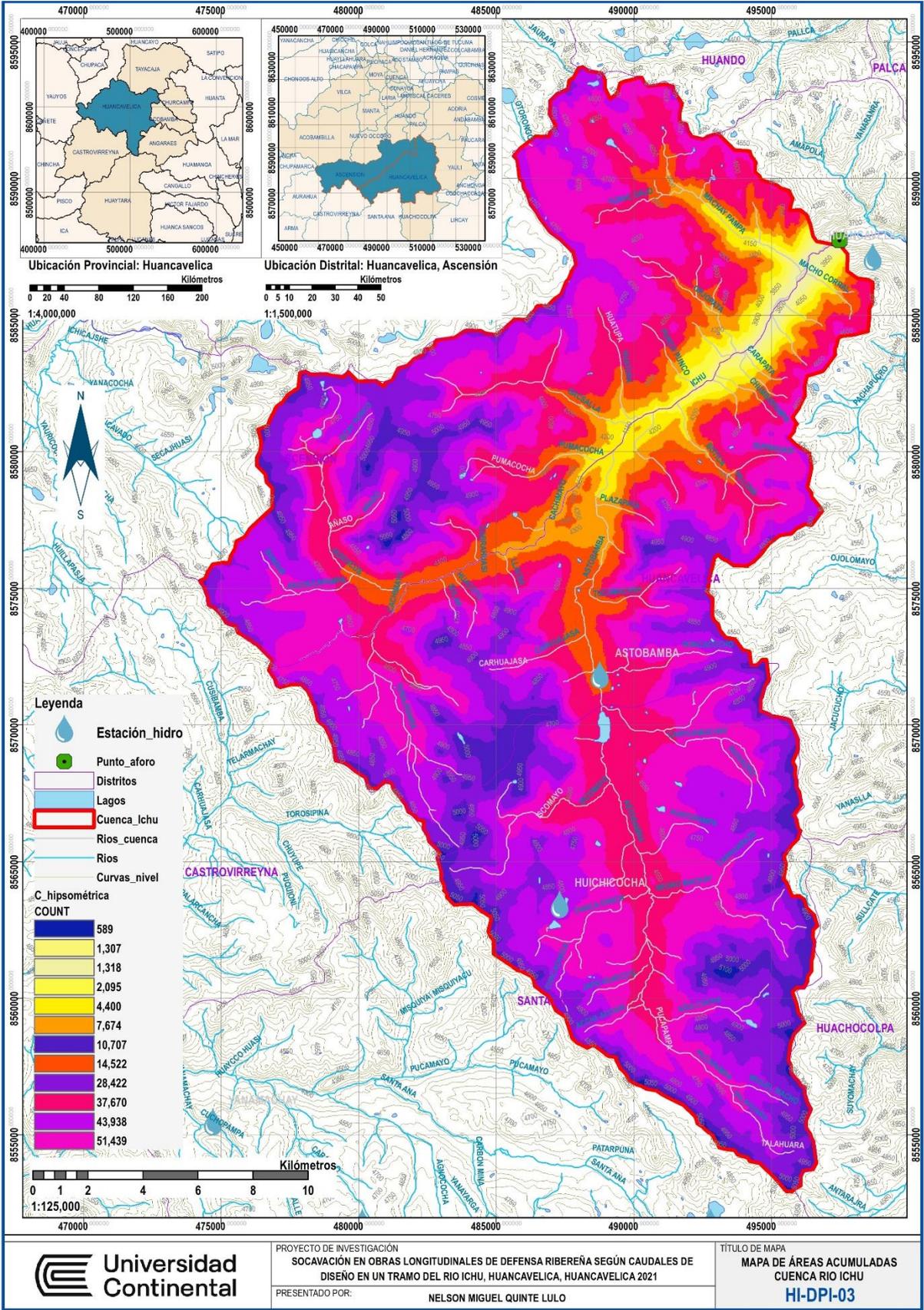
TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	PESO Retenido (gr.)	% RETENIDO Parcial	% RETENIDO Acumulado	% QUE Pasa	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200	-	-	-	100.00	<b>PESOS DE LA MUESTRA ENSAYADA</b> Peso seco inicial 1020.00 Peso seco lavado 819.22 Pérdida por lavado 200.78
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00	
2"	50.800	-	-	-	100.00	
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00	
1"	25.400	43.60	4.27	4.27	95.73	
3/4"	19.050	50.00	4.90	9.18	90.82	<b>PARÁMETROS DE GRANULOMETRÍA</b> % Grava 33.9 % Grava gruesa 4.3 % Grava fina 29.6 % Arena 46.1 % Arena gruesa 7.8 % Arena media 18.9 % Arena fina 19.4 % de Finos 20.0
1/2"	12.700	86.44	8.47	17.65	82.35	
3/8"	9.525	105.74	10.37	28.02	71.98	
1/4"	6.350	-	-	28.02	71.98	
N° 4	4.760	60.00	5.88	33.90	66.10	
N° 6	3.360	-	-	33.90	66.10	
N° 8	2.380	-	-	33.90	66.10	
N° 10	2.000	79.58	7.80	41.70	58.30	
N° 16	1.190	-	-	41.70	58.30	
N° 20	0.840	102.54	10.05	51.75	48.25	
N° 30	0.590	-	-	51.75	48.25	<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS</b> AASHTO A-1-b (0) Clasificación SUCS SM Nombre de Grupo Arena Limosa con Grava
N° 40	0.426	90.00	8.82	60.58	39.42	
N° 50	0.297	-	-	60.58	39.42	
N° 60	0.250	86.25	8.46	69.03	30.97	
N° 80	0.177	-	-	69.03	30.97	
N° 100	0.149	63.52	6.23	75.26	24.74	<b>ENSAYOS ESTÁNDAR</b> <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b> Limite Líquido 29.23 Limite Plástico 26.18 Índice de Plasticidad 3.05
N° 200	0.075	48.00	4.71	79.97	20.03	
Fondo	-	3.55	0.35	80.32	-	
Lavado	-	200.8	19.68	100.00	-	
<b>TOTAL</b>		<b>1020.0</b>	<b>100.0</b>			

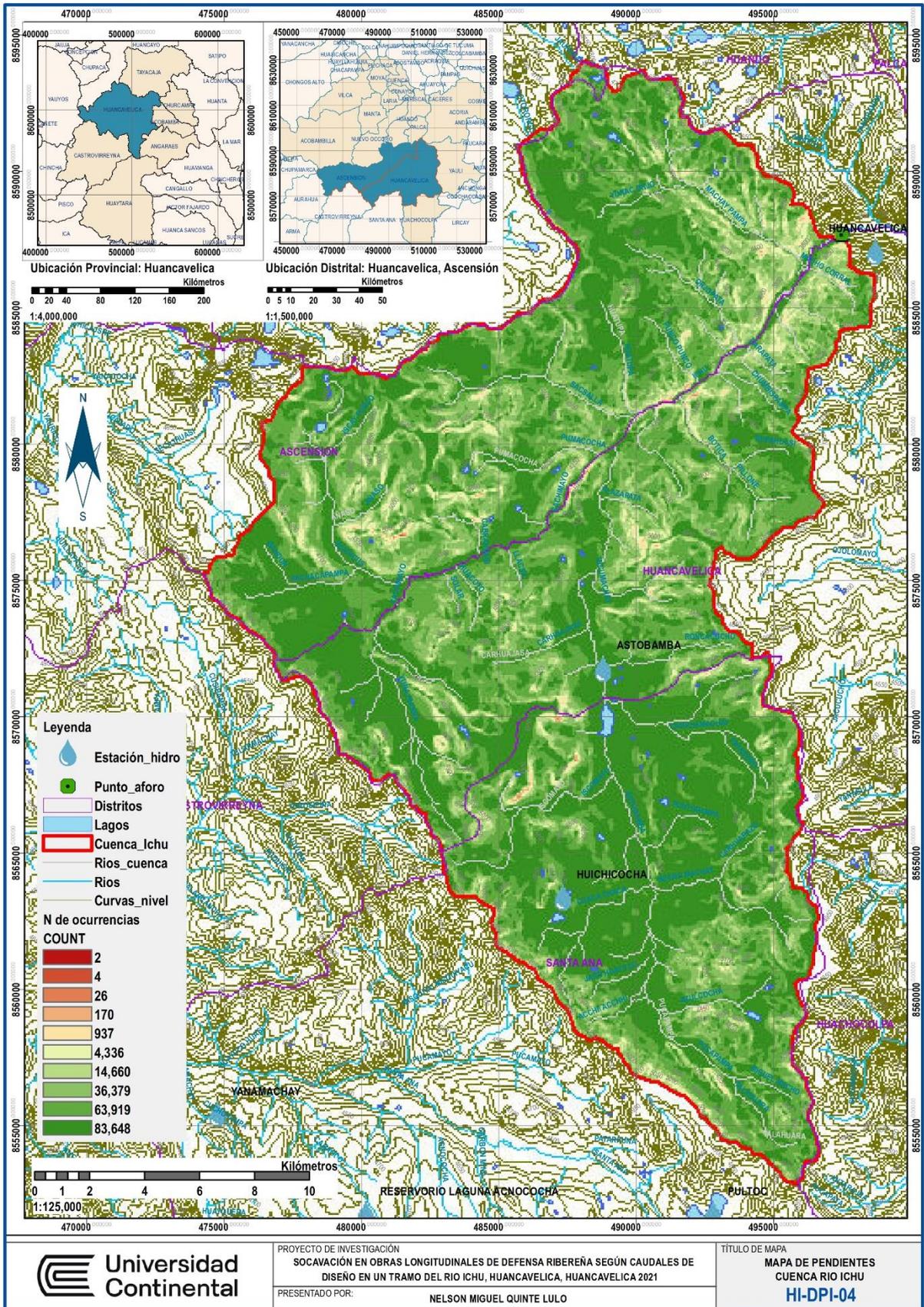


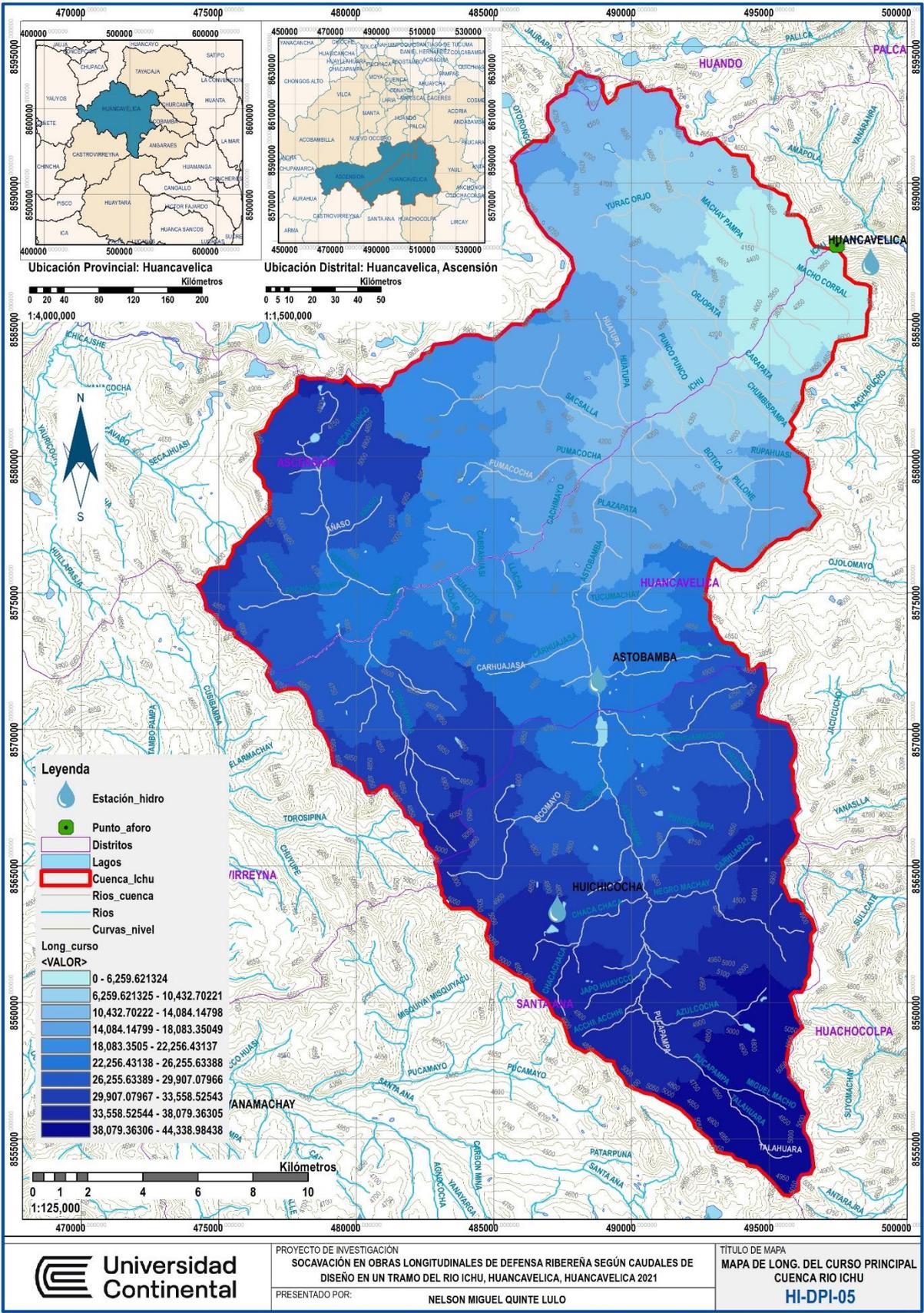
## Anexo 6: Mapas de delimitación de cuenca

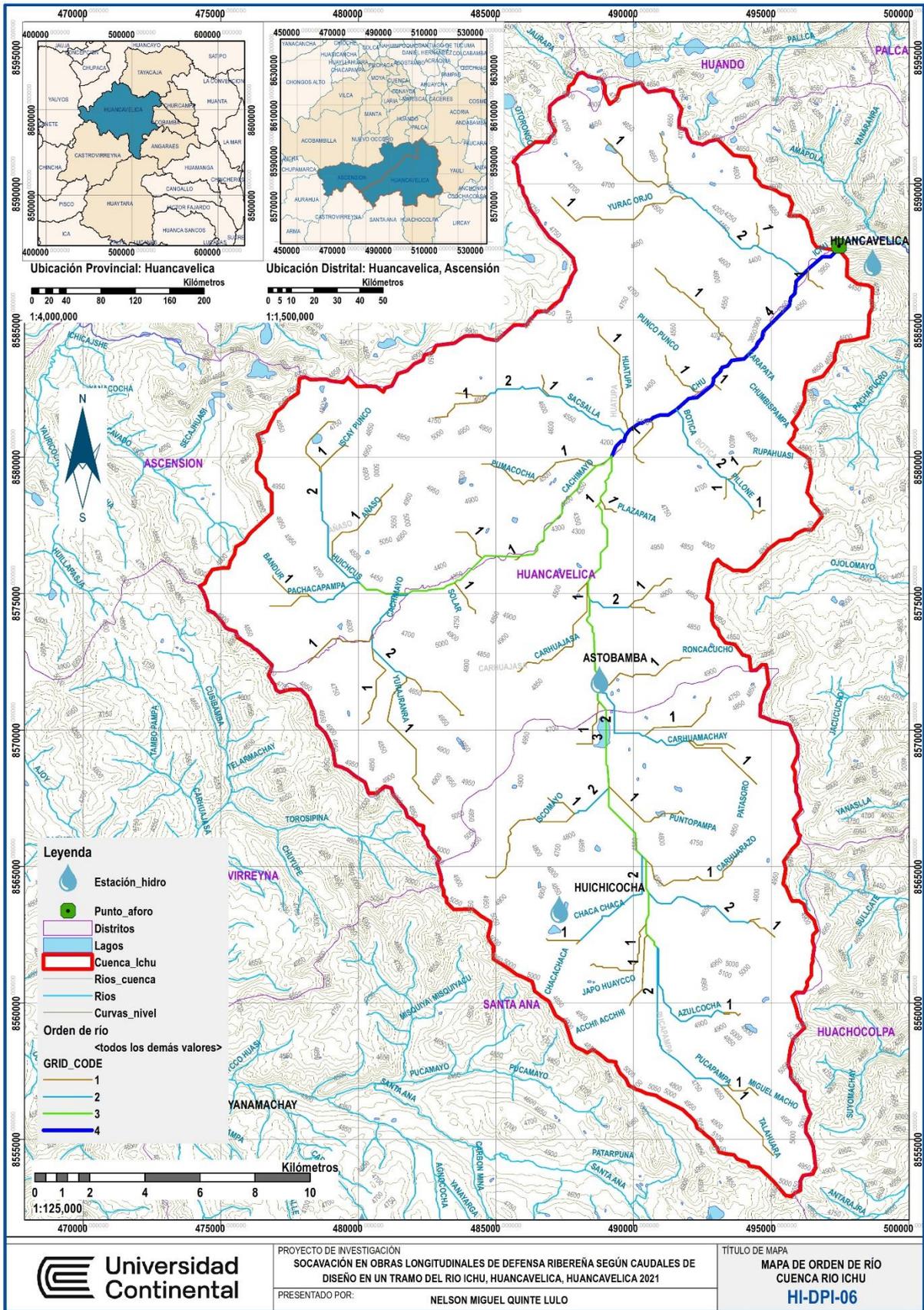












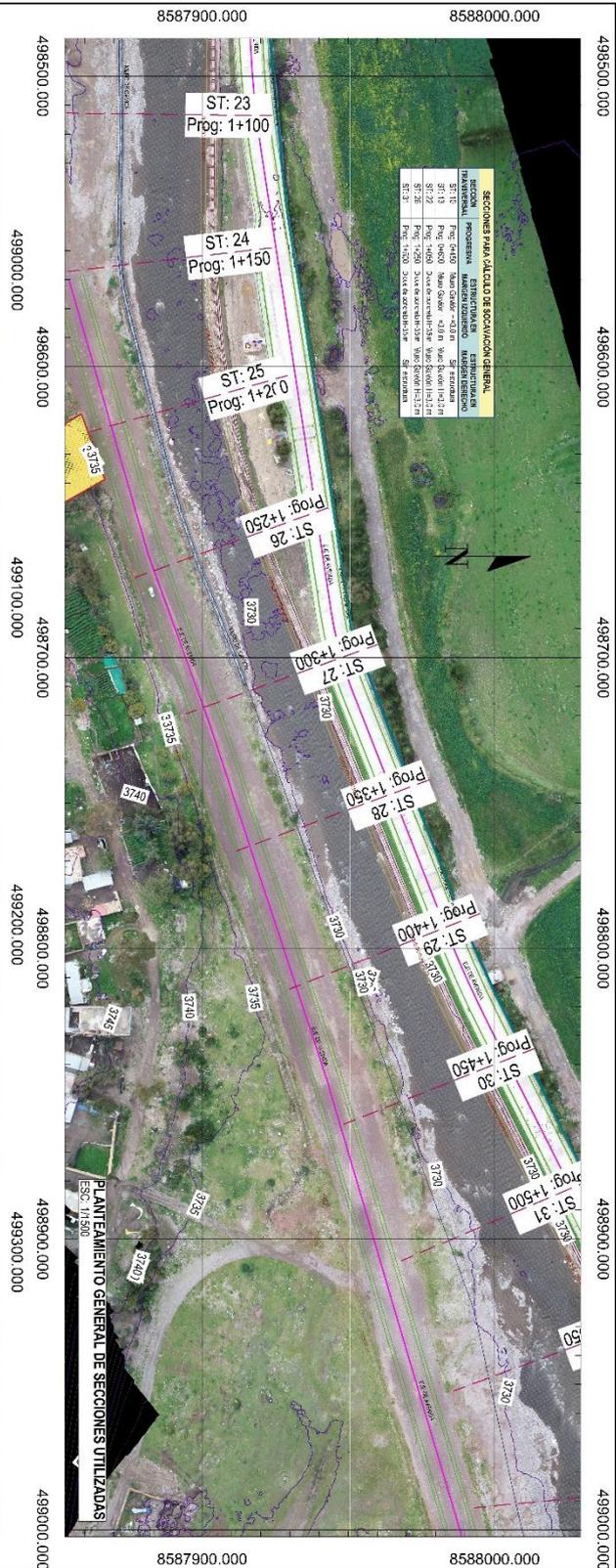
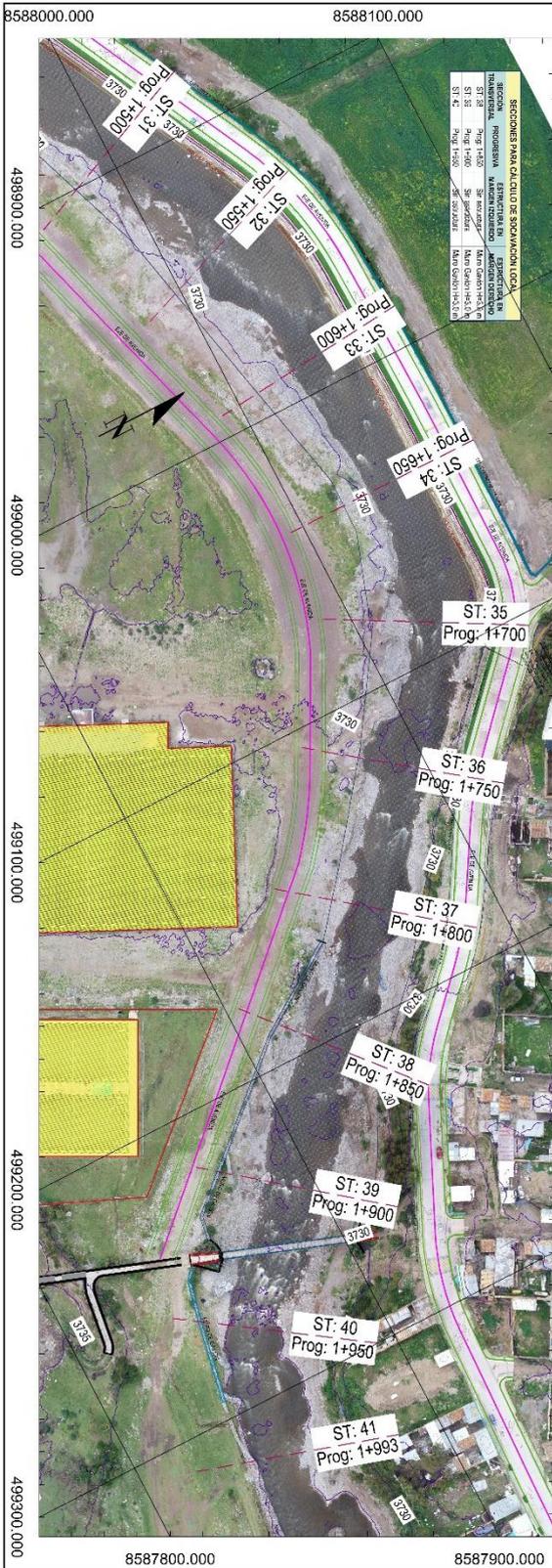
# Anexo 7: Planos de planteamiento general



PROYECTO DE INVESTIGACION:  
**SOCAVACION EN OBRAS LONGITUDINALES DE DEFENSA RIBERENA SEGUN CAUDALES DE DISEÑO EN UN TRAMO DEL RIO ICHU, HUANCVELICA, HUANCVELICA 2021**

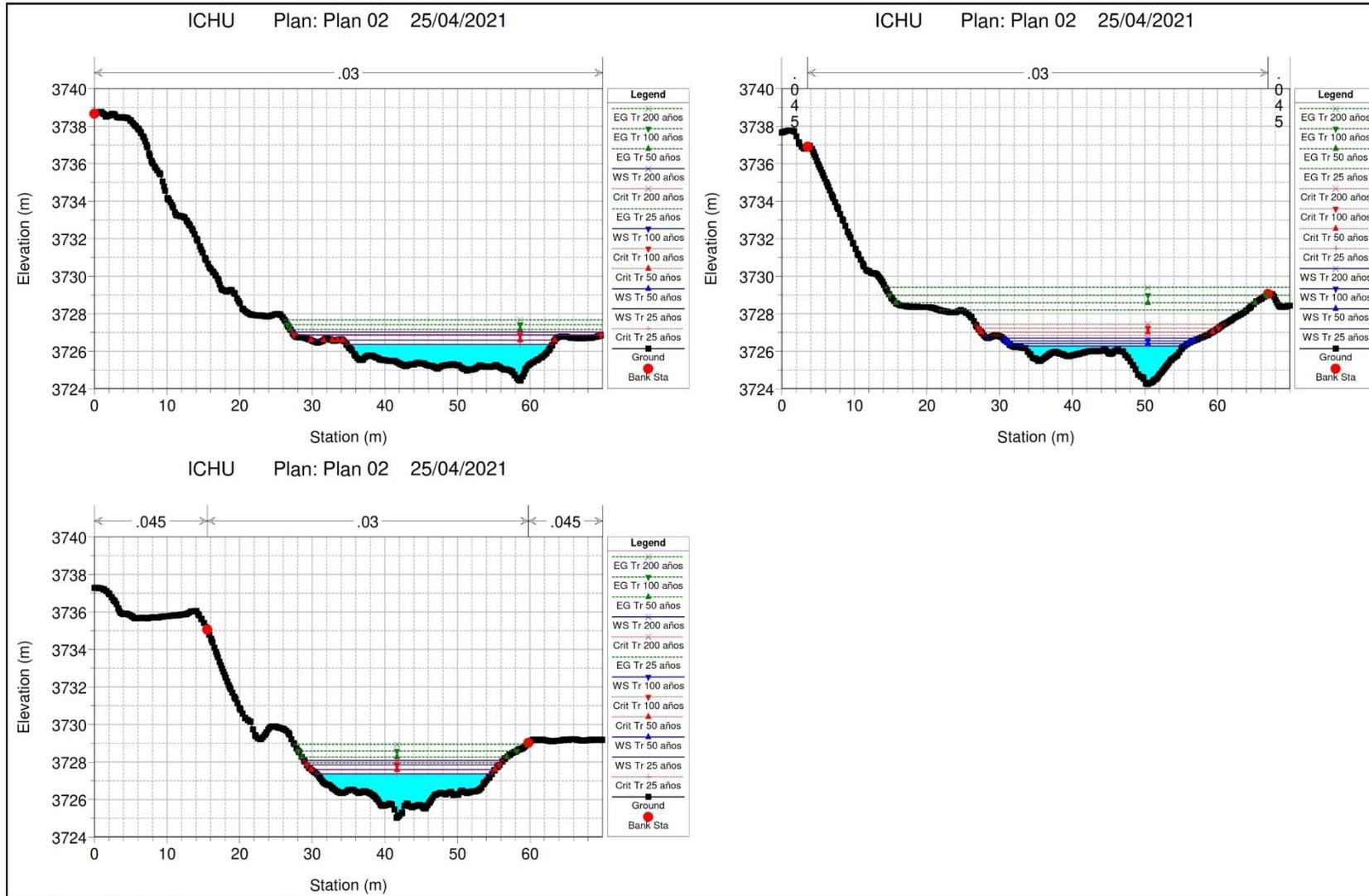
PRESENTADO POR:  
**NELSON MIGUEL QUINTE LULO**

TITULO DE PLANO:  
**PLANTEAMIENTO GENERAL PG-DPI-01**

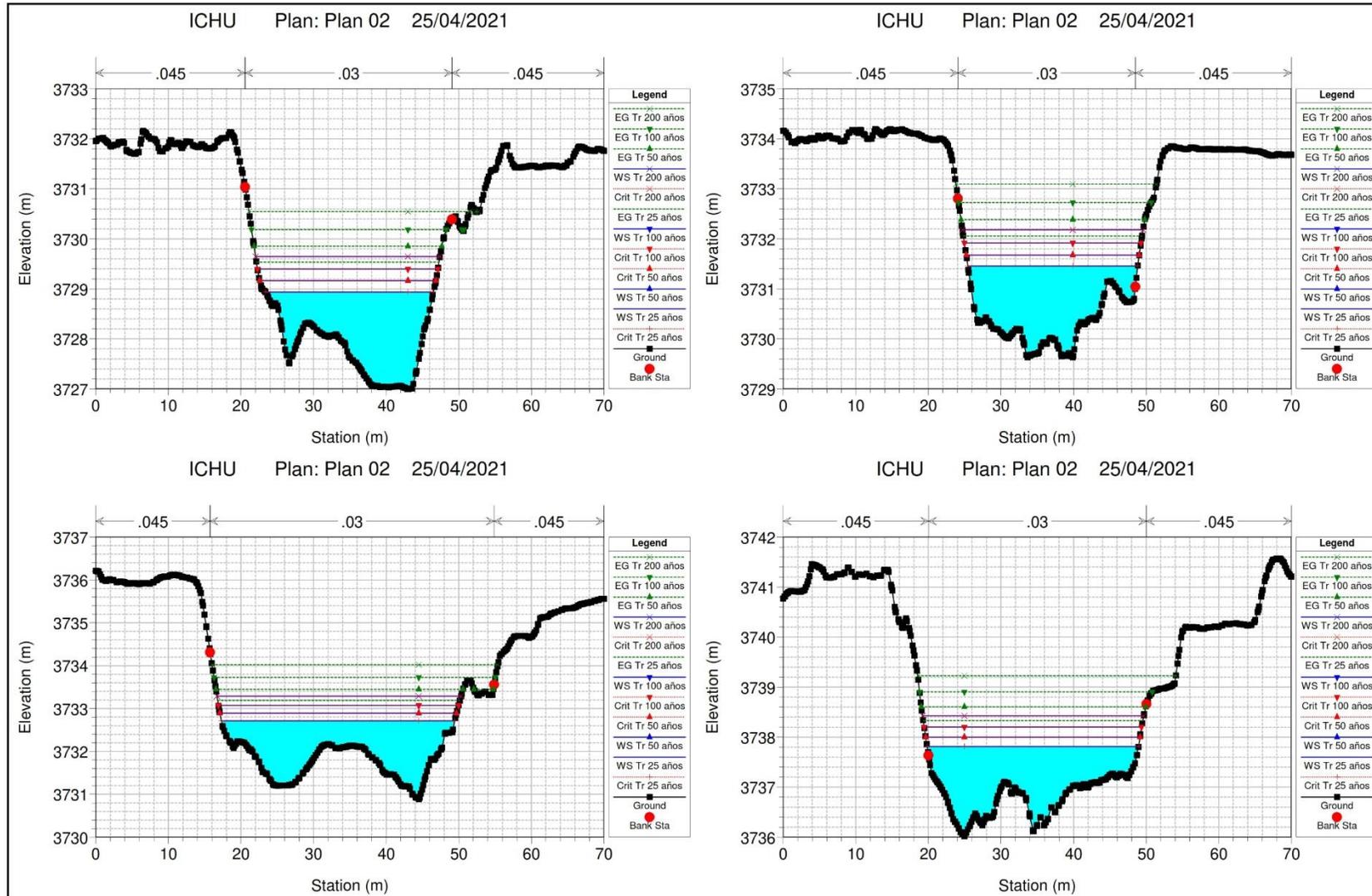


## Anexo 8: Resultados obtenidos de Hec Ras

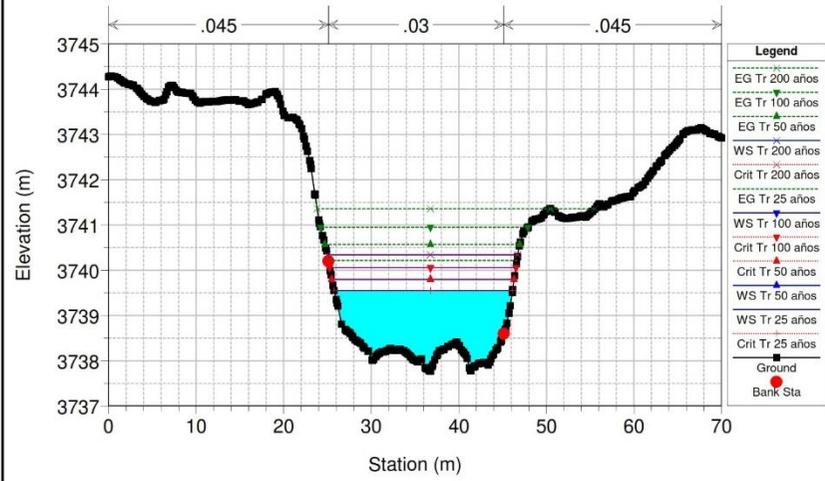
Secciones evaluadas para calcular valores de socavación local



Secciones evaluadas para calcular valores de socavación general



ICHU Plan: Plan 02 25/04/2021



Secciones evaluadas para calcular valores de socavación por contracción

