

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UPLA**  
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

**TESIS**

---

**COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO  
CUNAS Y LA IMPLEMENTACIÓN DE DIQUES EN  
LA PROVINCIA DE CHUPACA - 2021**

---

**Línea de investigación institucional:**

Nuevas tecnologías y procesos

**Presentado por:**

Bach. VILLAVERDE UNTIVEROS, PAVEL ANTONIO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

Huancayo – Perú

2023

**Ing. Pautrat Egoavil Henry Gustavo**

**Asesor**

**DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi padre Domingo Antonio que me acompañó en este camino trascendental de mi vida, por su paciencia y amor, a mi esposa Danitza por su aliento y apoyo incondicional, gracias por siempre estar a mi lado y por ser mi amiga leal.

Pavel Antonio Villaverde Untiveros.

## **AGRADECIMIENTO**

Habiendo concluido esta etapa tan importante en mi vida agradezco a mi padre y esposa, gracias a ustedes que me dieron todo su acompañamiento no fue tan difícil recorrer este camino, a Dios todopoderoso por todo lo que ha hecho por mí.

## CONSTANCIA 226

### DE SIMILITUD DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN POR EL SOFTWARE DE PREVENCIÓN DE PLAGIO TURNITIN

La Dirección de Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería, hace constar por la presente, que el informe final del Informe Técnico titulado: "COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO CUNAS Y LA IMPLEMENTACIÓN DE DIQUES EN LA PROVINCIA DE CHUPACA - 2021"

**Cuyo autor (a) (es)** : Pavel Antonio Villaverde Untiveros.

**Facultad** : Ingeniería.

**Escuela Profesional** : Ingeniería Civil.

**Asesor (a) (es)** : Ing. Henry Gustavo Pautrat Egoavil

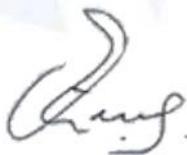
Que, fue presentado con fecha 09.08.2023 y después de realizado el análisis correspondiente en el software de prevención de plagio Turnitin con fecha 14.08.2023, con la siguiente configuración de software de prevención de plagio Turnitin:

- Excluye bibliografía.
- Excluye citas.
- Excluye cadenas menores de a 20 palabras.
- Otro criterio (especificar)

Dicho documento presenta un porcentaje de similitud de **27%**. En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°11 del Reglamento de uso de software de prevención de plagio, el cual indica que no se debe superar el **30%**. Se declara, que el trabajo de investigación: si contiene un porcentaje aceptable de similitud. Observaciones: ninguna.

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presenta constancia.

Huancayo 14 de Agosto del 2023



Dr. Santiago Zevallos Salinas  
Director de la Unidad de Investigación

## HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

---

Dr. Ruben Dario Tapia Silguera

PRESIDENTE

---

Mg. Lidia Benigna Larrazabal Sanchez

JURADO

---

Mtro. Carlos Alberto Gonzales Rojas

JURADO

---

Mtro. Aron Jhonatan Aliaga Contreras

JURADO

---

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza

SECRETARIO DOCENTE

## ÍNDICE

<b>HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>16</b>
<b>PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.2. Formulación del problema .....	18
1.2.1. Problema general .....	18
1.2.2. Problemas específicos .....	18
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. Objetivo general .....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Justificación .....	19
1.4.1. Justificación social .....	19
1.4.2. Justificación teorica.....	19
1.4.3. Justificación metodológica .....	20
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>21</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
2.1. Antecedentes.....	21
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	24
2.2. Bases teóricas.....	28
2.2.1. Comportamiento hidráulico.....	28
2.2.2. Implementación de diques.....	36
2.2.3. Tratamiento probabilístico de la información hidrológica .....	42

2.2.4. Variables hidrológicas .....	52
2.3. Definición de términos.....	54
2.4. Hipótesis .....	56
2.4.1. Hipótesis general .....	56
2.4.2. Hipótesis específicas .....	56
2.5. Variables .....	56
2.5.1. Definición conceptual de las variables .....	56
2.5.2. Definición operacional de las variables.....	57
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>59</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>59</b>
3.1. Método de investigación .....	59
3.2. Tipo de investigación.....	59
3.3. Nivel de investigación .....	60
3.4. Diseño de investigación .....	61
3.5. Población y muestra.....	61
3.5.1. Población .....	61
3.5.2. Muestra .....	61
3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	62
3.6.1. Observación directa .....	62
3.6.2. Análisis de documentos .....	63
3.6.3. Trabajo en gabinete .....	63
3.7. Validación e instrumentos de recolección de datos .....	63
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>64</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>
4.1. Presentación de resultados .....	64
4.1.1. Caudal del río Cunas .....	64
4.1.2. Transporte de sedimentos .....	67
4.1.3. Diseño de dique enrocado .....	74
4.1.4. Caudal del río Cunas y la implementación de diques.....	80
4.1.5. Transporte de sedimentos y la implementación de diques .....	81
4.2. Prueba de hipótesis .....	82

4.2.1. Caudal del río Cunas y la implementación de diques.....	82
4.2.2. Transporte de sedimentos y la implementación de diques .....	84
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>88</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>88</b>
5.1. Discusión de resultados .....	88
5.1.1. Caudal del río Cunas .....	88
5.1.2. Transporte de sedimentos en el río Cunas .....	90
5.1.3. Diseño del dique enrocado en el río Cunas .....	91
5.1.4. Caudal del río Cunas y la implementación de diques.....	93
5.1.5. Transporte de sedimentos y la implementación de diques .....	94
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>98</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>105</b>
<b>PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>133</b>
<b>PLANOS.....</b>	<b>136</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de transporte y notación .....	33
Tabla 2. Descripción de fórmulas de sedimentos de fondo .....	35
Tabla 3. Valores de $\emptyset$ .....	40
Tabla 4. Peso específico y ángulo de fricción de suelos .....	42
Tabla 5. Operacionalización de variables .....	58
Tabla 6. Información inicial para el cálculo del caudal del río Cunas .....	64
Tabla 7. Caudal del río Cunas – método racional.....	66
Tabla 8. Caudal de diseño - Gumbel y Nash .....	67
Tabla 9. Tamaño de partículas – punto de inicio.....	68
Tabla 10. Tamaño de partículas – punto final .....	68
Tabla 11. Datos iniciales – transporte de sedimentos.....	68
Tabla 12. Profundidad de socavación.....	74
Tabla 13. Valores de $\emptyset$ .....	75
Tabla 14. Valores de ángulo de fricción interna para suelos.....	76
Tabla 15. Peso específico y ángulo de fricción de suelos .....	79
Tabla 16. Variación de lámina del río Cunas sin y con dique enrocado .....	80
Tabla 17. Sedimento de fondo y caudal de diseño .....	82
Tabla 18. Estadística de regresión – lámina de agua.....	83
Tabla 19. Estadística de regresión – lámina de agua.....	84
Tabla 20. Estadística de regresión .....	85
Tabla 21. Análisis de varianza – transporte de sedimentos.....	86
Tabla 22. Valores de $F_s$ .....	115
Tabla 23. Valores de $K_1$ .....	116
Tabla 24. Valores de $K_s$ .....	117
Tabla 25. Tabla de Cowan sobre el coeficiente n.....	118
Tabla 26. Valores de B .....	120
Tabla 27. Valores de x y $1/x+1$ .....	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de transporte de sedimentos y notacion .....	33
Figura 2. Tipos de transporte de sedimentos .....	34
Figura 3. Muestreador de fondo Helley-Smith.....	34
Figura 4. Funciones frecuencia para muestra y poblacion .....	44
Figura 5. Distribución normal .....	47
Figura 6. Distribución Logarítmica- Normal.....	49
Figura 7. Distribución Gumbel.....	52
Figura 8. Tramo de estudio, Barrio San Miguel de Pincha .....	62
Figura 9. Diagrama de Shields .....	71
Figura 10. Transporte de fondo (qB).....	73
Figura 11. Dimensionamiento de enrocado.....	78
Figura 12. Variación de lámina de agua sin y con dique enrocado .....	81
Figura 13. Sedimento de fondo y caudal de diseño.....	82
Figura 14. Dispersión de datos – función lineal – lámina de agua.....	84
Figura 15. Dispersión de datos – función polinómica – transporte de sedimentos .....	86

## RESUMEN

El problema de la investigación fue: ¿Cómo es la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques en la provincia de Chupaca - 2021?, el objetivo general fue: Determinar la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques en la provincia de Chupaca – 2021, y la hipótesis general fue: La relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques es directa, en la provincia de Chupaca – 2021.

El método de investigación fue científico, de tipo básica, con nivel descriptivo-correlacional, correspondiente al diseño no experimental puesto que no se manipularon las variables. La población estuvo conformada por la cuenca del Cunas. La muestra fue no probabilística y estuvo delimitada por el tramo de 500 m del río Cunas en el Barrio San Miguel de Pincha, de la provincia de Chupaca, Junín.

De forma general se concluyó que, la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques es directa. También, se pudo estimar el caudal del río Cunas en diferentes periodos de retorno para el diseño del dique enrocado, así mismo se pudo comprobar que el transporte de sedimentos de fondo depende del comportamiento hidráulico del río Cunas.

**Palabras clave:** Caudal, comportamiento hidráulico, dique enrocado, periodo de retorno, transporte de sedimentos.

## **ABSTRACT**

The research problem was: How is the relationship between the hydraulic behavior of the Cunas River and the implementation of dams in the province of Chupaca - 2021? The general objective was: To determine the relationship between the hydraulic behavior of the Cunas River and the implementation of dams in the province of Chupaca - 2021, and the general hypothesis was: The relationship between the hydraulic behavior of the Cunas River and the implementation of dams is direct, in the province of Chupaca - 2021.

The research method was scientific, basic, with a correlational level, corresponding to a non-experimental design since the variables were not manipulated. The population consisted of the Cunas river basin. The sample was non-probabilistic and was delimited by the 500-meter stretch of the Cunas River in the San Miguel de Pincha neighborhood, in the province of Chupaca, Junín.

In general, it was concluded that the relationship between the hydraulic behavior of the Cunas River and the implementation of dams is direct. It was also possible to estimate the flow of the Cunas River in different return periods for the design of the dike, and it was also possible to prove that the transport of bottom sediments depends on the hydraulic behavior of the Cunas River.

**Key words:** Flow, hydraulic behavior, rockfill dam, return period, sediment transport.

## INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de eventos extraordinarios como avenidas máximas, se encuentra asociado al Fenómeno del Niño habiéndose registrado magnitudes extraordinarias en los años 1982-1983 y 1997-1998 provocadas por las lluvias intensas que incrementaron la elevación del nivel de agua en los ríos, los cuales provocaron desbordes de ríos, ocasionando daños importantes principalmente en terrenos agrícolas, zonas urbanas, obras de infraestructura de riego; ocasionando un fuerte impacto en la economía social del país TRUJILLO, H., VELÁSQUEZ, J. (1) . Razón por la cual el objetivo de la investigación fue, determinar la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques en la provincia de Chupaca – 2021.

Para presentar la investigación, previamente se hizo una revisión bibliográfica de los antecedentes tanto internacionales como nacionales, así como también de las bases teóricas referentes al tema de estudio. Razón por la cual, la investigación es relevante ya que genera un aporte significativo a la sociedad y en especial para los pobladores que viven en zonas aledañas al río Cunas, mediante la prevención de posibles desbordes e inundaciones de las áreas de cultivo por medio de la evaluación del comportamiento hidráulico del río para diferentes periodos de retorno. También brinda un aporte metodológico en cuanto al empleo de distribuciones probabilísticas que se ejecutaron para obtener el caudal máximo del río Cunas, del mismo modo se considera el aporte por el empleo de fórmulas para el cálculo de transporte de sedimentos de fondo, así mismo el aporte de la investigación responde al diseño de dique enrocado para prevenir inundaciones.

En cuanto al desarrollo de la investigación, se realizaron los cálculos para la estimación del caudal de diseño del río Cunas correspondiente a los periodos de retorno de

9; 50; 100; 140 y 500 años. Para el cálculo de transporte de sedimentos de fondo se realizaron por 4 métodos: Meyer, Peter y Muller, Van Rijn, Bagnolds y Yalin; de los cuales se consideró el método de Meyer, Peter y Muller ya que se ajusta mejor a la distribución de los datos y toma en consideración las características hidráulicas del río Cunas. Finalmente se realizó el diseño del dique enrocado, para el cual primero se calculó la profundidad de socavación con el caudal de diseño de 500 años según recomienda el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y el diseño geométrico se realizó con el caudal de diseño de 140 años correspondiente a defensas ribereñas que es también como se conocen las obras longitudinales.

La investigación cuenta con 5 capítulos. Es así que en el capítulo I se presenta el problema de la investigación, el cual contiene el planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos y justificación; en el capítulo II se presenta el marco teórico de la investigación el cual contiene los antecedentes, marco conceptual, definición de términos, hipótesis y sistema de variables; en el capítulo III se presenta la metodología de la investigación el cual adjunta el método, tipo, nivel y diseño de la investigación, lugar y ejecución de la investigación, población y muestra, y el procedimiento de los datos de la investigación; en el capítulo IV se presentan los resultados el cual contiene la presentación de los resultados y la prueba de hipótesis respectivas; en el capítulo V en el cual se presentan las discusiones de resultados de la investigación; para finalizar se presentan las conclusiones y recomendaciones. Así mismo se adjuntan los anexos.

Bach. Villaverde Untiveros Pavel Antonio

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

El artículo del Banco Mundial titulado “People in harm's way: Flood exposure and poverty in 189 countries”, indica que las inundaciones son desastres naturales peligrosos, graves y comunes, que afectan las actividades de la vida cotidiana y la forma de subsistencia, ya que generalmente ocasiona daños a toda una población de todos los niveles de ingresos donde las estructuras de drenaje y protección contra inundaciones no se encuentran bien desarrolladas. De acuerdo con los mapas de riesgos de inundación, población y estimación de pobreza extraída de la base de datos de seguimiento mundial del Banco mundial, se encontró que 2.200 millones de personas, o el 29 por ciento de la población mundial, vive en áreas que experimentarían algún nivel de inundación durante un evento de inundación, de las cuales entre 132 y 587 millones de personas, son pobres. La investigación desarrollada en el artículo de investigación de MELDA, J. (2), demostró que la exposición al riesgo de inundación es significativa ya que los continentes de Asia oriental y Asia meridional pueden llevar la peor parte ante un evento extraordinario de inundación, debido a la extensa población y las áreas costeras y llanuras fluviales. Por lo que se debe considerar que, el riesgo de inundación está en constante evolución, ya que las evidencias señalan que el proceso de urbanización en las costas de los ríos acelera la ocurrencia de inundaciones, donde las

infraestructuras del sistema de drenaje no van al ritmo de la urbanización y se incrementa el riesgo de inundación.

En los últimos años, el fenómeno de El Niño se ha relacionado con la aparición de eventos extraordinarios como los flujos de inundación máximos. Estos eventos, que registraron magnitudes extraordinarias en los años 1982-1983 y 1997-1998 debido a las intensas lluvias que elevaron los niveles de los ríos, condujeron a desbordamientos fluviales que dañaron gravemente las áreas urbanas, las tierras agrícolas y los proyectos de infraestructura de riego, así como a tener un impacto negativo en la economía de los países afectados TRUJILLO, H., VELÁSQUEZ, J. (1).

Debido a la complejidad y dinámica de la naturaleza es casi imposible determinar de manera exacta el daño que puede ocasionar un evento de gran magnitud; razón por la cual es que en la actualidad se han desarrollado nuevos métodos y tecnologías que permiten la simulación de dichos eventos con un determinado grado de certeza y/o probabilidad, permitiendo de este modo tomar las medidas necesarias para evitar que el evento de crecidas del río ocurra e incluso minimizar los efectos que pueda ocasionar TITO Q. (3).

En el Perú, las inundaciones son un problema recurrente debido a la presencia y variación de las precipitaciones en la región andina que ocurre principalmente entre los meses de diciembre a marzo, incluyendo la presencia del fenómeno de El Niño el cual ocasiona el incremento del caudal de los ríos que no solo afecta a la zona costera sino también a la región andina y los pueblos que se encuentran cerca del río que como prueba de ello suceden inundaciones y desbordes de los ríos PRIETO, R., YOSHIRIN, Y. (4).

Dentro del recorrido del río Cunas se encuentran pobladores que habitan las zonas aledañas a este, la cuenca del río Cunas se encuentra dentro del ámbito de Administración

Técnica del Distrito de Riego Mantaro del cual la información histórica proviene de la Estación de Huayao. Según la entrevista con los pobladores, en los últimos años no ocurrieron inundaciones a pesar de las máximas avenidas percibidas durante los meses de diciembre a marzo, sin embargo, dichas avenidas máximas han dañado los cultivos debido al colapso de la infraestructura de riego.

Razón por la cual en la investigación se pretende determinar cual es la relación que guarda el comportamiento hidráulico del río Cunas con el modelamiento de diques para tramos específicos por medio de distribuciones probabilísticas, para diferentes periodos de retorno, con el propósito de identificar la viabilidad y la implementación de diques y evitar inundaciones, pérdidas humanas y daños materiales.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo es la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques en la provincia de Chupaca - 2021?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cómo es la relación del caudal del río sin dique y con dique?
- b. ¿Cómo es la relación entre el transporte de sedimentos y la implementación de diques?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques en la provincia de Chupaca – 2021.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar la relación del caudal del río sin dique y con dique.
- b. Conocer la relación entre el transporte de sedimentos y la implementación de diques.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Justificación social**

BERNAL, Cesar (5), señala que la justificación social o práctica existe cuando el desarrollo de la investigación propone estrategias que al aplicarse pretenden contribuir al problema.

En tal sentido, la presente investigación pretende determinar el comportamiento hidráulico del río Cunas con la finalidad de prevenir de futuras inundaciones mediante la propuesta de implementación de dique enrocado longitudinal, ya que como es de conocimiento en los años que se proyecten el caudal del río y los sedimentos se incrementarán de manera considerable y afectarán el desarrollo de las actividades de las personas que tienen sus viviendas aledañas a dicho río.

### **1.4.2. Justificación teórica**

(1) La justificación Implica describir cuáles son las brechas de conocimiento existentes que la investigación buscará reducir.

Razón por la cual, en la investigación es un hito mas al alcance de la comunidad científica para poder modelar e identificar el comportamiento hidráulico de los ríos en relación a el diseño modelado de obras de encauzamiento y control de caudales y avenidas máximas.

### **1.4.3. Justificación metodológica**

BERNAL, Cesar (5), la justificación metodológica se describe cuando el proyecto de investigación propone una nueva estrategia para la generación de conocimiento válido y confiable.

Razón por la cual, en la investigación se propone evaluar el comportamiento hidráulico del río Cunas a través del análisis de caudal en diferentes periodos de retorno, del mismo modo se propone el análisis del transporte de sedimentos en suspensión y en el fondo del cauce del río, y así posteriormente realizar la implementación del dique enrocado y poder

Por otro lado, se debe mencionar que la investigación servirá de referencia para futuras investigaciones que busquen evaluar el comportamiento hidráulico del río Cunas u otros ríos en la situación actual y futura para desarrollar estudios de transporte de sedimentos o incluso diseñar defensas ribereñas que garanticen la seguridad de las poblaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Según GÓMEZ, N., MONGE, K. (6), en el trabajo de grado titulado “Diseño de obras de mitigación y encauzamiento mediante modelaciones hidráulicas e hidrológicas para disminuir la condición por vulnerabilidad de inundaciones en un tramo de 3 Km de río comprendido en la cuenca media baja del río Corredor”. El objetivo del estudio fue, mejorar la condición de vulnerabilidad por inundación de la zona mediante el diseño de obras de ingeniería en un tramo de 3 Km del río Corredor aguas abajo del puente sobre la Ruta 2. El método de investigación fue científico y de diseño no experimental. La muestra estuvo conformada por el tramo de 3 Km del río Corredor aguas abajo del puente sobre la Ruta 2. La investigación desarrolló el análisis de datos meteorológicos desde el año 2008 a 2018 para representar la condición actual del río, también emplearon curvas IDF para estimar el periodo de retorno de 100 años. Para las simulaciones, emplearon HEC-HMS para modelar el proceso de precipitación – escorrentía y para generar modelos del comportamiento del flujo el río empleó el programa CivilCAD e IBER. Tras la secuencia de procedimientos realizados, se realizó el diseño de diques en ambas márgenes del río con una altura de 7 m junto al diseño de 2 baterías de 7 espigones empotrados en el dique de la margen derecha, para un periodo de retorno de 100 años. Los autores concluyeron que, las modelaciones

hidrológicas e hidráulicas disminuyen las probabilidades de inundación en el tramo de estudio. Por lo que además, recomiendan recopilar información de la parte alta o aguas arriba del tramo de estudio para justificar el comportamiento del río en la parte baja.

Según LÓPEZ, K. (7), para obtener el título de Ingeniera civil presentó la tesis “Estudio hidrológico para el diseño de obras de protección contra inundaciones del río Chinautla, Aldea Santa Cruz, Chinautla, Guatemala”. El objetivo general de la investigación fue proponer y diseñar una adecuada obra de protección para los pobladores de la Aldea de Santa Cruz Chinautla que pusieron en riesgo la vida de sus familias y la de ellos mismos al ubicar sus viviendas en las riberas del río. El método de la investigación fue científico y de diseño no experimental. La investigación consideró parámetros hidrológicos de la cuenca del río Chinautla, para realizar la simulación hidráulica del área de estudio por lo que fueron necesarios los datos topográficos y características del caudal para determinar las velocidades alcanzadas por el río y el nivel máximo de crecida para caudales calculados con varios periodos de retorno. Los resultados de los estudios realizados, brindaron los caudales del río Chinautla para el diseño de las obras de protección y su respectiva simulación en el programa HEC-RAS. Concluyendo que tras la simulación, las obras de protección tienen una altura de 2.60 m, protección de roca de 0.75m en una longitud de 170 m; además de ser colocadas en ambas márgenes del río.

Según ROBAYO, L. (8), para optar el título de Ingeniero Civil, presentó la tesis “Análisis de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito, desarrollado a través de sistemas de información geográfica”. El objetivo del estudio fue: desarrollar un sistema de información geográfica. El método de la investigación fue científico y de diseño no experimental. La muestra estuvo conformada por la cuenca del río Tunjuelo. El desarrollo de la investigación inició con la recopilación de información geográfica para caracterizar la

cuenca del río Tunjuelo; también consideró los criterios de análisis de la amenaza por inundación. De dicha recopilación, se obtuvo la información del nivel de agua máxima del río, así como los niveles de aguas para los periodos de retorno de 10; 100 y 500 años. Los resultados de la información geográfica y niveles de agua del río, condujeron al desarrollo de un mapa de amenaza por inundación de la localidad de Tunjuelito. Que se obtuvo por medio de la herramienta QGIS, donde se identificó que un área de 7.8km<sup>2</sup> de la localidad afectada presenta amenaza por inundación. Concluyó que, las características climatológicas y físicas de la cuenca están directamente relacionadas con la precipitación – escorrentía, caudal y nivel de agua; son los factores que inciden en la amenaza de inundaciones.

Según ARCOS N. et al. (46), en el artículo de investigación “Obras de protección contra inundaciones”. El objetivo del estudio fue: describir el funcionamiento y consideraciones de diseño de las diferentes estructuras de protección. Es así que en la investigación se detalla información sobre el periodo de retorno del caudal de los ríos para el diseño de estructuras de protección. Según los autores, las autoridades tienen la mayor parte de la culpa de las muertes y los daños a la propiedad causados por las inundaciones en las zonas cercanas a los ríos que tienen estructuras de protección y donde vive la gente. Debido a que tales asentamientos están permitidos. Por otro lado, señalan que a pesar de las importantes inversiones en medidas estructurales (es decir, proyectos de protección contra inundaciones) para reducir el daño causado por las inundaciones en alguna zona, este aumenta a medida que la población se siente más segura, lo que hace más pertinentes las acciones no estructurales. En consecuencia, los investigadores señalan que no será posible eliminar por completo el riesgo de sufrir una inundación; por eso, aun con la construcción de una obra física, hay que aprender a convivir con el río y sus crecidas.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Según MAZA, J. (9), para optar el título de Ingeniero Civil sustentó la tesis “Análisis del comportamiento hidráulico del río Piura, en el tramo Los Ejidos - Puente Independencia”. El objetivo del estudio fue: realizar la modelación numérica del río con el software HEC-RAS. El método de la investigación fue científico, con diseño no experimental. La muestra de la investigación comprendió el tramo entre la presa Los Ejidos y 700 m aguas abajo del puente Independencia perteneciente a la zona baja del río Piura. Desarrolló la investigación para tres escenarios diferentes; información topográfica 2015 cuando ocurrió el fenómeno del Niño en el año 2017, información topográfica de los años 2015 y 2017 en el que se considera el Puente Independencia ensanchado y sin dique fusible. Como resultado de la investigación, se obtuvieron mapas de inundación para los escenarios planteados los cuales tienen similitud con los acontecimientos ocurridos. Llegó a la conclusión de que tras el ensanchamiento del Puente Independencia el descenso del agua fue de 0.91 m, además mencionó la eficacia del software HEC-RAS ya que se pudo obtener los tirantes de agua similares a los acontecimientos ocurridos en los escenarios mencionados.

Según TRUJILLO, H., VELÁSQUEZ, J. (1), para optar el título de Ingeniero civil, presentó la tesis “Estudio de hidráulica fluvial y simulación del comportamiento, en avenidas máximas del río Jequetepeque tramo Infiernillo-Pellejito de 19km de longitud, Provincia de Pacasmayo, Departamento de La Libertad - 2015”. El objetivo de la investigación fue realizar el estudio de hidráulica fluvial y simulación del comportamiento en avenidas máximas del río Jequetepeque. El método de investigación fue científico, correspondiente al nivel descriptivo y con diseño no experimental. La muestra estuvo delimitada por 19 Km del río Jequetepeque. El desarrollo de la investigación comprendió el levantamiento topográfico del río, granulometría del suelo, análisis hidrológico e hidráulico del río; para identificar las

progresivas con mayor vulnerabilidad de ocurrir inundaciones. Los resultados de los análisis, modelamiento y simulación del caudal del río permitieron identificar tramos de inundaciones para los periodos de retorno de 10 años, 25 años, 50 años y 100 años. Concluyendo que para dichos periodos de retorno, existen probabilidades de inundación por medio del modelamiento y de la simulación del cauce del río Jequetepeque.

Según LUJANO, E. (51), para optar el grado académico de Doctor en ciencia, tecnología y medio ambiente, con la tesis titulada “Análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú” con el objetivo de realizar el análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú. El método de la investigación fue científico, con nivel descriptivo y diseño no experimental. La muestra estuvo compuesta por la cuenca amazónica del Amazonas, que se caracteriza como una cuenca exorreica. Para el cual utilizaron datos recolectados de mediciones de caudales máximos diarios recolectados de 10 estaciones hidrométricas las mismas que pertenecen al área de estudio, posteriormente se realizó la regionalización de la curva de crecimiento para la estimación de cuantiles de caudales máximos instantáneos, del mismo modo también se realizó la regionalización del índice de avenida a partir de parámetros morfo climáticos. Los resultados mostraron la identificación de tres regiones homogéneas determinadas mediante un proceso mixto, siendo la función de distribución de valor generalizado que demostró adecuarse mejor a los datos del sitio de la región 1, así como también el índice de avenida estar en función del área de la cuenca. Llegó a la conclusión de que la curva de crecimiento regional junto con el índice de avenida puede ser utilizada de manera confiable para estimar los caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno de la cuenca amazónica del Perú.

Según LIENDO, D., NEYRA, A. (11), para optar el grado académico de Ingeniero Civil, en la tesis titulada “Modelación probabilística de la crecientes máximas en ríos de la Vertiente Peruana del Pacífico”. Con el objetivo de incrementar la fiabilidad de las estimaciones de caudales de los ríos pertenecientes a la Vertiente del Pacífico. El método de investigación fue científico, con nivel descriptivo y diseño no experimental. La población y muestra estuvieron compuestas por las cuencas pertenecientes a la vertiente del Pacífico. Se aplicaron métodos regionales que permitieron modelar las funciones de distribución de frecuencia en las cuencas que disponen de información razonable dividiendo la vertiente en tres regiones las cuales son: zona norte, zona centro y zona sur; para el cual se emplearon los siguientes modelos probabilísticos: Normal, Log-Normal, Extrema tipo I, Pearson III y Log-Pearson III y las series anuales de caudales diarios máximos de treinta y tres estaciones hidrométricas. Los resultados de los análisis de frecuencia basados en el test de Kolmogorov – Smirnov indican que los métodos que se adaptan al análisis, son la distribución extrema tipo I (Gumbel) y la distribución Log Pearson tipo III. Llegó a la conclusión de que la distribución de Gumbel se acondiciona y desempeña mejor para estimar las crecidas máximas o caudales de los ríos.

Según OYOLA, A., MEDINA, O. (12), para optar el grado académico de Ingeniero Agrícola, en la tesis titulada “Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS, caso río Zarumilla - 2018”. Con el objetivo de determinar las zonas de inundación para evitar que la población del Distrito de Papayal, Provincia de Zarumilla, Región de Tumbes sufra pérdidas humanas y económicas. El método de investigación fue científico, de nivel descriptivo y diseño no experimental. La población estuvo compuesta por el río Zarumilla que tiene una longitud de 62.6 Km, y la muestra se encuentra delimitada por una longitud de 3 Km del río que pasa

por los pueblos de La Coja, Los Olivos, La Palma y el distrito de Papayal. Para el cual emplearon información de los registros de caudales máximos de la estación hidrométrica Palmales ubicada en el río Zarumilla, también se realizaron los cálculos correspondientes para 6 periodos de retorno con ayuda del Software HIDROESTA 2 y la media aritmética para diferentes años, del mismo modo también realizaron el levantamiento topográfico con GPS que fue procesado en Excel para luego trabajar con el ArcGIS 10.3 para determinar las secciones transversales y luego exportar al HEC-RAS para realizar la simulación de los perfiles hidráulicos generando los mapas de inundación para 2; 5; 10; 25; 50 y 100 años. Los resultados mostraron que los caudales máximos para los años simulados se encuentran entre los  $445\text{m}^3/\text{s}$  y  $1369\text{m}^3/\text{s}$ . Llegó a la conclusión de que empleando el HEC-RAS fue posible observar las áreas afectadas antes de que ocurra una inundación en los años mencionados.

Según GOYBURO, A. (13) para optar el título de Ingeniero Agrícola, el autor sustentó la tesis titulada “Monitoreo y caracterización del transporte de sedimentos durante crecidas o eventos extremos de El Niño en el río Tumbes”. Con el objetivo de caracterizar la evolución del sedimento en suspensión y de fondo del río Tumbes en la cuenca Puyango – Tumbes en función a los caudales líquidos durante grandes crecidas y/o eventos extremos de El Niño. El método de la investigación fue científico, con nivel descriptivo y diseño no experimental. La población y muestra estuvieron delimitadas por la cuenca del río Puyango en el departamento de Tumbes. Para el desarrollo de la investigación se usó el perfilador acústico Doppler (ADCP) para el monitoreo del caudal líquido y sólido en suspensión y de fondo, del mismo modo es necesario mencionar que la base de datos utilizada fue proporcionada por el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Como resultado se obtuvo que el transporte de sedimento total fue de 2.79 millones de toneladas de los cuales el 99% se transporta en suspensión y el 1% en el fondo del cauce; respecto al transporte de sedimentos

en suspensión se comprobó que su variación se debe al material de lavado por precipitaciones ya que el mayor transporte ocurre al inicio de la época húmeda, en cuanto a los sedimentos de fondo se determinó que la metodología propuesta por Rennie se aproxima mejor a los datos observados de gasto sólido de fondo donde se obtuvo una correlación de 0.43 entre el gasto sólido y gasto líquido observado. Llegó a la conclusión de que la sección hidrométrica sufre cambios durante la época húmeda que pueden afectar la precisión de la curva de gasto líquido.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Comportamiento hidráulico**

El comportamiento hidráulico de los ríos, se refiere a los caudales, niveles medios y extremos, velocidades de flujo, variaciones de fondo por socavación y sedimentación, capacidad de transporte de sedimentos y ataques en las márgenes de los ríos. Es importante reconocer que el comportamiento es parte de la hidráulica fluvial SILVA, G. (14).

También se considera una parte esencial de la hidráulica general, donde se estudian los componentes de los ríos como; movimiento del agua, sedimentos, influencia de la vegetación y deformación del cauce, obviando la influencia de la vegetación y vida acuática dentro del cauce BUITRAGO, Catherine, OCHOA, Diana (15).

#### **2.2.1.1. Clasificación morfológica de los ríos**

Al respecto APACLLA, Ricardo (16), menciona que los ríos se clasifican de tres formas según la geometría los cuales pueden ser: rectos, trezados y meandros; tal como se describirá en las siguientes líneas.

- **Ríos rectos:** Presentan una alineación recta. Se observan con mayor frecuencia en planicies que son inadecuadas para permitir velocidades erosivas o en pendientes pronunciadas donde se pueden alcanzar altas velocidades APACLLA, Ricardo (16).
- **Ríos trenzados:** Son ríos que generalmente se encuentran conectados aleatoriamente por diversos canales, se hallan en sectores donde la pendiente es relativamente fuerte. Este tipo de ríos generan barras formadas por los depósitos de sedimentos los cuales se producen por vegetación APACLLA, Ricardo (16).
- **Ríos con meandros:** Un río con meandros, es aquel que presenta diversas curvas consecutivas, que pueden surgir por los diversos cambios que presenta durante el paso del tiempo, dicho tipo de cambios generalmente se produce por el tipo de material que se encuentra en los márgenes del río APACLLA, Ricardo (16).

#### **2.2.1.2. Erosión**

La forma de la corteza terrestre, se debe a la erosión que se desarrolla progresivamente desde los tiempos geológicos; es necesario conocer que la erosión de las cuencas dan lugar a la formación de sedimentos fluviales ROCHA, Arturo. (17).

Martín (2001), menciona que el descenso del fondo o retroceso de las orillas en un cauce de río es la consecuencia de la erosión.

#### **2.2.1.3. Transporte de sedimentos**

Ochoa (2011), menciona que el volumen de los sedimentos transportados por el flujo de un cauce es importante, ya que tiene altas posibilidades de influir en el comportamiento de las diversas estructuras hidráulicas. Además de tener la capacidad de hacer variar el cauce de un río e influir en la optimización de la navegabilidad.

##### **a) Arrastre en la capa de fondo (g<sub>B</sub>)**

Material del fondo del cauce arrastrado por la corriente dentro de la capa de fondo. Según Einstein, el espesor es igual a dos veces el diámetro de la partícula considerada. Otros autores como Rijn y Pacheco – Ceballos, consideran diferentes espesores para la capa de fondo, por lo que dicho valor se representa en el método respectivo.

Se calcula en función a las características hidráulicas de la corriente, geometría del cauce y propiedades físicas del material de fondo Según MAZA, Jose, GARCÍA, Manuel (10).

#### **b) Transporte del fondo en suspensión (gbs)**

Formado por el material del fondo del cauce que es transportado por la corriente en suspensión, en otras palabras en el centro líquido sobre la capa de fondo. Debido a la velocidad y turbulencia del flujo, las partículas del lecho se levantan y se mantienen en suspensión. La concentración o número de partículas en suspensión disminuye cuando la turbulencia y velocidad de la corriente disminuye.

En la mayoría de los ríos, el material es granular y se encuentra formado por partículas sueltas de arena, grava y boleos. Las fuerzas que tratan de mover a dichas partículas son de arrastre y sustentación de la corriente. Cabe resaltar que las fuerzas que se oponen al movimiento son el peso propio de las partículas y la fricción que desarrollan al descansar sobre otra partícula; al ser levantadas en suspensión, la única fuerza actuante de las partículas es el peso propio para que retornen nuevamente al fondo.

La distribución de la concentración de partículas en una vertical es más uniforme cuando el material es más fino y la turbulencia de la corriente es mayor, cuando el material es grueso y la turbulencia es menor se tiene poco material en

suspensión cerca de la superficie y mayor concentración cerca al fondo del cauce del río.

El transporte de fondo en suspensión se calcula de acuerdo a las características hidráulicas de la corriente, geometría del cauce y propiedades físicas del material de fondo. Del mismo modo, se puede obtener de una muestra de agua y sedimentos de un punto conocido de la sección, de dicha muestra se debe obtener la concentración de partículas en suspensión y las propiedades físicas de las partículas

MAZA, Jose, GARCÍA, Manuel (10).

**c) Transporte de fondo o transporte total del fondo ( $g_{BT}$ )**

Conformado por el material de fondo que se transporta en la corriente, dentro de la suspensión como en la capa de fondo. Es así que el transporte de fondo es la suma del arrastre en la capa de fondo y el transporte de fondo en suspensión, cumpliendo la siguiente relación.

$$g_{BT} = g_B + g_{BS}$$

**d) Transporte de lavado ( $g_L$ )**

Formado por material muy fino transportado en suspensión y no se encuentra representado en el material de fondo del cauce. Cuando se considere una determinada sección, el material de lavado se compone de tramos aguas arriba. El origen de este material es la erosión del suelo de la cuenca debido a las gotas de lluvia o por la erosión de las márgenes del río. Se consideran material de lavado a las partículas menores a 0.062 mm.

El transporte de lavado depende de la cantidad de partículas finas que aporta la cuenca al río, bajo la actividad de la lluvia. Debido a que no es una función de las características hidráulicas de la corriente, se puede evaluar tomando una muestra de

agua con partículas en suspensión y separando la proporción de material de fondo que no está representado en la curva granulométrica.

**e) Transporte en suspensión (gs)**

Formado por la totalidad de partículas transportadas en suspensión, por lo que es igual a la suma del fondo en suspensión y lavado, cumpliendo la siguiente relación.

$$g_S = g_{BS} + g_L$$

Muestras que contengan material de lavado, se pueden obtener de ríos donde la velocidad es baja y el flujo no puede levantar las partículas de fondo. Muestras que contengan únicamente material de fondo en suspensión, se pueden obtener en afluentes de zonas montañosas y en canales de comunicación entre lagunas costeras y el mar ya que al subir la marea y entrar el agua de mar ingresan partículas libres de limos y arcillas; así mismo, se debe mencionar que el material de fondo en suspensión se puede obtener en un canal de laboratorio como fondo arenoso con agua limpia.

Al tomar muestras de agua – sedimento, se sugiere separar el material de fondo y lavado. Una forma práctica es pasar la muestra por la malla N° 200 de 0.074 mm de abertura (valor cercano a 0.062 mm para la separación de partículas de lavado), donde las partículas retenidas en la malla se consideran material de fondo y las partículas pasantes se consideran material de lavado Según MAZA, Jose, GARCÍA, Manuel (10).

**f) Transporte total**

Formado por todas las partículas transportadas por el río que proceden del fondo o conformen el material lavado. Cumple las siguientes relaciones.

$$g_T = g_L + g_{BT}$$

$$g_T = g_L + g_{BS} + g_B$$

$$g_T = g_S + g_B$$

La mayoría de los métodos desarrollados para cuantificar el transporte de sedimentos, buscan obtener el material que es arrastrado en la capa de fondo. No obstante, las pruebas se realizaron en canales de laboratorio donde el arrastre se obtenía de cuantificar las partículas transportadas que llegaban al final del canal. Ya que, cuando la velocidad del flujo es alta las partículas eran transportadas en suspensión obteniéndose el total de fondo sin considerar el arrastre de la capa de fondo Según MAZA, Jose, GARCÍA, Manuel (10).

En la figura, se presenta los diferentes tipos de transporte de sedimentos.

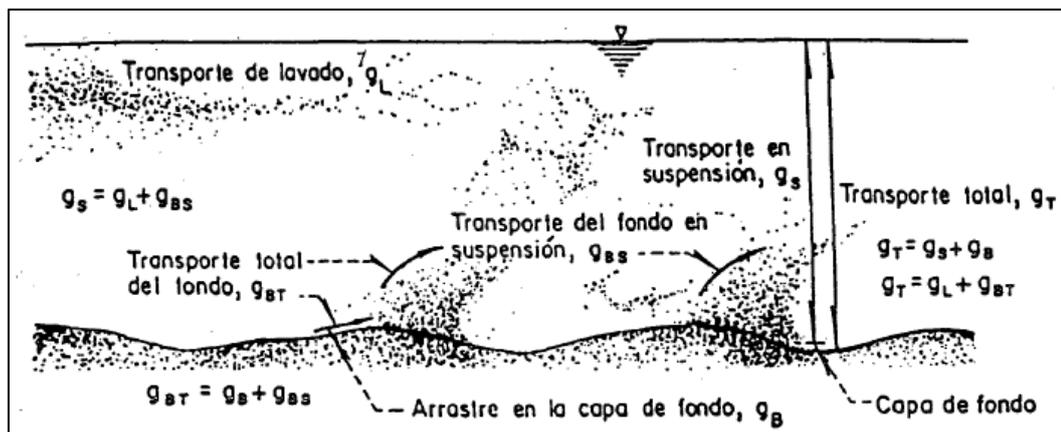


Figura 1. Tipos de transporte de sedimentos y notación  
Fuente: Según MAZA, Jose, GARCÍA, Manuel (10).

En la siguiente tabla se muestra el tipo de transporte y la notación respectiva.

Tabla 1. Tipo de transporte y notación

Forma de transporte	Notación			
	kgf/s.m	kgf/s	m3/s.m	m3/s
	N/s.m	N/s		
<b>Arrastre en la capa de fondo</b>	$g_B$	$G_B$	$q_B$	$Q_B$
<b>Transporte de fondo en suspensión</b>	$g_{BS}$	$G_{BS}$	$q_{BS}$	$Q_{BS}$
<b>Transporte de fondo</b>	$g_{BT}$	$G_{BT}$	$q_{BT}$	$Q_{BT}$
<b>Transporte de lavado</b>	$g_L$	$G_L$	$q_L$	$Q_L$
<b>Transporte en suspensión</b>	$g_S$	$G_S$	$q_S$	$Q_S$
<b>Transporte total</b>	$g_T$	$G_T$	$q_T$	$Q_T$

Fuente: Según MAZA, Jose, GARCÍA, Manuel (10).

De la misma forma, en la figura se muestra el tipo de transporte de sedimentos según el problema o estudio.

PROBLEMA O ESTUDIO	TRANSPORTE POR CUANTIFICAR
Tiempo de llenado de una pequeña presa derivadora	$g_B$
Tiempo de llenado de una presa derivadora	$g_B \circ g_{BT}$
Tiempo de llenado de una gran presa	$g_T$
Erosión aguas abajo de grandes presas	$g_{BT}$
Estabilidad de cauces y rectificaciones	$g_B \circ g_{BT}$
Derivaciones en ríos hacia canales de riego	$g_{BS}$
Derivaciones en ríos hacia plantas de tratamiento	$g_{BS} \text{ Y } g_L$
Obras de defensa contra inundaciones	
Bordos de protección	$g_{BT}$
Desvíos temporales	$g_{BS} \text{ Y } g_L$
Cauces de alivio	$g_{BS}$
Bombeo directo de un río	$g_{BS} \circ C_{BS}$
Tanques de sedimentación	$g_B \circ g_{BT}$
Desvíos para acuicultura en lagunas costeras o estanques	$g_{BS} \circ g_L$
Entubamiento de arroyos en su paso por centros urbanos	$g_{BT}$
Diseño de canales sin arrastre	$g_B = 0$ (condición crítica de arrastre)
Estudios de erosión y sedimentación de tramos de ríos	$g_B \circ g_{BT}$

Figura 2. Tipos de transporte  
Fuente: Según MAZA, Jose, GARCÍA, Manuel (10).

Por otro lado, en la siguiente tabla se muestra la descripción de las fórmulas de transporte de sedimentos de fondo. Ya que el material predominante del cauce del río Cunas fueron arenas y con arrastre de fondo.

*Tabla 2. Descripción de fórmulas de sedimentos de fondo*

<b>Fórmula</b>	<b>Año publicado</b>	<b>Diámetro representativo</b>	<b>Rango de tamaño de partícula (mm)</b>	<b>Tipo de datos y descripciones</b>
<b>Meyer, Peter y Muller</b>	1948	Dm	0.4 - 30	Sedimentos uniformes con peso específico de 1.25 a 4 Ton/m <sup>3</sup>
<b>Van Rijn</b>	1984	D90	0.2 - 2	Sobre la base 130 experimentos en un canal
<b>Bagnolds</b>		Dm	0.4 - 30	Considera el esfuerzo de corte del flujo sobre la capa y esfuerzo de corte debido a la colisión de partículas
<b>Yalin</b>	1963	D <sub>50</sub>	0.315 - 28.65	Sedimento uniforme y materiales de peso ligero

Fuente: Según MAZA, Jose, GARCÍA, Manuel (10).

#### **2.2.1.4. Instrumento de aforo de sedimento de fondo**

OMM (53), el monitorear de transporte de sedimentos del fondo es dificultoso debido a la naturaleza estocástica del movimiento de sedimentos. En la actualidad, se han desarrollado una gran cantidad de dispositivos de medición, para medir el transporte de sedimentos del fondo. Los equipos de medición desarrollados rara vez gozan de aceptación universal, por lo que deben utilizarse con gran precaución en su campo de aplicación.

Existen diferentes tipos de muestreadores para sedimento de fondo y su selección depende del tipo de material a muestrear. El muestreador Helley – Smith (Emmett, 1979) se recomienda para lechos de gravas y arenas.

Muestreador tipo trampa Helley Smith, es el más usado en las mediciones del transporte de sedimentos de fondo para lechos de grava y arena. Consiste en una boquilla, una bolsa para muestras y un bastidor. Sus aletas traseras y su colar corredizo permiten orientarlo y balancearlo de acuerdo con las condiciones de flujo.

Existen varias versiones para diferentes condiciones de campo. Para el estudio se utilizó el muestreador (404- 018 Helley Smith 8035 3”x3”).

EMMETT, W. (54), los métodos para bajar el muestreadore al fondo de las corriente consiste en la suspensión con varilla, es indicada para el muestreo en corrientes poco profundas.

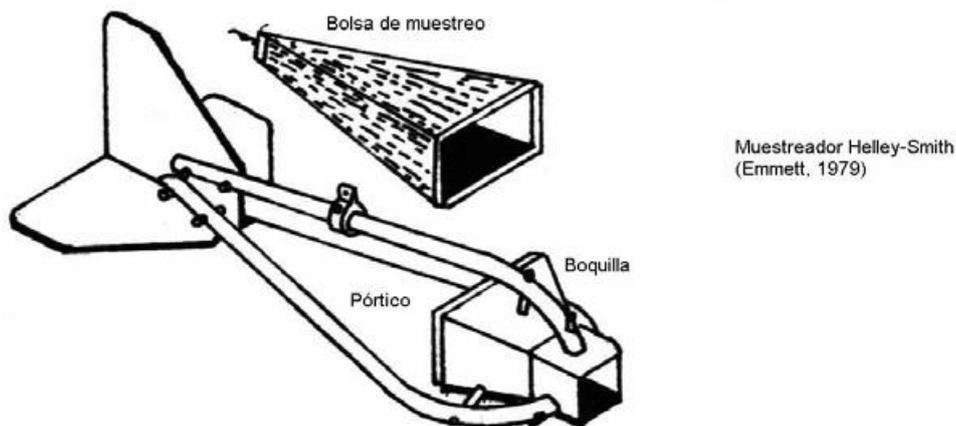


Figura 3. Muestreador de fondo Helley-Smith  
Fuente: EMMETT, W. (54)

### 2.2.1.5. Socavación

De acuerdo con APACLLA, Ricardo (16) los tramos de un río se encuentran sujetos a los procesos de erosión y sedimentación; los mismos que se pueden producir mediante un proceso natural o la mano del hombre llegando a reducir el ancho del cauce en el fondo y a la vez generando erosión. Debido a lo mencionado, se puede incrementar la pendiente, como en consecuencia de esto se producirá una socavación local y en caso de producirse algún cambio en diferentes tramos es posible que el cauce se acelere en otros tramos del recorrido del río.

### 2.2.2. Implementación de diques

Los diques, son obras localizadas en las laderas de los cauces del río, con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente de agua, existen revestimientos de hormigón o asfalto, mantas de hormigón, escollera con mortero y revestimiento flexible con escollera o

rip rap, bloques de hormigón prefabricados y vegetación BUITRAGO, Catherine, OCHOA, Diana (15).

#### **2.2.2.1. Obras de protección ribereña**

TERÁN, Ruben (19), menciona que son las medidas tomadas para evitar los problemas generados por la acción erosiva del agua y entra las medidas de prevención y control se tiene medidas agronómicas y estructurales, las mismas que serán detalladas en las líneas siguientes:

#### **2.2.2.2. Medidas agronómicas**

Para las medidas agronómicas se tienen defensas vivas:

- **Defensa viva – natural:** Es posible decir que son las mejores defensas contra la inundación y la erosión de un río. Viene a ser el conjunto de diversas variedades de árboles y arbustos de buena densidad que existen en ambas márgenes del cauce de un río, los cuales presentan una faja de ancho de 30 a 40m que garantiza la protección CCONISLLA, Jhony (20).
- **Defensa viva- forestal:** Defensa basada en la plantación de arbustos y árboles de raíces profundas, sobre las que se realiza una determinada seccion estable en el cauce del río. La densidad de estas plantaciones debe estar en función a las características de las especies de árboles y arbustos CCONISLLA, Jhony (20).

#### **2.2.2.3. Medidas estructurales**

Medidas que consisten en estructuras diseñadas basado en principios de ingeniería; con la finalidad de controlar la erosión producto de la escorrentía superficial. Para el aspecto del diseño, se toma en cuenta la teoría de hidrología e hidráulica CCONISLLA, Jhony (20).

Estas medidas estructurales pueden ser permanentes y provisionales o temporales; donde las obras longitudinales de medidas permanentes son estructuras que se construyen en base a concreto armado, ciclópeo, rocas y gaviones, su diseño y ejecución requieren conocimiento y experiencia especializada, en la mayoría de los casos se emplean para prevenir y controlar la erosión hídrica de terrenos de cultivo y otros efectos; los tipos de obras de esta medida serán descritas en el siguiente ítem. Las obras longitudinales de medidas temporales, son estructuras cuyo costo es menor y su construcción no requiere de conocimientos técnicos especializados mayores; ya que su finalidad es desviar el flujo de agua en forma relativa de los terrenos de cultivo para protegerlos, dentro de estas estructuras se encuentran los espigones, terraplenes o rayados y la limpieza del cauce que siempre es necesaria CCONISLLA, Jhony (20).

#### **2.2.2.4. Tipos de obras longitudinales**

##### **Enrocados**

Obra longitudinal que pretende proteger los taludes de los márgenes de los ríos. Generalmente los márgenes de los ríos están constituidos por arena y limo, por lo que es importante mantener el agua alejada los márgenes que son de fácil erosión y son severamente atacadas por las crecidas de caudales, la fuerza de arrastre ocasionando la erosión CASTELLANOS, Ortega (21).

Para la construcción de enrocados se debe tener en cuenta el uso de piedras no redondeadas, de preferencia en forma de tabloide con espesores superiores a 100mm; las piedras pueden ser colocadas sueltas o pegadas con mortero o con concreto. En el caso de utilizar uniones de concreto se requiere la construcción de dilatación cada 10 ó 20m y debajo de la piedra es necesario colocar un manto geotextil o filtro para evitar la erosión BUITRAGO, Catherine, OCHOA, Diana (15).

Las ventajas de emplear los enrocados son: adaptación a los movimientos del terreno, reparación sencilla, se puede aumentar el espesor, controla las olas y permite la generación de vegetación BUITRAGO, Catherine, OCHOA, Diana (15).

Los enrocados pueden ser:

- **Enrocado anclado:** en el caso de que las rocas no posean el peso necesario para su estabilidad contra la corriente, para ello se puede emplear los enrocados anclados que consisten en un enrocado simple sobre el que se coloca una malla de acero galvanizado anclado con pines de acero y el tamaño de la malla debe impedir la salida de los cantos rodados o bloques BUITRAGO, Catherine, OCHOA, Diana (15).
- **Camellones o caballetes de roca:** es un dique de protección de orilla hecho de piedra, colocado a una determinada distancia hacia afuera del borde de la orilla que solo actúa como protección al momento del desborde o inundación de la corriente. Y los caballetes son apropiados para situaciones de emergencia o evitar el desborde de las corrientes BUITRAGO, Catherine, OCHOA, Diana (15).

### Cálculo estructural

- **Profundidad de la uña**

Debido a que el material del cauce del río no es cohesivo, la profundidad de la uña es igual a  $t_s$  (profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva).

$$Hs = t_s$$

$$t_s = \left( \frac{\alpha * t^{5/3}}{0.68 * Dm^{0.28} * B} \right)^{\frac{1}{x+1}}$$

Así mismo, se calcula el ancho de la uña del enrocado en la base, para la cual se emplea la siguiente ecuación.

$$A_{uña} = 1.5 * P_{uña}$$

- **Altura del muro**

$$H_m = t + Bl$$

$$Bl = \phi \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

H<sub>m</sub>: Altura del muro en m.

t: Tirante normal

Bl: Bordo libre

v: Velocidad media del agua

g: Gravedad

∅: Coeficiente en función de la máxima descarga y pendiente. La tabla siguiente muestra los valores del coeficiente ∅.

*Tabla 3. Valores de ∅*

<b>Caudal máximo m3/seg</b>	<b>Coeficiente</b>
<b>3000 - 4000</b>	2.00
<b>2000 - 3000</b>	1.70
<b>1000 - 2000</b>	1.40
<b>500 - 1000</b>	1.20
<b>100 - 500</b>	1.10

Fuente: TERÁN, Ruben (19)

- **Diámetro de la roca**

Para el cálculo del diámetro de la roca, primero se calcula el factor de corrección, luego la densidad relativa del material y finalmente el diámetro medio de la roca.

$$f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\text{sen}^2 \phi}}$$

Donde:

f: Factor de corrección

$\alpha$ : Ángulo de talud

$\emptyset$ : Ángulo de fricción interna del material

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$$

Donde:

$\Delta$ : Densidad relativa del material

$\gamma_s$ : Densidad de la roca en Kg/m<sup>3</sup>

$\gamma$ : Densidad del agua en Kg/m<sup>3</sup>

$$d_{50} = \frac{b}{\Delta} * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{f}$$

Donde:

$b$ : Factor par condiciones de mucha turbulencia, se adoptó el valor de 1.4

- **Estabilidad del terraplén**

Para el cálculo de la estabilidad del terraplén, es necesario calcular la fuerza resistente y presión de flujo (producido por el agua)

$$R = W * \tan\emptyset$$

Donde:

R: Fuerza resistente en Kg/m

W: Peso del terraplén en Kg

$\emptyset$ : Ángulo de fricción interna.

En la tabla, se muestran los valores del peso específico y ángulo de fricción de suelos.

Tabla 4. Peso específico y ángulo de fricción de suelos

Clase de terreno	$\gamma_s$ (Ton/m3)	$\alpha$
Tierra de terraplén	1.40	37°
Tierra de terraplén húmeda	1.60	45°
Tierra de terraplén empapada	1.80	30°
Arena seca	1.60	33°
Arena húmeda	1.80	40°
Arena empapada	2.00	25°
Légamo diluvial seco	1.50	43°
Légamo diluvial húmedo	1.90	20°
Arcilla seca	1.60	45°
Arcilla húmeda	2.00	22°
Gravilla seca	1.83	37°
Gravilla húmeda	1.86	25°
Grava de cantos vivos	1.80	45°
Grava de cantos rodados	1.80	30°

Fuente: TERÁN, Ruben (19)

La subpresión, se calcula con la siguiente ecuación.

$$P = \frac{P_w * H^2}{2}$$

Donde:

P: Presión del agua ejercida al terraplén.

Pw: Peso específico del agua en Kg/m3

H: Tirante de agua en m

### 2.2.3. Tratamiento probabilístico de la información hidrológica

Según CHOW, Ven, MAIDMENT, David y MAYS, Larry (22), un conjunto de observaciones de  $x_1; x_2; \dots; x_n$  de la variable aleatoria se denomina muestra. Una muestra es sacada de una población hipotéticamente infinita, que posee propiedades estadísticas constantes. Las propiedades de una muestra pueden cambiar de una muestra a otra y el conjunto de todas las muestras posibles que pueden extraerse de una población, se conoce como espacio muestral y un evento es un subconjunto muestral. Si las observaciones de una

muestra están idénticamente distribuidas, estas pueden ordenarse para formar un histograma de frecuencia. Ahora bien si el número de observaciones  $n_i$  en el intervalo  $i$  que cubre un cierto rango, se divide por el número total de observaciones  $n$ , el resultado se conoce como frecuencia relativa. Así mismo la suma de los valores de la frecuencia relativa hasta un punto dado es la función de frecuencia acumulada y en su límite, cuando  $n \rightarrow \infty$  y  $\Delta_x \rightarrow 0$ , se denomina función de distribución de probabilidad.

Desde el punto de vista de ajuste de la información de la muestra a una distribución teórica, las cuatro funciones (frecuencia relativa y frecuencia acumulada, para la muestra y para la población, distribución de probabilidad y densidad de probabilidad), pueden ordenarse en un ciclo. Tal como se muestra en la siguiente figura, de funciones de frecuencia para la información de muestra y funciones de probabilidad para la población; donde se puede observar en la parte superior izquierda (a) la función de frecuencia relativa que se calcula utilizando datos de la muestra divididos en intervalos y acumulados para formar la función de frecuencia acumulada de la parte inferior izquierda (b), la función de distribución de probabilidad de la parte inferior derecha (c) es el límite teórico de la función de frecuencia acumulada a medida que el tamaño de la muestra se vuelve infinitamente grande y el intervalo de la información infinitamente pequeño, la función de densidad de población de la parte superior derecha (d) es el valor de la pendiente de la función de distribución para un valor específico de  $x$ ; y el ciclo puede cerrarse calculando un valor teórico de la función de frecuencia relativa denominado la función de probabilidad incrementada CHOW, Ven, MAIDMENT, David y MAYS, Larry (22).

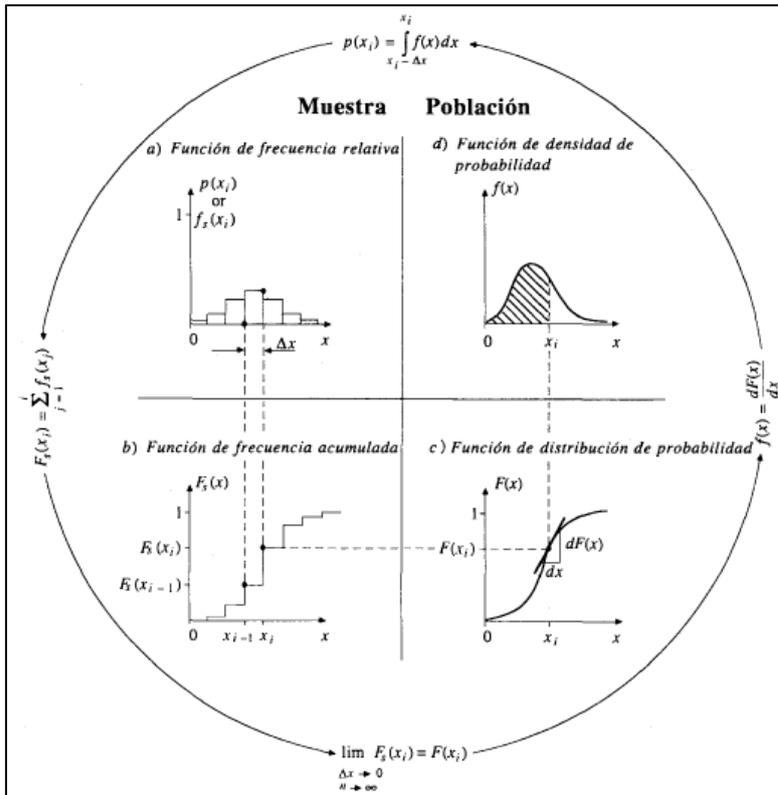


Figura 4. Funciones frecuencia para muestra y población

Fuente: CHOW, Ven, MAIDMENT, David y MAYS, Larry (22).

### 2.2.3.1. Determinación de la probabilidad

El diseño y la planeación de obras hidráulicas, siempre están relacionadas con eventos hidrológicos futuros cuyo tiempo de ocurrencia no puede predecirse, razón por la cual se debe recurrir al estudio de la probabilidad o frecuencia LINSLEY, Ray, KOHLER, Max, PAULUS, Joseph (23).

PIZARRO, Roberto et al. (24), la definición de la probabilidad implica considerar dos conceptos y uno de ellos es el periodo de retorno el cual está definido como el tiempo que transcurre entre dos sucesos iguales siendo el tiempo T; y el segundo concepto es la probabilidad de excedencia el cual es la probabilidad asociada al periodo de retorno donde la variable aleatoria tomo un valor superior o igual a cierto número X y se define como:

$$P(x) = \frac{1}{T}$$

La probabilidad de que un valor de la variable aleatoria no sea excedido, está dado por la función de distribución de probabilidad  $F(x)$ , el cual se expresa de la siguiente forma:

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx = P(x \leq X) = 1 - \frac{1}{T}$$

Luego la probabilidad de que la variable aleatoria sea mayor que  $X$ , se expresa como:

$$P(x \leq X) = 1 - F(x) = \frac{1}{T}$$

### **2.2.3.2. Análisis de frecuencia**

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para predecir el comportamiento futuro de los caudales de un lugar de interés, partiendo de la información histórica de los caudales. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un periodo de retorno. La confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la propia incertidumbre de la distribución de probabilidades seleccionada. Cuando se pretende realizar extrapolaciones a periodos de retorno mayores que la longitud de la serie disponible, el error relativo asociado a la distribución de probabilidades utilizada es más importante; mientras que en interpolaciones la incertidumbre está asociada a la calidad de los datos a modelar, en ambos casos la incertidumbre es alta dependiendo de la cantidad de datos disponibles ASHAKAR, F. (25).

El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros de la distribución de probabilidad y determinar con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un periodo de retorno dado. Para determinar la magnitud de eventos extremos, cuando la distribución

de probabilidades no es una función fácilmente invertible se requiere conocer la variación de la variable respecto a la media AGUILERA M. (26).

### 2.2.3.3. Funciones de distribución de probabilidad

El comportamiento de las variables aleatorias discretas o continuas se describe con la ayuda de las distribuciones de probabilidad, la variable se designa por mayúscula y un valor específico de ella por minúscula AGUILERA M. (26).

- **Distribución Normal:**

La función normal es el modelo más usado y con mayor importancia en el campo de la estadística VARAS, Eduardo, BOIS, Philippe (27). Sin embargo su uso es limitado en hidrología debido a que las variables difícilmente se comportan de esta forma.

LINSLEY, Ray, KOHLER, Max, PAULUS, Joseph (23), señala que el uso de esta función en términos hidrológicos debe reducirse a zonas húmedas donde el valor medio es alto, no siendo recomendable para valores extremos.

La función de distribución de probabilidad normal, se muestra en la siguiente ecuación:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Donde:

$x$ : Es la variable aleatoria

$\mu$ : Es la media de la población

$\sigma$ : Es la desviación estándar de la población

Para resolver esta función se recurren a métodos numéricos para evaluarla y hacer esto más sencillo se le asigna una variable estandarizada cuya expresión es la siguiente:

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma}$$

La cual esta normalmente distribuida con media cero y desviación estándar unitaria. Así es como la función principal queda definida como:

$$F(x) = F(z) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz \text{ (Ecuación 6)}$$

En la siguiente figura, se observa la tendencia de la función Normal.

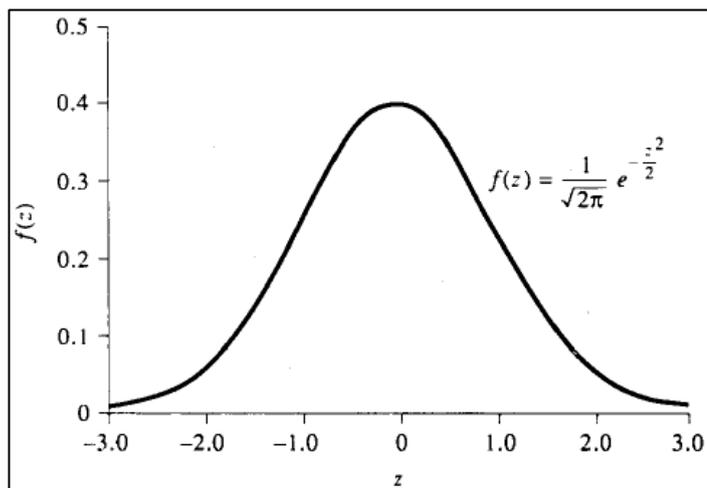


Figura 5. Distribución normal

Fuente: CHOW, Ven, MAIDMENT, David y MAYS, Larry (22)

- **Distribución Logarítmico – Normal**

Las variables físicas de interés en hidrología (precipitación, caudal, evaporación, entre otros) son generalmente positivas, por lo cual es usual que presenten distribuciones asimétricas. De este modo se ha propuesto aplicar una transformación logarítmica; donde  $Y = \ln(X)$ , que está normalmente distribuida;

luego  $X$  está distribuida en forma normal y su función de densidad de probabilidad es: VARAS, Eduardo, BOIS, Philippe (27).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2}$$

Donde los parámetros de la función son  $\alpha$  y  $\beta$ , que son la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria, están definidos como sigue:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n}$$

$$\beta = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2}$$

Posteriormente la función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{2\pi} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} dx$$

Donde  $e$  corresponde a la constante Neper. Y del mismo modo que en la distribución normal, se le asigna a  $z$  los siguientes valores:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta}$$

En la siguiente figura, se muestra la tendencia de la distribución logarítmica.

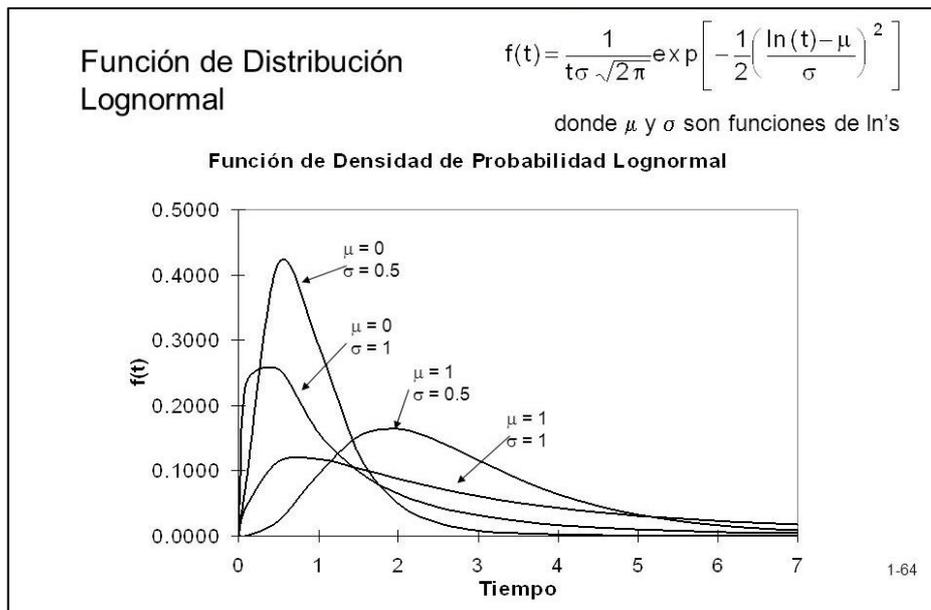


Figura 6. Distribución Logarítmica- Normal  
Fuente: SLIDEPLAYER (28)

Según estudios realizados por POBLETE, A.G.; AGUIAR, L., Sánchez, G (29), identifican a la distribución Logarítmica – normal como la que presenta mejor bondad de ajuste a series de caudales anuales, por sobre un 90% para el test de Kalmogorov – Smirnov y Chi Cuadrado.

- **Distribución Pearson tipo III**

CHOW, Ven, MAIDMENT, David y MAYS, Larry (22), señala que esta distribución tiene gran flexibilidad y diversidad de forma, dependiendo de los valores de sus parámetros y asimilando su utilización para precipitaciones o caudales máximos anuales. La función de densidad de probabilidad Pearson tipo III se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x-\delta}{\alpha} \right\}^{\beta-1} e^{-\frac{x-\delta}{\alpha}}$$

Donde  $\alpha, \beta, \delta$  son los parámetros de la función y  $\Gamma(\beta)$  es la función de Gamma. Los parámetros  $\alpha, \beta, \delta$  se evalúan a partir de  $n$  datos medios. Así mismo los

parámetros de la distribución pueden ser estimados en función del promedio ( $\bar{x}$ ) y la desviación estándar (S) de la muestra, por medio de las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{S}{\sqrt{\beta}}; \beta = \left(\frac{2}{\gamma}\right)^2; \delta = \bar{x} - \alpha\beta$$

Donde:  $\gamma$  es el coeficiente de sesgo y  $e$  constante de Neper.

En la siguiente línea se muestra como se define el coeficiente de sesgo:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3/n}{S^3}$$

Y la distribución de este modelo es:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \int_0^x e^{-\left(\frac{x-\delta}{\delta}\right)} \left(\frac{x-\delta}{\delta}\right)^{\beta-1} dx$$

Del modo que sustituyendo se logra la siguiente función:

$$y = \frac{x-\delta_1}{\alpha_1}$$

Y finalmente la ecuación queda como:

$$F(y) = F(X^2|v) = F_{x^2}(2y|2\beta_1) \text{ (Ecuación 19)}$$

Los resultados de los estudios realizados anteriormente determinan que la función de Pearson tipo III, es la que mejor representa a las series de caudales mínimos intermitentes, donde se presentan descargas con valores cero. Así mismo las series de caudales mínimos permanentes se ven reflejadas en la función Logarítmica – Normal de tres parámetros.

Para ajustar distribuciones de tres parámetros, se necesita estimar el coeficiente de asimetría de la distribución y para ello es necesario disponer de una serie con longitud de registros larga, mayor de 50 años KITE, G. (30).

Mientras que las distribuciones con dos parámetros, son usualmente preferidas cuando se dispone de pocos datos ya que reducen la varianza de la muestra ASHAKAR, F. (25).

- **Distribución Gumbel**

Según APARICIO, Francisco (31), si se tienen  $N$  muestras cada una de las cuales contienen  $n$  eventos y si selecciona el máximo de  $x$  de los  $n$  eventos de cada muestra, es posible demostrar que a medida que  $n$  aumenta la función de distribución de probabilidad de  $x$  tiende a la siguiente función:

$$F(x) = e^{-e^{-d(x-\mu)}} \quad \text{Para: } -\infty \leq x \leq \infty$$

Donde;  $X$  representa el valor a asumir por la variable aleatoria y  $e$  la constante de Neper.

Los parámetros de la distribución de una muestra de tamaño finito tienden a los siguientes valores, basados en la media aritmética y la desviación estándar de la muestra:

$$d = \frac{1}{0.779696 * S}; \mu = \bar{x} - 0.450047 * S$$

En la siguiente figura, se puede observar la tendencia de la función Gumbel.

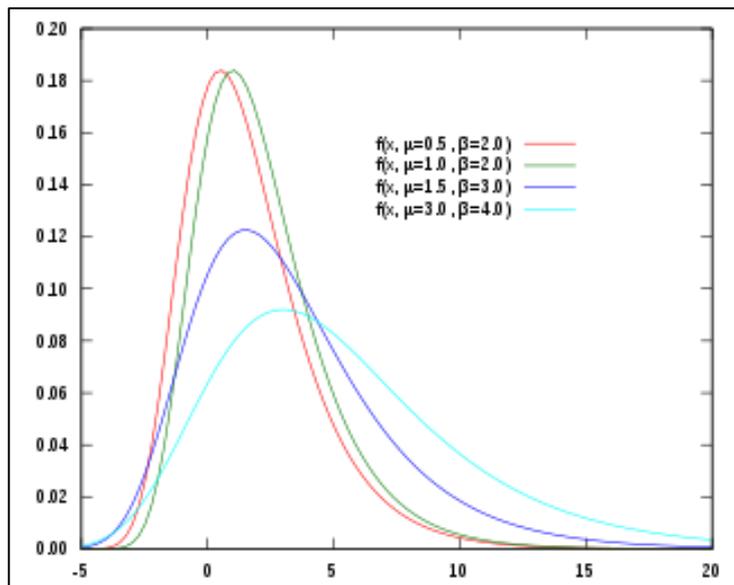


Figura 7. Distribución Gumbel  
Fuente: WIKIPEDIA (32)

## 2.2.4. Variables hidrológicas

Para CHOW, Ven, MAIDMENT, David y MAYS, Larry (22), las precipitaciones y los caudales son variables hidrológicas que son medidas en las estaciones hidrométricas, las cuales son consideradas variables aleatorias y son definidas mediante una función que se les asigna un valor asociado a cada punto del espacio muestral.

### 2.2.4.1. Precipitaciones

Las precipitaciones representan el elemento más importante dentro del ciclo hidrológico. Razón por la cual, para FERNÁNDEZ, Felipe (33), la precipitación junto a la temperatura son los elementos climáticos más influyentes dentro del medio natural ya que afecta directamente a la distribución de especies vegetales y animales, como las actividades del hombre que son la actividad agrícola, forestal, económica entre otros.

De acuerdo con AGUILERA M. (26), las precipitaciones son un fenómeno físico que describe la transferencia de agua en estado líquido (en forma de lluvia) y en estado sólido (en forma de nieve y granizo) entre la atmósfera y el suelo, sin olvidar que una parte de las

precipitaciones alimenta la evaporación de la cuenca y el resto es aportación superficial y subterránea.

Las precipitaciones se pueden clasificar en tres tipos: orográficas, de convección y ciclónicas, dentro de las cuales las dos primeras son aquellas donde los vientos cargados de humedad se dirigen hacia una zona montañosa y las masas de aire suben y se enfrían hasta alcanzar el punto de condensación. Por otro lado, la precipitación convectiva es de corta duración pero de gran intensidad, en este tipo de precipitación el aire se calienta por radiación solar y se eleva y durante el trayecto de elevación el aire se enfría hasta alcanzar el punto de condensación. Y finalmente la precipitación ciclónica está asociada al contacto con masas de aire con diferente humedad y temperatura, generando precipitaciones prolongadas PIZARRO, Roberto, SANGUESA, Claudia. (34).

Desde el punto de vista hidrológico de APARICIO, Francisco (31), menciona que en la superficie terrestre las precipitaciones son la fuente principal de agua y la medición de dichas precipitaciones son el punto de partida de la mayoría de los estudios relacionados al estudio del uso del agua.

#### **2.2.4.2. Caudales**

Según PIZARRO, Roberto y otros (35), se denomina caudal o gasto al volumen de agua que fluye por medio de una sección transversal por unidad de tiempo, siendo la unidad de medida más común y empleada el  $m^3/s$ . Siendo así para el Ingeniero Hidrólogo, el caudal una variable dependiente en la mayoría de los estudios, ya que la ingeniería hidrológica se dedica a estimar volúmenes de flujo o los cambios de estos valores debido a la acción del hombre LINSLEY, Ray, KOHLER, Max, PAULUS, Joseph (23).

Es importante mencionar que para el cálculo de caudales existen diferentes metodologías, claro que dependiendo del tipo de información con que se cuenta, el cual puede ser del tipo fluvial o pluvial, si se cuenta con datos fluviométricos y los caudales son calculados en forma directa por medio del análisis de frecuencia de los gastos medidos, mientras que si se cuenta con información pluviométrica la estimación de las crecidas se estima por medio de modelos basados en las características morfométricas de la cuenca que se encuentre en estudio PIZARRO, Roberto y otros (35).

Se debe tener en consideración que los caudales son importantes y en especial los que representan valores máximos. LINSLEY, Ray, KOHLER, Max, PAULUS, Joseph (23), señalan que un caudal punta es un caudal máximo registrado el cual sobrepasa los valores normales y en un hidrograma de crecidas es el valor más alto de la curva. El cálculo de este tipo de caudales, en la actualidad es una de las mayores preocupaciones de la ingeniería hidrológica, ya que esta información es de mucha utilidad para el diseño de obras hidráulicas, además de permitir su cuantificación en volumen y así poder definir estrategias de los recursos hídricos, hecho que cada vez cobra mayor relevancia.

### **2.3. Definición de términos**

- **Caudal**

Cantidad de agua que mana o corre; cantidad de un líquido o un gas que fluye en un determinado lugar por unidad de tiempo RAE (36).

Medición que no se registra directamente, a pesar de ser una de las variables más importantes de los estudios hidrológicos; razón por la cual se registra el nivel de agua y el caudal se deduce por medio de una curva de calibración, incluso haciendo

la medición de velocidad y profundidad de la sección del cauce de un río CHOW, Ven, MAIDMENT, David y MAYS, Larry (22).

- **Distribución de probabilidad**

Comportamiento de variables aleatorias discretas o continuas que se describe con la ayuda de la distribución de probabilidad. Donde el diseño y planeación de obras hidráulicas siempre están relacionadas con eventos hidrológicos futuros cuyo tiempo de ocurrencia no puede predecirse razón por la cual se recurre al estudio de probabilidad o frecuencia LINSLEY, Ray, KOHLER, Max, PAULUS, Joseph (23).

- **Inundación**

Acción y efecto de inundar con agua cubriendo los terrenos y a veces las poblaciones RAE (52).

- **Periodo de retorno**

Representación usada para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado, y en la presente investigación se utiliza para mostrar la probabilidad de que se presente una avenida con determinado caudal o superior en un año cualquiera WIKIPEDIA (37).

- **Transporte de sedimentos**

El transporte de sedimentos por los ríos es un proceso natural, como prueba de ello se tiene la migración de los ríos, formación y destrucción de los bordos e islas, como también los cambios de contorno en playas y costas GOBIERNO DE MÉXICO (38).

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques es directa, en la provincia de Chupaca – 2021.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a. La relación entre el caudal del río sin dique y con dique, es directa.
- b. La relación entre el transporte de sedimentos y el caudal de diseño del río Cunas es directa.

## **2.5. Variables**

### **2.5.1. Definición conceptual de las variables**

#### **Variable 1: Comportamiento hidráulico**

El comportamiento hidráulico de los ríos, se refiere a los caudales, niveles medios y extremos, velocidades de flujo, variaciones de fondo por socavación y sedimentación, capacidad de transporte de sedimentos y ataques en las márgenes de los ríos. Es importante reconocer que el comportamiento es parte de la hidráulica fluvial SILVA, G. (14).

#### **Variable 2: Implementación de diques**

Los diques, son obras localizadas en las laderas de los cauces del río, con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente de agua, existen revestimientos de hormigón o asfalto, mantas de hormigón, escollera con mortero y revestimiento flexible con escollera o rip rap, bloques de hormigón prefabricados y vegetación BUITRAGO, Catherine, OCHOA, Diana (15).

### **2.5.2. Definición operacional de las variables**

#### **Variable 1: Comportamiento hidráulico**

El comportamiento hidráulico del río Cunas fue evaluado mediante el análisis del caudal y el transporte de sedimentos; donde el análisis del caudal se estimó para diferentes periodos de retorno con el apoyo de distribuciones probabilísticas, en cuanto al transporte de sedimentos, estos se estimaron con los sólidos en suspensión y con los sólidos del fondo del cauce.

#### **Variable 2: Implementación de diques**

Referente a la implementación de diques, en la investigación se propuso el diseño de un dique enrocado longitudinal, es decir paralelo al cauce del río, cuyo diseño requiere de estimaciones del caudal en diferentes periodos de retorno para la profundidad de cimientos y altura de estructura.

En la siguiente tabla, se muestra la operacionalización de variables de la investigación.

Tabla 5. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	FUENTES	INSTRUMENTOS
<b>Variable 1:</b> Comportamiento hidráulico	El comportamiento hidráulico de los ríos, se refiere a los caudales, niveles medios y extremos, velocidades de flujo, variaciones de fondo por socavación y sedimentación, capacidad de transporte de sedimentos y ataques en las márgenes de los ríos. Es importante reconocer que el comportamiento es parte de la hidráulica fluvial SILVA, G. (14).	Caudal del río	Avenidas máximas	Registro de información histórica de caudales	Sistema de información de la zona de estudio.
			Tiempo de retorno		
		Transporte de sedimentos	Gasto de sólidos en suspensión	Registro de información del uso de equipo de medición	Equipo de medición de sedimentos en suspensión
			Gasto de sólidos de fondo	Registro de información del uso de equipo de medición	Equipo de medición de sólidos en el fondo
<b>Variable 2:</b> Implementación de diques	Los diques, son obras localizadas en las laderas de los cauces del río, con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente de agua, existen revestimientos de hormigón o asfalto, mantas de hormigón, escollera con mortero y revestimiento flexible con escollera o rip rap, bloques de hormigón prefabricados y vegetación BUITRAGO, Catherine, OCHOA, Diana (15).	Caudal de diseño	Caudal	Registro de información histórica de caudales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de información de la zona de estudio.</li> <li>• Herramienta de diseño: HEC-RAS.</li> </ul>
			Tiempo de retorno		
		Dique enrocado	Diseño hidráulico	Parámetros de diseño	Diseño y construcción de defensas ribereñas TERÁN, Ruben (19)
			Cálculo estructural	Parámetros de diseño	Diseño y construcción de defensas ribereñas TERÁN, Ruben (19)
	Estabilidad	Parámetros de diseño	Diseño y construcción de defensas ribereñas TERÁN, Ruben (19)		

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método de investigación**

BERNAL, Cesar (5), señala que: “El método científico se entiende como el conjunto de postulados, reglas y normas para el estudio y la solución de problemas de investigación, institucionalizados por la denominada comunidad científica”.

Conforme a lo señalado, la investigación corresponde al método científico ya que se busca determinar la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques. Para el cual se desarrolló en una secuencia ordenada los procedimientos para alcanzar el objetivo propuesto.

#### **3.2. Tipo de investigación**

VARGAS, Z. (39), afirma que: la investigación básica busca la utilización y aplicación de conocimientos adquiridos además de obtener otros tras la implementación y sistematización de la práctica basada en investigación.

Para VARGAS, Z. (39), la investigación correlacional tiene como finalidad medir el grado de relación que eventualmente pueda existir entre las variables X, Y, Z. La investigación realizada busca determinar la relación entre el comportamiento hidráulico y el

diseño de diques a través de sus dimensiones y con el apoyo del modelamiento mediante softwares, además de adquirir nuevos conocimientos referentes al tema de transporte de sedimentos.

### **3.3. Nivel de investigación**

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos, BAPTISTA, Pilar. (40), Menciona la posibilidad de contar con más de un nivel de investigación, según lo requiera el tema de investigación, razón por la cual la presente investigación corresponde al nivel de investigación: descriptivo – correlacional.

VALDERRAMA, Santiago (41), menciona que el nivel de investigación descriptivo requiere considerable conocimiento del área de estudio además de ofrecer la posibilidad de predicciones; para el cual el investigador hizo uso de los conocimientos adquiridos para desarrollar el tema de investigación y del mismo modo se contará con el aporte de un especialista en el tema para hacer posible la descripción de la información y resultados de la investigación.

GARCÍA, Maria, MARTINEZ, Pilar (42), mencionan que: la investigación de nivel correlacional informa la medida del cambio de una variable debido a la modificación en una u otras variables. Además de determinar la relación entre variables dentro de marcos naturales.

Conforme al párrafo anterior, la investigación corresponde al nivel descriptivo-correlacional ya que se determina la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques. Donde la modificación ocurrirá en el comportamiento del río debido a la inclusión de una obra longitudinal como el dique enrocado.

### **3.4. Diseño de investigación**

AGUDELO, L., AIGNEREN, J. (43), señalan que: la investigación de diseño no experimental, no manipula las variables por lo que observa cómo se dan los fenómenos en su contexto natural para su posterior análisis. Para el cual, la recolección de datos y el alcance del estudio es transversal ya que la recolección de datos se realizó en un determinado momento.

De acuerdo a lo mencionado, el diseño de la investigación corresponde al no experimental debido a que se miden las variables tal y como se encuentran en el entorno. Como el caudal del río Cunas en el tramo de estudio para posteriormente analizar su comportamiento con las estimaciones en diferentes periodos de retorno.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

ARIAS, J., VILLASÍS, M., MIRANDA, M. (44), señala que: “la población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados” (pág. 202).

Por lo cual, la población, está conformada por la cuenca del río Cunas.

#### **3.5.2. Muestra**

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos, BAPTISTA, Pilar. (40), señalan que: la muestra representa el subgrupo del universo o población del cual se recolectan datos representativos. La muestra de la investigación es no probabilística y por conveniencia, por lo que se encuentra delimitada por el tramo de 500 m del río Cunas en el Barrio San Miguel

de Pincha del distrito de Chupaca, en la provincia de Chupaca, departamento de Junín. Debido a la disponibilidad y cercanía de estudio para el investigador.

En la figura se puede apreciar el tramo de estudio de la investigación.



Figura 8. Tramo de estudio, Barrio San Miguel de Pincha

Fuente: Google Earth

### 3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.6.1. Observación directa

Al recopilar datos, la técnica de la observación implica determinar propiedades a través de la percepción; en este sentido, la técnica será más relevante cuando se realice la visita de campo y se discuta a la luz de los hallazgos de la investigación.

### **3.6.2. Análisis de documentos**

Implica la recopilación de datos bibliográficos, que pueden estar presentes en forma impresa o digital. La información recopilada se utilizará para crear una metodología que permita organizar dichos datos y estimar el caudal del río Cunas.

### **3.6.3. Trabajo en gabinete**

Se trata de un procesamiento de datos, técnicamente hablando en gabinete, que inició con la organización de los datos de la Estación Huayao. Posteriormente se realizaron distribuciones probabilísticas para estimar el caudal máximo del río Cunas. Además del diseño del dique en el tramo de 500 m del río Cunas, así como la evaluación del transporte de sedimentos de fondo por diversos métodos.

### **3.7. Validación e instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos son las fichas de registro y las hojas de cálculo para obtener el caudal de diseño del río Cunas y el cálculo para el diseño del dique enrocado.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Presentación de resultados

##### 4.1.1. Caudal del río Cunas

Para el cálculo del caudal del río Cunas, se empleó el método racional el cual requiere de información como el área de la cuenca, longitud del cauce, pendiente del cauce, número de curva según el tipo de tierras que se encuentran cerca al recorrido del río y precipitación máxima.

La tabla muestra la información inicial para el desarrollo del cálculo del caudal del río Cunas, en el cual se puede apreciar el área de la cuenca, longitud del cauce, pendiente, Po (Precipitación inicial) y CN (Número de curva) que depende del uso de suelo y tipo de material del suelo de la zona de estudio que para este caso se utilizó el número de curva 62 para suelos del grupo A donde el agua se infiltra rápidamente y el uso del suelo es tierra cultivada con tratamiento.

Tabla 6. Información inicial para el cálculo del caudal del río Cunas

<b>Área cuenca</b>	1750	Km <sup>2</sup>
<b>Longitud del cauce</b>	65.00	Km
<b>Pendiente del cauce</b>	0.010	m/m
<b>Po</b>	30.65	
<b>CN</b>	62	

En la siguiente tabla, se muestran los resultados del cálculo del caudal del río Cunas, por el método racional. Por otro lado, se debe mencionar que en el anexo 3 se adjunta el registro de precipitación máxima de la estación Huayao, la cual es la más cercana al río Cunas.

Tabla 7. Caudal del río Cunas – método racional

N°	Año	PP máx.24h	Tc (h)	K	K <sub>A</sub>	P	I	C	Q
		mm	Tiempo de concentración	Coefficiente de uniformidad	Coef. De simultaneidad	PP máx. corregida de la cuenca	Intensidad de la precipitación	Coefficiente de escorrentía	Caudal
1	1994	21.6	17.33	1.72	1.07	23.05	0.65	0.05	27.55
2	1995	28.0	17.33	1.72	1.07	29.87	0.84	0.01	10.17
3	1996	26.2	17.33	1.72	1.07	27.95	0.78	0.02	16.11
4	1997	29.5	17.33	1.72	1.07	31.47	0.88	0.01	4.61
5	1998	25.7	17.33	1.72	1.07	27.42	0.77	0.03	17.62
6	1999	27.7	17.33	1.72	1.07	29.55	0.83	0.02	11.22
7	2000	24.2	17.33	1.72	1.07	25.82	0.72	0.04	21.76
8	2001	29.2	17.33	1.72	1.07	31.15	0.87	0.01	5.77
9	2002	30.3	17.33	1.72	1.07	32.33	0.91	0.00	1.42
10	2003	26.4	17.33	1.72	1.07	28.17	0.79	0.02	15.49
11	2004	37.6	17.33	1.72	1.07	40.12	1.12	0.04	34.54
12	2005	26.2	17.33	1.72	1.07	27.95	0.78	0.02	16.11
13	2006	31.9	17.33	1.72	1.07	34.04	0.95	0.01	5.41
14	2007	32.4	17.33	1.72	1.07	34.57	0.97	0.01	7.67
15	2008	19.9	17.33	1.72	1.07	21.23	0.60	0.06	30.37
16	2009	40.7	17.33	1.72	1.07	43.42	1.22	0.05	53.39
17	2010	27.1	17.33	1.72	1.07	28.91	0.81	0.02	13.24
18	2011	36.5	17.33	1.72	1.07	38.94	1.09	0.03	28.35
19	2012	23.4	17.33	1.72	1.07	24.97	0.70	0.04	23.73
20	2013	24.5	17.33	1.72	1.07	26.14	0.73	0.03	20.97

Tras obtener el caudal del río Cunas para cada año de registro, se procedió a estimar el caudal de diseño para diferentes periodos de retorno. Cabe resaltar que uno de los caudales de diseño correspondió al periodo de 9 años que señala el caudal actual en el río Cunas. Del mismo modo, se debe mencionar que se estimaron los caudales de diseño por el método Gumbel y Nash, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8. Caudal de diseño - Gumbel y Nash

Periodo de retorno	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
	M. Nash	M. Gumbel
<b>Qd(0a)</b>	18.27	
<b>Qd(9a)</b>	42.20	51.23
<b>Qd(10a)</b>	43.48	52.46
<b>Qd(25a)</b>	54.45	63.19
<b>Qd(50a)</b>	62.65	71.31
<b>Qd(100a)</b>	70.85	79.43
<b>Qd(140a)</b>	74.83	83.37
<b>Qd(500a)</b>	89.94	98.28

Los cálculos realizados por cada método, se adjuntan en el anexo 4.

#### 4.1.2. Transporte de sedimentos

Para el transporte de sedimentos en el río Cunas, se consideró el transporte de sedimentos de fondo (gB) ya que el material representativo del cauce del río fueron arenas. Para el cual se consideró las ecuaciones de Meyer Peter y Muller, Van Rijn, Bagnolds y Yalin. En las siguientes líneas se muestran los datos iniciales así como los cálculos respectivos del transporte de sedimentos de fondo.

De acuerdo con el ensayo de textura, se pudo determinar el diámetro de las partículas. En las siguientes tablas, se puede apreciar el porcentaje pasante de los materiales (arena, limo y arcilla) de los puntos de inicio y fin del tramo de estudio del río Cunas. El informe de ensayo, se adjunta en el anexo 7.

Tabla 9. Tamaño de partículas – punto de inicio

<b>Textura</b>	<b>Diámetro de partícula</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Arena</b>	2 - 0.05 mm	100	95	95	90
<b>Limo</b>	0.05 - 0.002 mm	0	0	0	0
<b>Arcilla</b>	< a 0.002 mm	0	5	5	10

Tabla 10. Tamaño de partículas – punto final

<b>Textura</b>	<b>Diámetro de partícula</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Arena</b>	2 - 0.05 mm	100	100
<b>Limo</b>	0.05 - 0.002 mm	0	0
<b>Arcilla</b>	< a 0.002 mm	0	0

Del mismo modo, en la siguiente tabla se muestran los datos iniciales para los cálculos de transporte de sedimentos de fondo.

Tabla 11. Datos iniciales – transporte de sedimentos

<b>D<sub>35</sub></b> =	0.0015	m
<b>D<sub>m</sub></b> =	0.002	m
<b>D<sub>90</sub></b> =	0.003	m
<b>U</b> =	1.59	m/s
<b>S</b> =	0.00182	m/m
<b>R</b> =	2.83	
<b>γ<sub>s</sub></b> =	2650	Kg/m <sup>3</sup>
<b>γ</b> =	1000	Kg/m <sup>3</sup>

Cabe resaltar que los datos iniciales de velocidad, pendiente y radio hidráulico corresponde al periodo de retorno de 140 años del río Cunas. El peso específico del material corresponde a una arena de 2 mm de diámetro al cual le corresponde un ángulo de fricción ( $\phi$ ) de 34°.

En las líneas siguientes, se muestran los cálculos iniciales como fuerza tractiva, esfuerzo cortante en el fondo y velocidad de corte.

- **Fuerza tractiva crítica**

$$\tau_c = 0.047(\rho_s - \rho)gD_m$$

$$\tau_c = 1.522 \quad \text{N/m}^2$$

$$\tau_c = 0.155 \quad \text{Kg/m}^2$$

- **Esfuerzo cortante en el fondo**

$$\tau_0 = \rho gRS$$

$$\tau_0 = 50.527 \quad \text{N/m}^2$$

$$\tau_0 = 5.151 \quad \text{Kg/m}^2$$

- **Velocidad de sedimentación**

$$\text{Si: } \tau_0 > \tau_c$$

$$\omega = \sqrt{\frac{36v^2}{D^2} + \frac{2g}{3} * \frac{\rho_s - \rho}{\rho} D} - \frac{6v}{D}$$

$$\omega = 0.144 \quad \text{m/s}$$

- **Velocidad de corte**

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{gRS}$$

$$u_* = 0.225 \quad \text{m/s}$$

$$\frac{u_*}{\omega} = \frac{0.225}{0.144} = 1.563$$

$$Re_* = \frac{u_* D_m}{v}$$

$$Re_* = 450$$

#### 4.1.2.1. Meyer, Peter y Muller

a) Esfuerzo de corte

$$\tau_* = \frac{\gamma RS}{(\gamma_s - \gamma)D} = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)D}$$

$$\tau_* = 1.561 \quad \text{Kg/m}^2$$

b) Cálculo de  $\varphi$

$$\left(\frac{n_s}{n}\right)^{3/2} \tau_* = 0.047 + 0.25\varphi^{2/3}$$

$$n_s = \frac{D_{90}^{1/6}}{26}$$

$$n_s = 0.015$$

$$n = \frac{1}{U} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$n = 0.054$$

$$\therefore \varphi = 0.583$$

c) Cálculo de  $q_B$  (Transporte de sedimento de fondo)

$$\varphi = \frac{q_B}{\gamma_s} \left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho}\right)^{1/2} \left(\frac{1}{gD^3}\right)^{1/2}$$

$$\therefore q_B = 0.556 \quad \text{Kg/m.s}$$

#### 4.1.2.2. Van Rijn

a) Coeficiente de Chezy

$$C'' = 18 \log \frac{12R}{3D_{50}}$$

$$C'' = 67.55$$

b) Esfuerzo cortante de granos

$$\tau'_b = \gamma \left(\frac{U}{C''}\right)^2$$

$$\tau'_b = 0.554 \quad \text{Kg/m}^2$$

c) Parámetro de partículas

$$D_* = D_{50} \left(\frac{g}{v^2} \frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)^{1/3}$$

$$D_* = 50.592$$

d) Velocidad de corte

$$u_* = \sqrt{gRS}$$

$$u_* = 0.225 \quad \text{m/s}$$

e) Número de Reynolds de corte

$$Re_* = \frac{u_* D}{\nu}$$

$$Re_* = 450$$

f) Esfuerzo de corte crítico de granos

$$\tau_{*c} = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma)D}$$

$$\tau_{*c} = 0.06 \text{ Kg/m}^2 \text{ (Diagrama de Shields)}$$

$$\therefore \tau_c = 0.198 \quad \text{Kg/m}^2$$

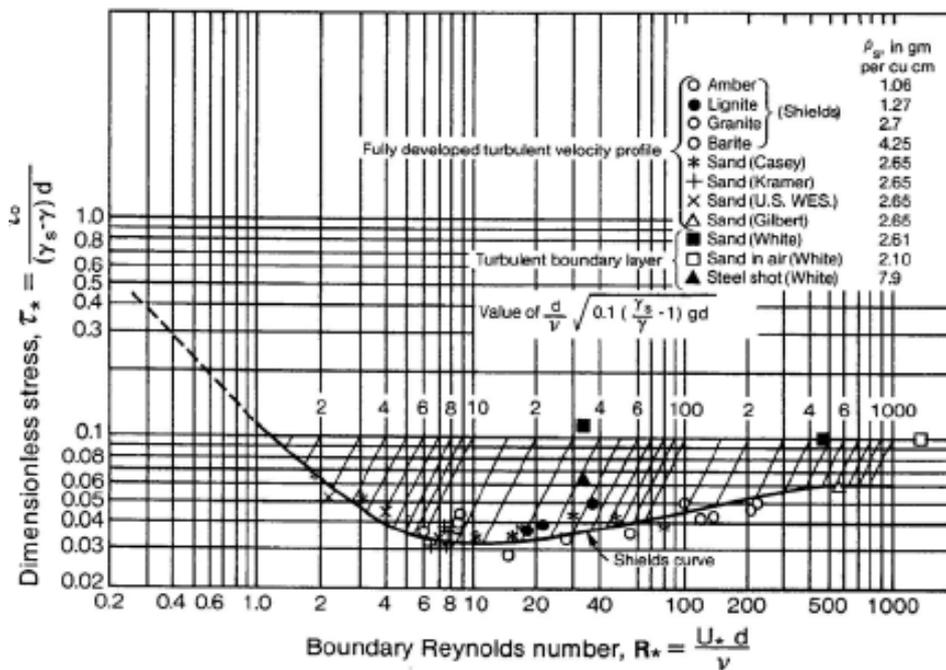


Figura 9. Diagrama de Shields

Fuente: (2)

g) Parámetro del estado de transporte

$$T = \frac{(\tau'_b)^2 - (\tau_c)^2}{(\tau_c)^2}$$

$$T = 6.830$$

h) Cálculo de  $q_B$  (Transporte de sedimento de fondo)

$$\frac{q_B}{g^{1/2} D_{50}^{1.5} \left( \frac{\rho}{\rho_s - \rho} \right)^2} = 0.053 \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}}$$

$$\therefore q_B = 0.000332 \text{ m}^3/\text{m.s}$$

$$q_B = 0.000332 * \gamma_s$$

$$\therefore q_B = 0.880 \text{ Kg/m.s}$$

#### 4.1.2.3. Bagnolds

a) Cálculo de  $\tau_0$

$$\tau_0 = \rho g R S$$

$$\tau_0 = 50.527 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_0 = 5.151 \text{ Kg/m}^2$$

b) Valores

$$\tan \phi = \tan(34) = 0.67$$

$$\tan \theta = S = 0.00182$$

$$\cos \theta = 1.000$$

$$e_b = 0.1$$

c) Cálculo de  $q_B$  (Transporte de sedimento de fondo)

$$q_B = \frac{e_b \tau_0 U}{(\gamma_s - \gamma) \cos \theta (\tan \phi - \tan \theta)}$$

$$\therefore q_B = 0.000743 \text{ m}^3/\text{m.s}$$

$$q_B = 0.000743 * \gamma_s$$

$$\therefore q_B = 1.968 \text{ Kg/m.s}$$

#### 4.1.2.4. Yalin

a) Datos

$$\tau_0 = 5.151 \text{ Kg/m}^2$$

$$\tau_* = 1.561 \text{ Kg/m}^2$$

$$Re_* = 450$$

$$\tau_{*c} = 0.06 \text{ Kg/m}^2$$

b) Cálculo de  $a$

$$a = 2.45 \frac{\sqrt{\tau_{*c}}}{\left(\frac{\rho_s}{\rho}\right)^{0.4}}$$

$$a = 0.406$$

c) Cálculo de  $S_\tau$

$$S_\tau = \left(\frac{\tau_*}{\tau_{*c}} - 1\right)$$

$$S_\tau = 25.013$$

d) Cálculo de  $\varphi$

$$\varphi = C\sqrt{\tau_*} S_\tau \left(1 - \frac{2.307}{aS_\tau} \log(1 + aS_\tau)\right)$$

$$\varphi = 15.124$$

e) Cálculo de  $q_B$  (Transporte de sedimento de fondo)

$$q_B = \varphi \gamma_s \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)^{1/2} (gD^3)^{1/2}$$

$$\therefore q_B = 14.423$$

$$\therefore q_B = 1.470 \quad \text{Kg/m.s}$$

En la figura, se muestra los valores obtenidos del transporte de sedimentos de fondo.

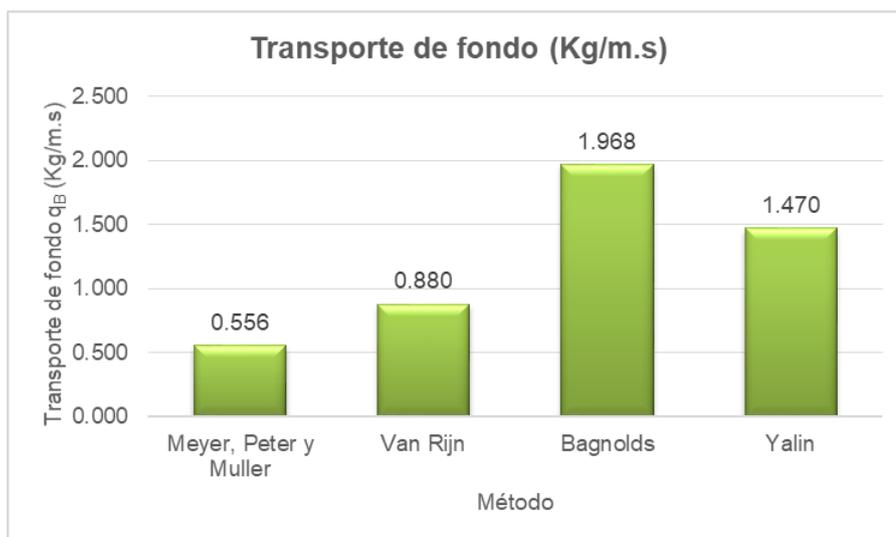


Figura 10. Transporte de fondo ( $q_B$ )

### 4.1.3. Diseño de dique enrocado

Antes de realizar el diseño del dique enrocado, es necesario calcular la profundidad de socavación para el periodo de retorno de 500 años, tal como lo recomienda el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). En la siguiente tabla, se muestra la profundidad de socavación calculada y en el anexo 5 se encuentran los cálculos correspondientes.

Tabla 12. Profundidad de socavación

<b>Profundidad de socavación</b>		
<b>T</b>	500	años
<b>Qd</b>	98.28	m <sup>3</sup> /s
<b>Be</b>	35.7	m
<b>Hm</b>	1.93	m
<b>alfa</b>	1.26	
<b>beta</b>	0.82	
<b>dm</b>	25	mm
<b>x</b>	0.31	
<b>1/1+x</b>	0.76	
<b>Hs</b>	1.74	m
<b>Vr</b>	1.62	m/s
<b>Ve</b>	1.62	m/s
<b>Socavación</b>	0.10	m
<b>Socavación</b>	1.00	m

Después de haber calculado la profundidad de socavación. Se continuó con el diseño del dique enrocado. El cual requiere el periodo de retorno de diseño de 140 años, tal como lo recomienda el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC. Así mismo, se debe mencionar que el caudal de diseño correspondiente para los 140 años fue 83.37 m<sup>3</sup>/s, el cual se obtuvo de la estimación del caudal del río Cunas por el método de Gumbel.

- **Altura del muro**

$$H_m = t + Bl$$

$$Bl = \phi \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

H<sub>m</sub>: Altura del muro en m.

t: Tirante normal = 0.90 m

Bl: Bordo libre

v: Velocidad media del agua = 1.59 m/s

g: Gravedad

Ø: Coeficiente en función de la máxima descarga y pendiente. La tabla siguiente muestra los valores del coeficiente Ø.

Tabla 13. Valores de Ø

Caudal máximo m <sup>3</sup> /seg	Coeficiente
<b>3000 - 4000</b>	2.00
<b>2000 - 3000</b>	1.70
<b>1000 - 2000</b>	1.40
<b>500 - 1000</b>	1.20
<b>100 - 500</b>	<b>1.10</b>

Fuente: TERÁN, Ruben (19)

Como el caudal de diseño es 83.37 m<sup>3</sup>/s, se optó por considerar el coeficiente 1.10 para el caudal que oscila entre 100 y 500 m<sup>3</sup>/s.

$$\therefore Bl = 1.10 \left( \frac{1.59^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$\therefore Bl = 0.14 \text{ m}$$

$$\therefore H_m = 0.90 + 0.14$$

$$\therefore H_m = 1.04 \text{ m}$$

$$\therefore H_m = 2.00 \text{ m}$$

- **Diámetro de la roca**

**Factor de corrección**

$$f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\text{sen}^2 \emptyset}}$$

Donde:

f: Factor de corrección

$\alpha$ : Ángulo de talud = 26.57° (Z=2)

$\emptyset$ : Ángulo de fricción interna del material = 40° (peso específico = 2.61 Tn/m<sup>3</sup>) como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14. Valores de ángulo de fricción interna para suelos

Tipo de suelo o terreno	Grados	Peso específico (ton/m <sup>3</sup> )
Compacta, bien graduada, uniforme	40 - 45	1.44
Uniforme, gruesa, arena fina o suelta	35 - 40	1.60
Arena suelta bien graduada	35 - 40	1.84
Arena fina seca	30 - 35	1.92
Común mixta	35 - 40	1.76
Grava	40	2.24
Compacta arenosa	40 - 45	1.64
Suelta arenosa	35 - 40	1.92
Piedra partida o en fragmentos	35 - 45	1.60 - 2.00
Yeso fragmentado	35 - 45	1.76 - 2.24
Bloques de arcilla seca	30	1.76
Bloques de arcilla húmeda	40	1.84
Arcilla compacta	10 - 20	1.92
Arcilla blanda	5 - 7	1.60
Material calcáreo de zona de deslizamiento	20 - 27	1.76
Material de dalla	14 - 22	2.00
Suelo de cobertura	30 - 35	1.60
Granito	30 - 50	2.61
Cuarcita	30 - 45	2.61
Arenisca	30 - 45	1.95
Caliza	30 - 50	3.17
Pórfido	30 - 40	2.58
Yeso	30 - 40	1.76

Fuente: (Macaferrri, 2008)

$$\therefore f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 26.57}{\text{sen}^2 40}}$$

$$\therefore f = 0.72$$

Entonces la densidad relativa del material se calculó con la siguiente ecuación.

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$$

Donde:

$\Delta$ : Densidad relativa del material

$\gamma_s$ : Densidad de la roca en  $\text{Kg/m}^3 = 2\,610 \text{ Kg/m}^3$

$\gamma$ : Densidad del agua en  $\text{Kg/m}^3 = 1\,000 \text{ Kg/m}^3$

$$\therefore \Delta = \frac{2610 - 1000}{1000}$$

$$\therefore \Delta = 1.61 \text{ Kg/m}^3$$

#### **Diámetro medio de la roca**

$$d_{50} = \frac{b}{\Delta} * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{f}$$

Donde:

$b$ : Factor para condiciones de mucha turbulencia, se adoptó el valor de 1.4

$$\therefore d_{50} = \frac{1.4}{1.61} * \frac{1.59^2}{2 * 9.81} * \frac{1}{0.72}$$

$$\therefore d_{50} = 0.15 \text{ m}$$

Para efectos de estabilidad, se consideró el diámetro medio de la roca igual a 0.30 m.

En la siguiente figura, se puede observar el dimensionamiento del dique enrocado propuesto.

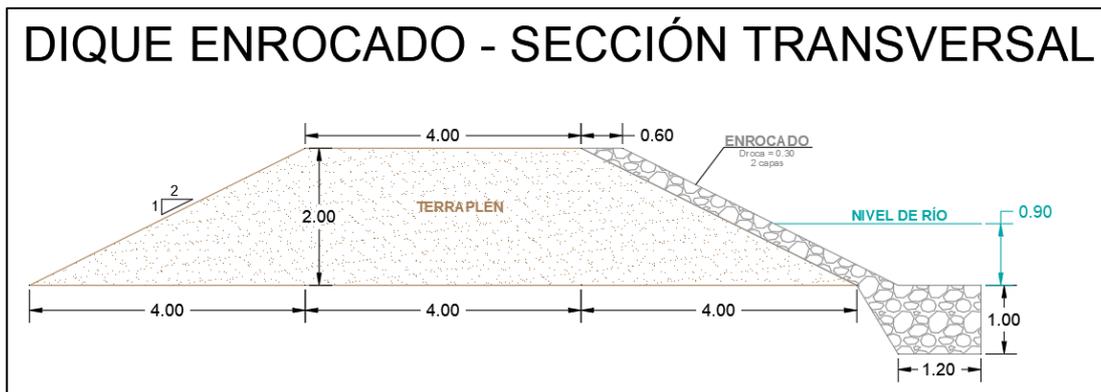


Figura 11. Dimensionamiento de enrocado

- **Cálculo de estabilidad**

**Probabilidad de que la roca se mueva**

$$Froca_{D50} = 0.56 * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{D50} * \frac{1}{\Delta}$$

$$\therefore Froca_{D50} = 0.56 * \frac{1.59^2}{2 * 9.81} * \frac{1}{0.30} * \frac{1}{1.61}$$

$$\therefore Froca_{D50} = 0.15$$

$$\frac{\tau_c}{t} = \frac{1}{Froca}$$

$$\frac{\tau_c}{t} = \frac{1}{0.15} = 6.67 > 0.99$$

Lo que indica que hay seguridad con y la roca colocada, por lo que es estable.

También se calculó el peso de la roca.

$$W_{50} = \Delta * \gamma_s * D_{50}^3$$

$$\therefore W_{50} = 1.61 * 2610 * 0.30^3$$

$$\therefore W_{50} = 113.46 \text{ Kg}$$

### Fuerza resistente

$$R = W * \tan\phi$$

Donde:

R: Fuerza resistente en Kg/m

W: Peso del terraplén en Kg

$\phi$ : Ángulo de fricción interna. En la tabla, se muestran los valores del peso específico y ángulo de fricción de suelos.

Tabla 15. *Peso específico y ángulo de fricción de suelos*

Clase de terreno	$\gamma_s$ (Ton/m <sup>3</sup> )	$\alpha$
Tierra de terraplén	1.40	37°
Tierra de terraplén húmeda	1.60	45°
Tierra de terraplén empapada	<b>1.80</b>	<b>30°</b>
Arena seca	1.60	33°
Arena húmeda	1.80	40°
Arena empapada	2.00	25°
Légamo diluvial seco	1.50	43°
Légamo diluvial húmedo	1.90	20°
Arcilla seca	1.60	45°
Arcilla húmeda	2.00	22°
Gravilla seca	1.83	37°
Gravilla húmeda	1.86	25°
Grava de cantos vivos	1.80	45°
Grava de cantos rodados	1.80	30°

Fuente: TERÁN, Ruben (19)

$$\therefore R = \left( \left( \frac{12.0 + 4.0}{2} * 2.00 \right) * 1800 \right) * \tan 30^\circ$$

$$\therefore R = 8313.84 \text{ Kg/m}$$

### Presión de flujo

$$P = \frac{P_w * H^2}{2}$$

Donde:

P: Presión del agua ejercida al terraplén.

Pw: Peso específico del agua en  $\text{Kg/m}^3 = 1\,000\ \text{Kg/m}^3$

H: Tirante de agua en  $\text{m} = 0.90\ \text{m}$

$$\therefore P = \frac{1000 * 0.90^2}{2}$$

$$\therefore P = 405\ \text{Kg/m}$$

Comparando los resultados obtenidos, se obtuvo que la fuerza resistente es 20.528 veces mayor a la presión del agua; es decir  $F. Resist. > 20.528 P. agua.$

Entonces el enrocado es estable.

#### 4.1.4. Caudal del río Cunas sin dique y con dique

La tabla, siguiente muestra la variación de altura de lámina de agua para el caudal del río estimado a 140 años de periodo de retorno. Ya que el caudal del río Cunas se mantiene para los diferentes periodos de retorno y el nivel de agua varía con la colocación de dique enrocado en ambas márgenes del río.

Tabla 16. Variación de lámina del río Cunas sin y con dique enrocado

Tramo	$\Delta$ Lámina de agua	
	Sin dique	Con dique enrocado
<b>0+500</b>	2.21	2.17
<b>0+450</b>	1.80	1.77
<b>0+400</b>	1.44	1.41
<b>0+350</b>	1.93	1.9
<b>0+300</b>	1.40	1.37
<b>0+250</b>	1.76	1.73
<b>0+200</b>	1.52	1.49
<b>0+150</b>	1.28	1.25
<b>0+100</b>	1.46	1.44
<b>0+050</b>	1.29	1.27
<b>0+000</b>	1.15	1.13

La figura, muestra la variación de lámina de agua en las progresivas del tramo de 500 m del río Cunas.

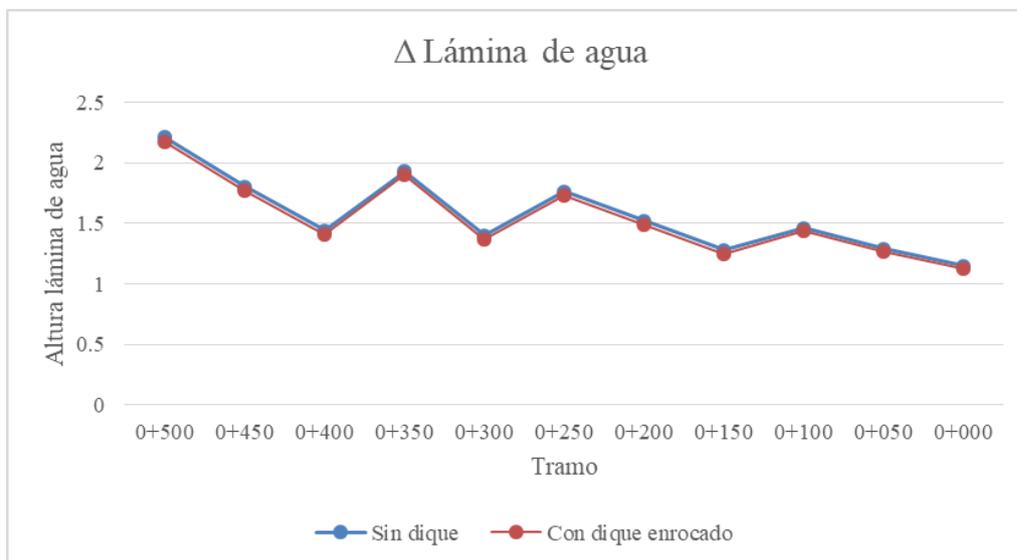


Figura 12. Variación de lámina de agua sin y con dique enrocado

Cabe resaltar que, los perfiles de salida de la simulación del tramo del río Cunas y los resultados de salida, se adjuntan en los anexos 8 y 9 respectivamente.

#### 4.1.5. Transporte de sedimentos y la implementación de diques

En la tabla se muestra el caudal de diseño y transporte de sedimentos de fondo para diferentes periodos de retorno.

Para el cual fue necesario el cálculo del radio hidráulico, velocidad y pendiente del tramo en estudio del río Cunas. Cabe mencionar que en el anexo 7, se muestran los cálculos del transporte de sedimentos de fondo para diferentes periodos de retorno.

Tabla 17. Sedimento de fondo y caudal de diseño

Periodo de retorno (años)	Qrío (m <sup>3</sup> /s)	q <sub>B</sub> (Kg/m.s)
9	51.23	0.488
50	71.31	0.534
100	79.43	0.549
140	83.37	0.556
500	98.28	0.579

En la figura, se puede apreciar la representación gráfica de la tabla de caudal de diseño y transporte de sedimentos de fono.

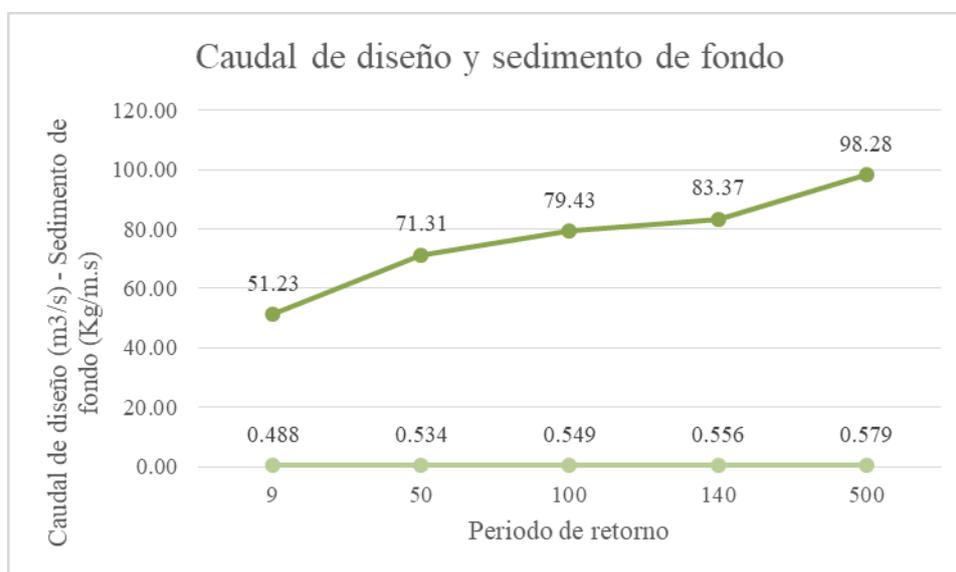


Figura 13. Sedimento de fondo y caudal de diseño

## 4.2. Prueba de hipótesis

### 4.2.1. Caudal del río Cunas y la implementación de diques

Para la prueba de hipótesis de este ítem, se consideró la lámina de agua del caudal del río sin dique enrocado y la lámina de agua del río con dique enrocado. Las hipótesis a comprobar en este objetivo específico fueron:

*H<sub>0</sub>: La relación entre el caudal del río sin dique y con dique, es directa*

*H0: La relación entre el caudal del río sin dique y con dique, no es directa*

De acuerdo con la tabla adjunta en el ítem 4.1.1., se desarrolló la correlación de Pearson para determinar la relación entre el caudal del río y la implementación de dique enrocado en ambas márgenes del río. La siguiente tabla, muestra la estadística de regresión para los resultados de este objetivo específico.

Tabla 18. *Estadística de regresión – lámina de agua*

<b><i>Estadísticas de la regresión</i></b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99992
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.99984
R <sup>2</sup> ajustado	0.99982
Error típico	0.00422
Observaciones	11

Interpretación:

Según los resultados de la tabla, se aprecia que el coeficiente de correlación múltiple (R) fue 0.99992 el cual señala una correlación muy alta entre el nivel de agua del río sin dique y con dique. Referente al coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) este fue 0.99984 el cual señala que el 99.984% de la variación de altura de lámina de agua depende la implementación de diques enrocados en ambas márgenes del río Cunas. Así mismo, se realizó, la dispersión de los datos, donde la función lineal se ajusta a la distribución de los datos.

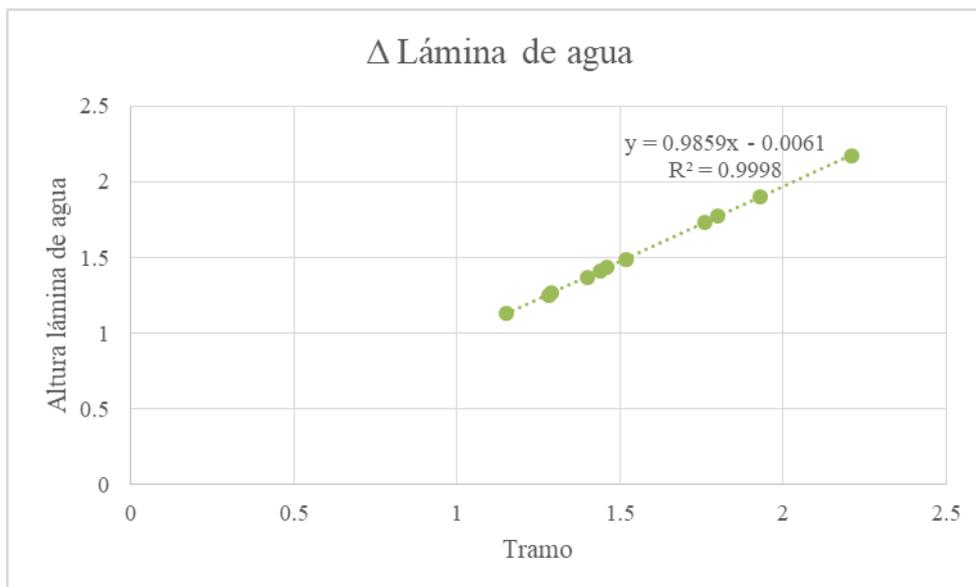


Figura 14. Dispersión de datos – función lineal – lámina de agua

Para finalizar con el análisis estadístico, se obtuvo el análisis de varianza que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 19. Estadística de regresión – lámina de agua

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.99873038	0.998730375	55991.74381	2.1879E-18
Residuos	9	0.00016053	1.78371E-05		
Total	10	0.99889091			

Interpretación:

De acuerdo con el valor crítico de F de 2.1879 E-18, el cual es menor a 0.05. Se acepta la hipótesis nula de que la relación entre de agua sin dique y con dique es directa. Por lo que es posible afirmar que el nivel de agua del río disminuye con la implementación de dique enrocado en las márgenes derecha e izquierda del río.

#### 4.2.2. Transporte de sedimentos y la implementación de diques

Para el desarrollo de la prueba de hipótesis se consideró el caudal del río Cunas estimado para los diferentes periodos de retorno, entre ellos el caudal de diseño para el dique

enrocado, junto con el transporte de sedimentos de fondo para cada periodo de retorno estimado. Las hipótesis a comprobar en este objetivo específico fueron las siguientes.

*H0: La relación entre el transporte de sedimentos y el caudal de diseño del río Cunas, es directa.*

*H1: La relación entre el transporte de sedimentos y el caudal de diseño del río Cunas, no es directa*

De acuerdo con la tabla 17, se desarrolló la correlación de Pearson para determinar la relación del transporte de sedimentos de fondo y el caudal de diseño en el río Cunas. En la siguiente tabla, se puede apreciar la estadística de regresión.

Tabla 20. Estadística de regresión

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.995
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.990
R <sup>2</sup> ajustado	0.986
Error típico	0.004
Observaciones	5

Interpretación:

De acuerdo con la tabla mostrada, se observa que el coeficiente correlación múltiple (R) fue 0.995 el cual indica una correlación muy alta entre el transporte de sedimentos de fondo y el caudal de diseño. El coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) fue 0.990 el cual indica que el 99.000% del transporte de sedimentos de fondo depende del caudal de diseño del río Cunas conforme a las estimaciones realizadas. Por lo que se desarrolló la distribución de dispersión de los datos obtenidos, como se muestra en la siguiente figura.

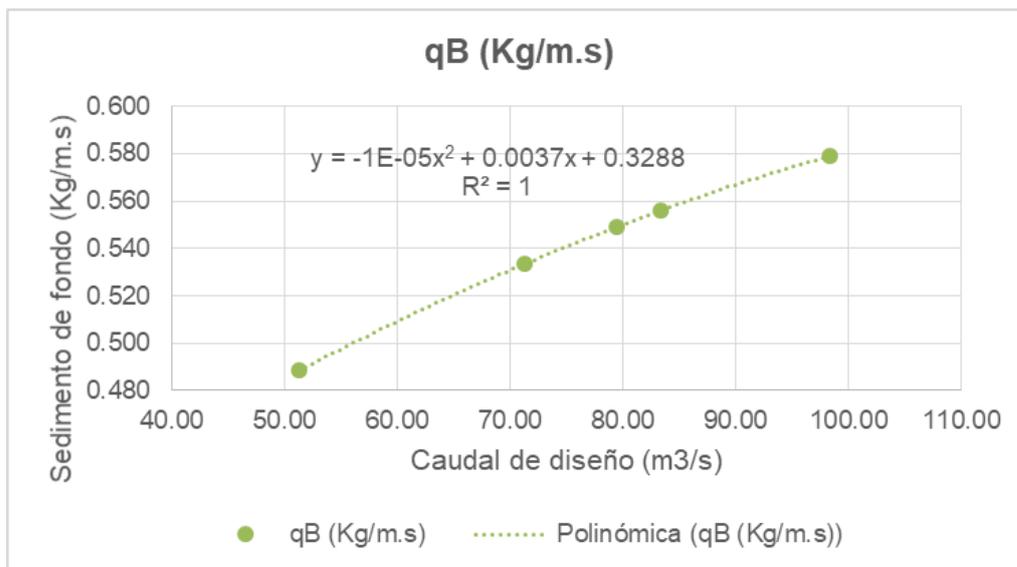


Figura 15. Dispersión de datos – función polinómica – transporte de sedimentos

De la figura mostrada, se puede apreciar que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue 1.00 el cual indica que el 100% del transporte de sedimentos depende del caudal de diseño para diferentes periodos de retorno del río Cunas.

Posteriormente se obtuvo el análisis de varianza que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 21. Análisis de varianza – transporte de sedimentos

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.004506	0.00451	285.591	0.00045
Residuos	3	0.000047	0.00002		
Total	4	0.004553			

Interpretación:

De acuerdo con la tabla de análisis de varianza, el valor crítico de F fue 0.00045 el cual es menor a 0.05, el cual indica aceptar la hipótesis nula de que la relación entre el transporte de sedimentos y el caudal de diseño es directa. Por lo que, se puede inferir que el

transporte de sedimentos depende del caudal del río Cunas, el cual incrementa su caudal para los diferentes periodos de retorno estimados.

De esta forma, se debe mencionar que la estadística de prueba corresponde a una prueba paramétrica. Debido a que los puntos de estos de estudio fueron pequeños, 5 puntos para caudal de diseño y sedimento de fondo respectivamente.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Discusión de resultados**

##### **5.1.1. Caudal del río Cunas**

El caudal del río Cunas, se calculó por medio del método racional, para el cual previamente se debe recolectar la información de la precipitación en la zona de estudio y que correspondió a la estación Huayao. Posteriormente se recopiló la información de área de la cuenca del río Cunas que fue 1 750 Km<sup>2</sup>, con una longitud de cauce de 65 Km, pendiente de cauce de 0.010 m/m, y número de curva (CN) de 62 debido a que el terreno colindante al río son tierras cultivadas con tratamiento perteneciente al grupo A de suelos con capacidad de infiltración.

Cabe mencionar que, el caudal obtenido corresponde a cada año de registro que va desde el año 1994 al 2013, por lo que posteriormente se calculó el caudal para el año de estudio 2022 que fue 51.23 m<sup>3</sup>/s según la estimación por el método Gumbel.

Así mismo, se estimó el caudal por medio de los métodos Gumbel y Nash, de los cuales el método Gumbel evidenció valores mayores a los del método Nash. Por lo que, se consideró los valores del método Gumbel para el cálculo de socavación y el diseño del dique enrocado.

De acuerdo con el antecedente de TRUJILLO, H., VELÁSQUEZ, J. (1), donde realizó el estudio hidráulico y simulación del río Jequetepeque en un tramo de 19 Km de longitud, para los periodos de retorno de 10; 25; 50 y 100 años; mencionaron que existe la posibilidad de inundación debido a que el caudal del río se incrementa, así como el nivel de agua y ancho de espejo de agua. Es así que, en la investigación también el caudal del río Cunas se incrementa para los diferentes periodos de retorno de 10; 25; 50; 100; 140 y 500 años.

Por otro lado el antecedente de LUJANO, E. (51), donde realizó el análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú, en la que identificaron tres regiones homogéneas y se obtuvo el incremento del índice de avenida para diferentes periodos de retorno. En la investigación, también se pudo observar el incremento de las avenidas para diferentes periodos de retorno, sin embargo sería de gran referencia la estimación de caudales de otras subcuencas cercanas a la cuenca del río Cunas o incluso el análisis de crecidas de toda la cuenca del Cunas para observar con más detalle el efecto de los años en las crecidas de los ríos, ya que según el estudio de SENAMHI del año 2007, en la cuenca del Cunas existen periodos secos, normales y húmedos.

Así mismo, se tiene el antecedente de LIENDO, D., NEYRA, A. (11), donde buscaron incrementar la fiabilidad de las estimaciones de caudales de ríos perteneciente a la vertiente del Pacífico, para los cuales aplicaron modelos probabilísticos como Normal, Log – Normal, Extrema tipo I, Pearson III y Log – Pearson III, siendo la distribución Extrema tipo I (Gumbel) la que mejor se adapta al análisis para estimar crecidas máximas o caudales de ríos. Es así que en la investigación, se pudo comprobar el buen análisis de la distribución Extrema tipo I o también conocido como método Gumbel, ya que se consideraron los valores

de caudales de este método para el cálculo de profundidad de socavación y diseño de dique enrocado en la investigación.

### **5.1.2. Transporte de sedimentos en el río Cunas**

Para el análisis del transporte de sedimentos del río Cunas, se consideró el transporte de sedimentos de fondo que también se conoce como arrastre en la capa de fondo, como mencionan Según MAZA, Jose, GARCÍA, Manuel (10), que el arrastre de fondo es el material arrastrado dentro de la capa de fondo, el cual además depende de las características hidráulicas de la corriente, geometría del cauce y propiedades físicas del material de fondo.

Razón por la cual se tuvo en cuenta el diámetro de la partícula  $D_m$  de 2 mm (0.002 m), peso específico del material y peso específico del agua; junto con las características hidráulicas de la corriente como la pendiente, radio hidráulico y velocidad de agua, que se muestra en la tabla 11.

Posteriormente se calculó el transporte de sedimentos de fondo por 4 métodos, los cuales fueron; Meyer, Peter y Muller, Van Rijn, Bagnolds y Yalin. Cuyos resultados fueron diferentes debido a sus consideraciones como el radio hidráulico, pendiente del cauce y velocidad del cauce que a la vez estos varían de acuerdo al caudal del río estimado para los diferentes periodos de retorno.

Es así que en la figura 9 de transporte de fondo se puede apreciar que el transporte de sedimentos de fondo es diferente para cada método considerado, 0.556 Kg/m.s para el método Meyer, Peter y Muller, 0.880 Kg/m.s para el método Van Rijn, 1.968 Kg/m.s para el método Bagnolds y 1.470 Kg/m.s para el método Yalin. Cabe mencionar que los resultados mencionados corresponden al caudal de 140 años de periodo de retorno.

### 5.1.3. Diseño del dique enrocado en el río Cunas

El diseño del dique enrocado inició con el cálculo de profundidad de socavación del río, para el cual se consideró la información del Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2017) donde la profundidad de socavación se debe calcular para un periodo de retorno de 500 años.

El caudal para dicho periodo de retorno fue  $98.28 \text{ m}^3/\text{s}$ , del cual se pudo obtener una profundidad de socavación de 0.10 m hasta donde deben llegar las cimentaciones. No obstante, de acuerdo con las revisiones realizadas sobre profundidad de socavación de defensas ribereñas, esta debe ser mayor o igual a 1.00 m por lo que se consideró la profundidad de la uña de 1.00 m para brindar mayor estabilidad al dique enrocado.

Posteriormente se realizó el diseño del dique enrocado con el caudal, velocidad y tirante del río para el periodo de retorno de 140 años que es lo que recomienda el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC, para defensas ribereñas. Es así que el caudal de diseño para el periodo de retorno fue  $83.37 \text{ m}^3/\text{s}$ , con tirante de 0.90 m y velocidad de agua de 1.59 m/s.

Se continuó con el cálculo de la altura de muro, para el cual fue necesario conocer el tirante y velocidad de agua, cuya altura resultó 1.04 m por lo que para condiciones conservadoras se optó por considerar una altura de muro de 2.00 m. Así mismo, se calculó el diámetro de la roca a colocar en el enrocado el cual resultó en 0.15 m y para efectos de estabilidad se consideró un diámetro de 0.30 m. Sin embargo para el diseño del enrocado se optó por considerar el diámetro de 0.30 m en dos capas, siendo un espesor total de 0.60 m, tal como se muestra en la figura de sección transversal de enrocado. Así mismo, se observa que el ancho de corona del terraplén fue 4.00 m el cual permite el paso de un camión volquete

para la colocación del material y el paso de una compactadora de rodillo para la conformación del terraplén.

En cuanto al cálculo de estabilidad, primero se determinó la probabilidad de que la roca se mueva de la que obtuvo que el enrocado es estable y seguro. Referente a la fuerza existente, en la que interviene el terraplén se pudo obtener que la fuerza resistente del terraplén es 20.528 veces mayor a la presión de agua que ofrece el río en el tramo de estudio.

Del mismo modo, se debe mencionar que para la construcción de dique enrocado se sugiere su colocación en ambos márgenes, considerando los tramos rectos y curvos para una mejor distribución, ubicación y desempeño de este tipo de defensa ribereña ya que con su colocación permite reducir la erosión de las riberas de los ríos que generan sedimentos en las orillas de los ríos.

De acuerdo con el antecedente de LÓPEZ, K. (7), donde el objetivo fue proponer y diseñar una obra de protección para los pobladores de la Aldea de Santa Cruz Chinautla que ubicaron sus viviendas en las riberas del río, la obra fue un enrocado o dique enrocado de 2.60 m de altura, 170 m de largo con una protección de 0.75 m de espesor de roca en ambas márgenes del río, que permite el control de inundación del río Chinautla. Es así que en la investigación también se consideró el diseño del dique enrocado en ambas márgenes del río Cunas, el cual cuenta con una altura de 2.00 m y espesor de enrocado de 0.60 m, del cual además se puede decir que el dique enrocado permitirá el control de inundación del río Cunas en el tramo de estudio con la finalidad de proteger la vida y cultivos de las personas que habitan cerca al cauce del río Cunas.

Por otro lado, el artículo de investigación de Arcos et al. (2018) donde el objetivo fue describir las diferentes estructuras de protección y su concepto de funcionamiento.

Mencionan que no es posible eliminar totalmente el riesgo de inundación por lo que aún con la construcción de una obra estructural y física, se debe aprender a vivir con el río y sus crecidas. Conforme a este antecedente, es posible decir que se debe tratar en la medida posible de evitar habitar cerca y en las riberas de los ríos, para evitar daños humanos y materiales. Así mismo, se recomienda la implementación de obras longitudinales como dique enrocado u otros tipos para reducir la probabilidad de inundación y un mejor control del cauce del río en épocas de avenidas.

#### **5.1.4. Caudal del río Cunas y la implementación de diques**

La tabla 16 muestra la altura de lámina de agua del río Cunas sin dique y con la implementación del dique enrocado en ambas márgenes del río. Del cual se debe destacar que el caudal del río se conserva en todo el tramo, sin embargo el nivel de agua o también conocida como lámina de agua se reduce tras la simulación en el tramo de 500 m del río. Dicha variación ligera, también se puede apreciar en la figura 11.

Con la finalidad de comprobar la hipótesis de este objetivo, se realizó la correlación de Pearson entre los datos de altura de lámina de agua. Del cual se obtuvo una correlación muy alta entre el nivel de agua del río sin dique y con dique enrocado, por lo que la altura de lámina de agua depende y disminuye con la implementación de dique en ambas márgenes del río Cunas.

El estudio de Según GÓMEZ, N., MONGE, K. (6), donde el objetivo fue mejorar la condición de vulnerabilidad por inundaciones mediante el diseño (modelaciones) de obras de ingeniería en un tramo de 3 Km del río Corredor. En el cual se encontró que, las modelaciones hidrológicas e hidráulicas se disminuyen las probabilidades de inundación en el tramo de estudio. De acuerdo con este estudio, se puede afirmar que al disminuir la altura

de lámina de agua del río Cunas con la implementación de diques en ambas márgenes del río, también se reducen las probabilidades de inundación en el tramo de los 500 m estudiados.

Así mismo, el antecedente de OYOLA, A., MEDINA, O. (12), donde estimaron caudales máximos para prevenir inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS. Encontraron que tras realizar la simulación de los perfiles hidráulicos, se puede observar áreas afectadas antes de que ocurran inundaciones en los años proyectados de 2; 5; 10; 25; 50 y 100 años. En base a este antecedente, se puede afirmar la utilidad del programa HEC-RAS para obtener modelos hidráulicos del comportamiento del río Cunas antes de que ocurran inundaciones. Así como la obtención de otros datos como altura de lámina de agua, velocidad de agua, área mojada, espejo de agua, entre otros; donde la altura de lámina de agua permitió determinar la relación entre el caudal del río y la implementación de diques en la margen izquierda y derecha del río.

#### **5.1.5. Transporte de sedimentos y la implementación de diques**

En la tabla 17 se muestra el caudal de diseño del río Cunas para los periodos de retorno de 9; 50; 100; 140 y 500 años y el transporte de sedimentos de fondo para los respectivos periodos de retorno. En la figura 12 se puede apreciar que el caudal de diseño incrementa conforme el periodo de retorno aumenta, así como el transporte de sedimentos. Es importante mencionar que se consideró los valores de transporte de sedimentos de fondo del método Meyer, Peter y Muller ya que son los que donde el sedimento de fondo observado fue uniforme con peso específico entre 1.25 y 4 Ton/m<sup>3</sup>, además de ser la función y fórmula que mejor se ajusta a los datos obtenidos. Tal como menciona GARCÍA, Celso, SALA, Maria (45), en el artículo de investigación “Aplicación de fórmulas de transporte de fondo a un río de gravas: Comparación con las tasas reales de transporte obtenidas en el río Tordera”,

donde resaltan que el método de Meyer, Peter y Muller se ajusta mejor a la distribución de datos ya que el flujo de agua cuenta en todo momento con el sedimento y transporte de fondo que depende de los cambios hidráulicos en las crecidas del río Tordera. Por lo cual se consideró el método de Meyer, Peter y Muller en el transporte de sedimentos de fondo del río Cunas.

Por otro lado, se debe mencionar que se realizó la prueba de hipótesis por medio de la correlación de Pearson. De la cual se pudo obtener que la relación entre el caudal de diseño y el transporte de sedimentos de fondo tienen una relación muy alta, así mismo se obtuvo que el 100% del transporte de sedimentos de fondo depende del caudal de diseño del río, tal como se mencionó en el párrafo anterior.

Finalmente se pudo comprobar la hipótesis que, efectivamente existe relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques puesto que:

- El comportamiento hidráulico del río Cunas comprende el análisis del caudal en su situación actual, el cual guarda relación con el nivel del agua que esta tendrá sin la implementación de dique. Y la implementación de diques comprende el análisis del nivel de agua con la implementación de la misma. Para lo cual es posible decir que cuando se implementa el dique el nivel del agua disminuye.
- El comportamiento hidráulico del río Cunas comprende el análisis de transporte de sedimentos que a la vez guardan relación con el caudal de diseño en diferentes periodos de retorno de 9; 50; 100; 140 y 500 años. Y la implementación de diques comprende el análisis de caudal de diseño del río Cunas, que le corresponde al periodo de retorno de defensas ribereñas (dique enrocado) que recomienda el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC. Por lo cual, es posible decir que cuando

el caudal del río Cunas se incrementa el transporte de sedimentos de fondo también lo hace, y el transporte de sedimentos es moderado respecto al caudal del río en el tramo de estudio.

## CONCLUSIONES

- De forma general se concluye que, la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques en la provincia de Chupaca es directa. Así mismo, se pudo comprobar que el transporte de sedimentos de fondo depende del comportamiento hidráulico del río Cunas.
- Referente al primer objetivo específico se concluye que la relación entre el caudal del río sin dique y con dique es directa, el cual se obtuvo con la medición de la altura de lámina de agua que se redujo con la implementación del dique enrocado en ambas márgenes del río Cunas. Resaltando que el diseño del dique enrocado tuvo una altura de 2.00 m, espesor de enrocado de 0.60 m con un terraplén de 12.00 de ancho; para un periodo de retorno de 140 años según lo estipulado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- Referente al segundo objetivo específico, se concluye que la relación entre el transporte de sedimentos y la implementación de diques es directa, el cual se midió con el volumen de sedimentos de fondo y el caudal de diseño para los diferentes periodos de retorno de 9 años, 50 años; 100 años; 140 años y 500 años. Donde se observó que, el volumen de sedimentos incrementa conforme al caudal de diseño del periodo de retorno aumenta.

## RECOMENDACIONES

- De forma general, se recomienda realizar la recolección de datos automáticos de transporte de sedimentos en diferentes periodos como puede ser mensual y anual durante un determinado periodo de 10 años aproximadamente, con la finalidad de obtener información tanto del caudal como de los sedimentos que se generan en el río Cunas y así poder brindar una información más amplia ya que cuando el caudal de un río incrementa los sedimentos presentan diferentes comportamientos y los datos pueden ser diferentes a los obtenidos cuando el caudal se mantiene constante.
- Referente al primer objetivo específico, relación entre el caudal del río sin dique y con dique, se recomienda evaluar el desempeño de funcionamiento del dique enrocado a futuro con la finalidad de desarrollar nuevos estudios sobre la eficiencia del dique enrocado en el control de las inundaciones.
- Referente al segundo objetivo específico, relación del transporte de sedimentos y la implementación de diques, se recomienda evaluar el desempeño de funcionamiento del dique enrocado a futuro, con la finalidad de desarrollar nuevos estudios sobre la eficiencia del dique enrocado en la producción de sedimentos de fondo y suspensión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TRUJILLO, H., VELÁSQUEZ, J. *Estudio de hidraulica fluvial y simulación del comportamiento, en avenidas máximas del río Jequetepeque tramo Infiernillo-Pellejito de 19km de longitud, Provincia de Pacasmayo, Departamento de La Libertad. Tesis de grado.* Trujillo, La Libertad : Universidad Privada Antenor Orrego, 2015.
2. MELDA, J. *People in harm's way: Floode exposure and poverty in 189 countries.* Rentschler, J y Salhab, M. 2020. 9447, s.l. : Banco Mundial, Washington, DC., Octubre de 2020.
3. TITO Q. *Modelamiento hidráulico del río Cañete sectro Puente Socsi - altura del puente colgante (9km) con fines de diseño de defensa ribereña. Tesis de grado.* Lima, Perú : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017.
4. PRIETO, R., YOSHIRIN, Y.,. *Obras de protección ribereña y control de inundación del río Mantaro, tramo barrio Mantaro, distrito de Huayucachi - Huancayo. Tesis de grado.* Huancayo, Junin : Universidad Continental, 2022.
5. BERNAL, Cesar. *Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales.* Colombia : s.n., 2010.
6. GÓMEZ, N. Y MONGE, K. *Diseño de obras de mitigación y encauzamiento mediante modelaciones hidráulicas e hidrológicas para disminuir la condición por vulnerabilidad de inundaciones en un tramo de 3 Km de río comprendido en la cuenca media baja del río Corredor. Tesis de grado.* Cartago, Costa Rica : Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2019.
7. LÓPEZ, K. *Estudio hidrológico para el diseño de obras de protección contra inundaciones del río Chinautla, Aldea Santa Cruz, Chinautla, Guatemala. Chinautla. Tesis de grado.* Guatemala : Universidad San Carlos de Guatemala, 2017.
8. ROBAYO, L. *Análisis de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito desarrollado a través de sistemas de información geográfica. Tesis de grado.* Bogotá, Colombia : Universidad Católica de Colombia, 2014.

9. MAZA, J. *Análisis del comportamiento hidráulico del río Piura, en el tramo Los Ejidos - Puente Independencia. Tesis de grado*. Piura, 2019 : Universidad de Piura, 2019.
10. MAZA, Jose, GARCÍA, Manuel. Capítulo 10. Transporte de sedimentos. Manual de ingeniería de ríos. México D.F., México : Instituto de Ingeniería, UNAM, 2017. ISBN: 84-8301-563-3.
11. LIENDO, D., NEYRA, A. Modelación probabilística de la crecientes máximas en ríos la Vertiente Peruana del Pacífico. Tesis de grado. Lima, Perú : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2019.
12. OYOLA, A., MEDINA, O. Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS, caso río Zarumilla - 2018. Tesis de grado. Tumbes, Perú : Universida Nacional de Tumbes, 2018.
13. GOYBURO, A. Monitoreo y caracterización del transporte de sedimentos durante crecidas o eventos extremos de El Niño en el río Tumbes. Tesis de grado. Lima, Perú : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017.
14. SILVA, G. Hidráulica fluvial e ingeniería de ríos. Hidráulica fluvial e ingeniería de ríos. [En línea] Octubre de 2009. [Citado el: 05 de Setiembre de 2020.] Disponible en:  
<https://www.oocities.org/gsilvam/fluvial.htm#:~:text=Estudia%20el%20comportamiento%20hidr%C3%A1ulico%20de,los%20ataques%20contra%20las%20m%C3%A1rgenes.>
15. BUITRAGO, Catherine, OCHOA, Diana. *Recomendación para la implementación de obras de protección y control de cauces. Tesis de grado*. Bogotá, Colombia : Universidad Católica de Colombia, 2013.
16. APACLLA, Ricardo. *Hidráulica fluvial*. Perú : UNALM, 2014. ISBN: 978-612-4147-28-9.
17. ROCHA, Arturo. *Introducción a la hidraulica fluvial*. Lima, Perú : Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería, 1998.

18. Rocha, Arturo. *Hidráulica de canales y tuberías*. Lima, Perú : Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.
19. TERÁN, Ruben. *Diseño y construcción de defensas ribereñas*. Lima, Perú : Escuela Superior de Administración de Agua CHARLES SUTTON, 1998.
20. CCONISLLA, Jhony. *Protección contra inundaciones en el sector del Centro Poblado de Gorgor, distrito de Gorgor, provincia de Cajatambo, Lima. Tesis de grado*. Lima, Perú : Universidad Agraria La Molina, 2017.
21. CASTELLANOS, Ortega. *Obras hidráulicas para fijar el curso de ríos*. Bucaramanga, Colombia : Universidad Industrial de Santander, 1981.
22. CHOW, Ven, MAIDMENT, David y MAYS, Larry. *Hidrología aplicada*. Colombia : McGraw-Hill, 1994. ISBN: 958-600-171-7
23. LINSLEY, Ray, KOHLER, Max, PAULUS, Joseph. *Hidrología para ingenieros*. México : McGraw-Hill, 1988. ISBN: 0-07-090914-8
24. PIZARRO, Roberto et al. *Elementos técnicos de hidrología I. Instructivos técnicos*. La Serena, Chile : Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura, 1986. ISBN: 956-299-558-5
25. ASHAKAR, F. T.B.M., J y Ouarda, R. Robust estimators in hydrologic frequency analysis. s.l. : Am. Soc. Civ. Eng, 1993.
26. AGUILERA, M. *Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la Región del Maule. Tesis de grado*. Talca, Chile : Universidad de Talca, 2007.
27. VARAS, Eduardo, BOIS, Philippe. *Hidrología probabilística*. Chile : Universidad Católica de Chile, 1998. ISBN: 978-956-14-0513-4
28. SLIDEPLAYER. Conceptos de confiabilidad. *Conceptos de confiabilidad*. [En línea] 2012. [Citado el: 25 de Marzo de 2020.] Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/1052654/>.

29. Poblete, A.G.; Aguiar, L., Sánchez, G. Estructuras estadísticas de los derrames del río San Juan y el Jáchal y sus relaciones. Revista geográfica N°6 del Instituto y Departamento de Geografía de la Universidad Nacional de San Juan. Argentina.
30. KITE, G. Frequency and risk analysis in hydrology: Water Resources Publications. Littleton, Colorado, EE.UU. : s.n., 1988.
31. APARICIO, Francisco. *Fundamentos de hidrología de superficie*. 11va. México : Limusa SA, 1997. ISBN: 968-18-3014-8.
32. WIKIPEDIA. Distribución de gumbel. *Distribución de gumbel*. [En línea] 17 de Marzo de 2020. [Citado el: 25 de Marzo de 2020.] Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n\\_de\\_Gumbel](https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_de_Gumbel).
33. FERNÁNDEZ, Felipe. *Manual de climatología aplicada: Clima, medio ambiente y planificación*. Madrid, España : s.n., 1995. pág. 285. ISBN: 84-7738-275-1.
34. PIZARRO, Roberto, SANGUESA, Claudia. *Estudios hidrológicos en la región del Maule*. Talca, Chile : Universidad de Talca, 2002. ISBN: 978-92-9089-189-5.
35. PIZARRO, Roberto, y otros. *Elementos técnicos de hidrología III. Proyecto regional sobre el uso y conservación del recurso hídrico en áreas de América Latina y el Caribe*. Chile : UNESCO. Universidad de Talca, 1993. ISBN: 956-84-9084-165-5.
36. RAE. Diccionario prehispanico del español juridico. En línea]. 19 de Diciembre de 2014. [Citado el: 05 de Octubre de 2020]. Disponible en: <https://dpej.rae.es/lema/caudal#:~:text=En%20relaci%C3%B3n%20con%20el%20agua,dividida%20por%20unidad%20de%20tiempo>.
37. WIKIPEDIA. Diques. *Diques*. [En línea] 2018. [Citado el: 05 de Setiembre de 2020]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Dique>>..
38. GOBIERNO DE MÉXICO. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. [En línea] 19 de Diciembre de 2014. [Citado el: 05 de Setiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.gob.mx/imta/articulos/procesos-de-transporte-de-sedimentos>.

39. VARGAS, Z. *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. 1, San Pedro, Costa Rica : s.n., 2009, Revista Educación, Vol. 33, págs. 155-165. ISSN: 0379-7082.
40. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos, BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la investigación*. 6ta. México : McGraw-Hill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
41. VALDERRAMA, Santiago. *Proyecto de Investigación de Enfoque Cuantitativo*. Lima : Av. Garcilaso de la Vega. ISBN: 978-612-302
42. GARCÍA, Maria, MARTINEZ, Pilar. *Los métodos de la investigación. Guía práctica para la realización de trabajos de fin de Grado y trabajos de fin de Máster*. España : s.n., 2012. ISBN: 978-84-8371-973-2
43. AGUDELO, L., AIGNEREN, J. *Diseño de investigación experimental y no-experimental*, Medellín, Colombia : Universidad de Antioquía, 2008, La sociología en sus escenarios, págs. 1-46. ISSN: 123-8973.
44. ARIAS, J, VILLASÍS, M, MIRANDA, M. *El protocolo de investigación III: la población de estudio*. 2, México : s.n., 2016, Revista Alergia México, Vol. 63, págs. 201-206. ISSN: 0002-5151.
45. GARCÍA, Celso, SALA, Maria. *Aplicación de fórmulas de transporte de fondo a un río de gravas: Comparación con las tasas reales de transporte obtenidas en el río Tordera*. Barcelona, España : Universitat de Barcelona, 1998, Ingeniería del agua, Vol. 5, págs. 59 - 72.
46. ARCOS, N. et al. *Obras de protección contra inundaciones*. Guerrero, México : Universidad Autónoma de Guerrero, 2018. 04-2017-061613262800-203.
47. FRACASSI, Gerardo. *Defensas ribereñas con gaviones y geosintéticos* . Bogotá, Colombia : Maccaferri, 2019. ISBN: 978-958-762-978-1.
48. MEJÍA, Jesus. *Transporte de sedimentos en ríos aluviales*. Lima, Perú : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017. ISBN: 978-612-4147-77-7.
49. OCHOA, Tomas. *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos*. Colombia : OCOE, 2011.

50. RIOS, Y. *Obras de protección ribereña y control de inundación del río Mantaro, tarmo barrio Mantaro, distrito de Huayucachi - Huancayo. Tesis de grado.* Huancayo, Perú : Universidad Continental, 2022.
51. LUJANO, E. *Análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú. Tesis de grado.* Puno, Perú : Universidad Nacional del Altiplano, 2019.
52. RAE. Diccionario prehispanico del español juridico. En línea]. 19 de Diciembre de 2014. [Citado el: 08 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://dpej.rae.es/dpej-lemas/inundacion>.
53. OMM. *Guia de practicas hidrologicas.* 2ª ed. Vol. 1. 2020. e-ISBN: 978-92-63-30168-0.
54. EMMETT, W. *A field Calibration of the Sediment-Trapping Characteristics of the Helley-Smith Bedload Sampler.* EEUU: U.S. Government Printing Office Washington, D.C. 20402, 1980. Supt.ofDocs.no.: 119.16:1139.

**ANEXOS**

**Anexo 1: Matriz de consistencia**  
**COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO CUNAS Y LA IMPLEMENTACIÓN DE DIQUES EN LA PROVINCIA DE CHUPACA - 2021**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo es la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques en la provincia de Chupaca - 2021?</p> <p><b>Problemas específicos</b> a. ¿Cómo es la relación del caudal del río sin dique y con dique? b. ¿Cómo es la relación entre transporte de sedimentos y la implementación de diques?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Determinar la relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques en la provincia de Chupaca – 2021.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> a. Determinar la relación del caudal del río sin dique y con dique. b. Conocer la relación entre el transporte de sedimentos y la implementación de diques.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> La relación entre el comportamiento hidráulico del río Cunas y la implementación de diques es directa, en la provincia de Chupaca – 2021.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> a. La relación entre el caudal del río sin dique y con dique es directa. b. La relación entre el transporte de sedimentos y el caudal de diseño del río Cunas, es directa.</p>	<p>V1: Comportamiento hidráulico</p> <p>V2: Implementación de diques</p>	<p>D1: Caudal del río</p> <p>D2: Transporte de sedimentos</p> <p>D1: Caudal de diseño</p> <p>D2: Dique enrocado</p>	<p>I1: Avenidas máximas</p> <p>I2: Tiempo de retorno</p> <p>I1: Gasto de sólidos en suspensión</p> <p>I2: Gasto de sólidos de fondo</p> <p>I1: Caudal</p> <p>I2: Tiempo de retorno</p> <p>I1: Diseño hidráulico</p> <p>I2: Cálculo estructural</p> <p>pI3: Estabilidad</p>	<p><b>Método:</b> Científico <b>Tipo:</b> Básica <b>Nivel:</b> Descriptivo-Correlacional <b>Diseño:</b> No experimental – Transversal</p> <p><b>Población:</b> La población está compuesta por la cuenca del Cunas.</p> <p><b>Muestra:</b> La muestra es no probabilística y por conveniencia; se encuentra delimitada por el tramo de 500 m del río Cunas.</p> <p><b>Técnicas e instrumentos:</b> Recolección de información histórica de los caudales del río Cunas. <b>Técnicas de procesamiento de datos:</b> El procesamiento de datos se desarrollará empleando el programa HEC-RAS, MS-Excel 2013.</p>

## Anexo 2: Fichas de validez

FACULTAD DE INGENIERIA							
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
ANALISIS DE VALIDEZ - FICHA DE RECOPIACION DE DATOS							
<b>PROYECTO:</b>		COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO CUNAS E IMPLEMENTACIÓN DE DIQUES EN LA PROVINCIA DE CHUPACA - 2021					
<b>AUTOR:</b>		Villaverde Untiveros, Pavel Antonio					
<b>I.</b>	<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>				<b>CALIFICACIÓN</b> 0: MAL 1: BIEN		
	<b>UBICACIÓN:</b>	Barrio San Miguel De Pincha					
	<b>DISTRITO:</b>	Chupaca	<b>ALTITUD:</b>	3 286 msnm			
	<b>PROVINCIA:</b>	Chupaca	<b>LATITUD:</b>	12° 3' 42" Sur			
	<b>REGIÓN:</b>	Junín	<b>LONGITUD:</b>	75° 17' 16" Oeste			
<b>II.</b>	<b>Caudal del río</b>						
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>			
	Avenidas máximas	m <sup>3</sup> /s	Tiempo de retorno	años			
<b>III.</b>	<b>Transporte de sedimentos</b>						
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>			
	Gasto de sólidos en suspensión	m <sup>3</sup> /s	Gasto de sólidos de fondo	m <sup>3</sup> /s			
<b>IV.</b>	<b>Caudal de diseño para dique enrocado</b>						
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>			
	Caudal	m <sup>3</sup> /s	Tiempo de retorno	años			
<b>V.</b>	<b>Diseño de dique enrocado</b>						
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 3</b>		<b>Unidad</b>
	Diseño hidráulico	m - profundidad de socavación	Cálculo estructura	m - altura de muro	Estabilidad		FS - Factor de seguridad
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>		ESPINOZA OSORIO WALTER A.					
<b>PROFESION Y GRADO:</b>		ING. CIVIL					
<b>REGISTRO CIP N°:</b>		237507					
<b>EMAIL:</b>		wspinas7dc@hotmail.com					
<b>TELEFONO:</b>		988169861					

Rango de validez	Interpretación	 WALTER A. ESPINOZA OSORIO INGENIERO CIVIL CIP N° 237507 <b>FIRMA</b>
0.81 - 1.00	Muy alta	
0.61 - 0.80	Alta	
0.41 - 0.60	Media	
0.21 - 0.40	Baja	
0.00 - 0.20	Muy baja	

FACULTAD DE INGENIERIA				 <b>UPLA</b> <small>UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES</small>			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
ANALISIS DE VALIDEZ - FICHA DE RECOPIACION DE DATOS							
<b>PROYECTO:</b>		<b>COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO CUNAS E IMPLEMENTACIÓN DE DIQUES EN LA PROVINCIA DE CHUPACA - 2021</b>					
<b>AUTOR:</b>		Villaverde Untiveros, Pavel Antonio					
<b>I.</b>	<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>					<b>CALIFICACIÓN</b> 0: MAL 1: BIEN	
	<b>UBICACIÓN:</b>	Barrio San Miguel De Pincha					
	<b>DISTRITO:</b>	Chupaca	<b>ALTITUD:</b>	3 286 msnm			
	<b>PROVINCIA:</b>	Chupaca	<b>LATITUD:</b>	12° 3' 42" Sur			
	<b>REGIÓN:</b>	Junín	<b>LONGITUD:</b>	75° 17' 16" Oeste			
<b>II.</b>	<b>Caudal del río</b>					1	
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>			
	Avenidas máximas	m <sup>3</sup> /s	Tiempo de retorno	años			
<b>III.</b>	<b>Transporte de sedimentos</b>					1	
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>			
	Gasto de sólidos en suspensión	m <sup>3</sup> /s	Gasto de sólidos de fondo	m <sup>3</sup> /s			
<b>IV.</b>	<b>Caudal de diseño para dique enrocado</b>					1	
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>			
	Caudal	m <sup>3</sup> /s	Tiempo de retorno	años			
<b>V.</b>	<b>Diseño de dique enrocado</b>					1	
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 3</b>		<b>Unidad</b>
	Diseño hidráulico	m - profundidad de socavación	Cálculo estructura	m - altura de muro	Estabilidad		FS - Factor de seguridad
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>		Perez Perez David Dennis					
<b>PROFESION Y GRADO:</b>		Ing. Civil.					
<b>REGISTRO CIP N°:</b>		294239					
<b>EMAIL:</b>							
<b>TELEFONO:</b>		917015574					

Rango de validez	Interpretación	 Ing. David Dennis Perez Perez INSPECTOR DE OBRA CIP. 294234
0.81 - 1.00	Muy alta	
0.61 - 0.80	Alta	
0.41 - 0.60	Media	
0.21 - 0.40	Baja	
0.00 - 0.20	Muy baja	<b>FIRMA</b>

FACULTAD DE INGENIERIA						
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
ANALISIS DE VALIDEZ - FICHA DE RECOPIACION DE DATOS						
<b>PROYECTO:</b>		COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO CUNAS E IMPLEMENTACIÓN DE DIQUES EN LA PROVINCIA DE CHUPACA - 2021				
<b>AUTOR:</b>		Villaverde Untiveros, Pavel Antonio				
<b>I.</b>	<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>					<b>CALIFICACIÓN</b> 0: MAL 1: BIEN
	<b>UBICACIÓN:</b>	Barrio San Miguel De Pincha				
	<b>DISTRITO:</b>	Chupaca	<b>ALTITUD:</b>	3 286 msnm		
	<b>PROVINCIA:</b>	Chupaca	<b>LATITUD:</b>	12° 3' 42" Sur		
	<b>REGIÓN:</b>	Junín	<b>LONGITUD:</b>	75° 17' 16" Oeste		
<b>II.</b>	<b>Caudal del río</b>					/
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>		
	Avenidas máximas	m <sup>3</sup> /s	Tiempo de retorno	años		
<b>III.</b>	<b>Transporte de sedimentos</b>					/
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>		
	Gasto de sólidos en suspensión	m <sup>3</sup> /s	Gasto de sólidos de fondo	m <sup>3</sup> /s		
<b>IV.</b>	<b>Caudal de diseño para dique enrocado</b>					/
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>		
	Caudal	m <sup>3</sup> /s	Tiempo de retorno	años		
<b>V.</b>	<b>Diseño de dique enrocado</b>					/
	<b>Indicador 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 2</b>	<b>Unidad</b>	<b>Indicador 3</b>	
	Diseño hidráulico	m - profundidad de socavación	Cálculo estructura	m - altura de muro	Estabilidad	FS - Factor de seguridad
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>		VICUÑA ROJAS, CARLOS SAMUEL				
<b>PROFESION Y GRADO:</b>		ING. CIVIL 66954				
<b>REGISTRO CIP N°:</b>		CIP. N° 66954				
<b>EMAIL:</b>						
<b>TELEFONO:</b>		CEL: 989644424				

Rango de validez	Interpretación	 ING. CIV. CIP. CARLOS SAMUEL VICUÑA ROJAS REG. No. 66954
0.81 - 1.00	Muy alta	
0.61 - 0.80	Alta	
0.41 - 0.60	Media	
0.21 - 0.40	Baja	
0.00 - 0.20	Muy baja	FIRMA

**Anexo 3: Registro de precipitación – Estación Huayao**

Precipitación máxima diaria													
N°	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
<b>1</b>	1994	17.9	21.6	12.4	16.5	5.1	1.5	0.6	4.2	13.9	15.1	11.9	18.3
<b>2</b>	1995	13.8	28	16.5	6.8	19.9	2	4.8	9.7	12.7	20.8	15	22.8
<b>3</b>	1996	26.2	16	11.7	21.1	19.9	0.8	0	5.6	5.9	16	9.4	12.5
<b>4</b>	1997	13	22.6	12.7	12.7	19.9	0.3	1	7.1	14	7.7	12.2	29.5
<b>5</b>	1998	18.8	21.3	8.9	25.7	19.9	2.1	0	14.5	23.1	19.3	11.2	8.7
<b>6</b>	1999	18.8	27.7	14.5	12.9	19.9	15.8	5.8	3	12.7	16.5	21.6	11.2
<b>7</b>	2000	14.5	17.7	24.2	7.1	19.9	1.3	5.1	8.4	7.8	17.1	8.9	19.6
<b>8</b>	2001	24.9	16.5	17.5	12.2	19.9	1.5	7.2	1.5	17.2	20.3	13.8	29.2
<b>9</b>	2002	25.1	30.3	23.9	5.8	19.9	2.5	8.9	9.1	21.9	18.3	22.8	25.4
<b>10</b>	2003	14.7	26.4	25.7	21.8	19.9	2.3	1	11.9	6.7	7.4	19.3	16.8
<b>11</b>	2004	9.9	37.6	15.5	8.6	19.9	4.9	5.5	2.8	9.7	6.9	21.1	12.2
<b>12</b>	2005	22.4	13.3	16.6	12.1	19.9	0.4	3.1	2.3	7.6	26.2	20.2	13.9
<b>13</b>	2006	26.2	14.9	15.5	4.8	19.9	3.5	31.9	3.3	12.9	13.3	9.7	19
<b>14</b>	2007	32.4	6.5	16	17.3	19.9	0	0.8	1.3	5.8	17.7	18.4	19.6
<b>15</b>	2008	17.9	12.4	12.6	13.3	19.9	9.1	4.8	11.7	11.5	18.3	10.1	17.6
<b>16</b>	2009	23.3	16.7	32.3	40.7	19.9	6.1	3.2	25.6	13.5	6.4	14.5	34.9
<b>17</b>	2010	25.8	24	25.4	27.1	19.9	3.4	4.8	0.8	3.3	13.5	4	19.8
<b>18</b>	2011	21.2	36.5	27	20.5	19.9	0	1.9	1.3	16.3	18.1	17	20.6
<b>19</b>	2012	16.3	23.4	0	17.4	19.9	7.3	0.4	0	6.6	9.6	22.4	22.8
<b>20</b>	2013	14.2	11.3	11.74	10.1	19.9	3.1	0.6	3.7	9.8	11.9	14.5	24.5

### Anexo 4: Cálculo de caudal – método Gumbel y Nash

#### 1. Método Gumbel

- Cálculo de  $Q_m$ :

$$Q_m = 18.27$$

- Cálculo de la desviación estándar de los Caudales

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - NQ_m^2}{N-1}}$$

$$N = 20$$

$$\sum Q^2 = 9,622.93$$

$$\sigma_Q = 12.45$$

- Cálculo de los coeficientes, para 20 años

20	$Y_N$	$\sigma_N$
20	0.5236	1.0628

$$\sigma_N = 1.0628$$

$$Y_N = 0.5236$$

- Cálculo del caudal máximo

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T)$$

- Cálculo de caudales máximos para diferentes T:

$$Q_{m\acute{a}x}(9a) = 37.88 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(10a) = 39.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(25a) = 49.84 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(50a) = 57.96 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(100a) = 66.08 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(140a) = 70.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(500a) = 84.93 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Cálculo de  $\phi$

$$\phi = 1 - \frac{1}{T}$$

$$\phi (9 \text{ años}) = 0.9$$

$$\phi (10 \text{ años}) = 0.9$$

$$\phi (25 \text{ años}) = 0.96$$

$$\phi (50 \text{ años}) = 0.98$$

$$\phi (100 \text{ años}) = 0.99$$

$$\phi (140 \text{ años}) = 0.99$$

$$\phi (500 \text{ años}) = 0.998$$

$\phi$	$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$
0.90	(3.1639)
0.95	(4.4721)
0.98	(7.0710)
0.99	(10.000)

$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$	T=9	3.1639
$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$	T=10	3.1639
$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$	T=25	5.3384
$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$	T=50	7.0710
$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$	T=100	10.000
$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$	T=140	10.000
$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$	T=500	10.000

- Cálculo de intervalo de confianza  
 $\phi > 0.90$

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 \sigma_Q}{\sigma_N}$$

13.35 m<sup>3</sup>/s

$$\Delta Q =$$

- Cálculo del caudal de diseño

$$Q_d = Q_{\max} \pm \Delta Q$$

<b>Qd(9a) =</b>	<b>51.23 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Caudal actual</b>
<b>Qd(10a) =</b>	<b>52.46 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Qd(25a) =</b>	<b>63.19 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Qd(50a) =</b>	<b>71.31 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Qd(100a) =</b>	<b>79.43 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Qd(140a) =</b>	<b>83.37 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Qd(500a) =</b>	<b>98.28 m<sup>3</sup>/s</b>	

## 2. Método Nash

$$N = 20$$

■ Cálculo de  $Q_m$  y  $X_m$ 

$$Q_m = 18.27$$

$$X_m = -0.59$$

$$N = 20$$

■ Cálculo de los parámetros  $a$  y  $b$ 

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N X_i Q_i - N X_m Q_m}{\sum_{i=1}^N X_i^2 - N X_m^2} \quad a = Q_m - b X_m$$

$$X_m = -0.590$$

$$Q_m = 18.274$$

$$X_m^2 = 0.35$$

$$b = -25.8832$$

$$a = 3.0138$$

## ■ Cálculo del caudal máximo

$$Q_{\max} = a + b \log \log \frac{T}{T-1}$$

$$Q_{\max}(9a) = 36.43 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\max}(10a) = 37.69 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\max}(25a) = 48.34 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\max}(50a) = 56.25 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\max}(100a) = 64.10 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\max}(140a) = 67.90 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\max}(500a) = 82.24 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

## ■ Cálculo de desviaciones estándar y covarianza

$$S_{xx} = N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$$

$$S_{qq} = N \sum q_i^2 - (\sum q_i)^2$$

$$S_{xq} = N \sum q_i x_i - (\sum q_i)(\sum x_i)$$

$$S_{xx} = 85.22$$

$$S_{qq} = 58878.62$$

$$S_{xq} = -2205.81$$

■ Cálculo del intervalo de confianza

$$\Delta Q = \pm 2 \sqrt{\frac{S_{qq}}{N^2(N-1)} + (X - X_m)^2 \frac{1}{N-2} \frac{1}{S_{xx}} \left( S_{qq} - \frac{S_{xq}^2}{S_{xx}} \right)}$$

X (9a) =	-1.2911
X (10a) =	-1.3395
X (25a) =	-1.7513
X (50a) =	-2.0568
X (100a) =	-2.3600
X (140a) =	-2.5068
X (500a) =	-3.0608

$\Delta Q(9a)$ =	5.7689
$\Delta Q(10a)$ =	5.7972
$\Delta Q(25a)$ =	6.1051
$\Delta Q(50a)$ =	6.4040
$\Delta Q(100a)$ =	6.7514
$\Delta Q(140a)$ =	6.9355
$\Delta Q(500a)$ =	7.7083

■ Cálculo de caudal de diseño

$$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q$$

<b>Qd(9a) =</b>	<b>42.20 m3/s</b>
<b>Qd(10a) =</b>	<b>43.48 m3/s</b>
<b>Qd(25a) =</b>	<b>54.45 m3/s</b>
<b>Qd(50a) =</b>	<b>62.65 m3/s</b>
<b>Qd(100a) =</b>	<b>70.85 m3/s</b>
<b>Qd(140a) =</b>	<b>74.83 m3/s</b>
<b>Qd(500a) =</b>	<b>89.94 m3/s</b>

## Anexo 5: Profundidad de socavación – río Cunas

### 1. Sección estable del río

Por el método de Blench o Altunnin, se empleó la siguiente ecuación.

$$B = 1.81 \left( \frac{Q * F_b}{F_s} \right)^{1/2}$$

Donde:

B: Ancho medio de la sección en m

Q: Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/s = 98.28 m<sup>3</sup>/s

Fb: Factor de fondo. Puede ser 1.2 para material grueso y  $D_m^{1/3}$  para gravas

Fs: Factor de orillas. Puede ser 0.2 para material ligeramente cohesivo. La tabla, muestra los valores aproximados de Fs.

Tabla 22. Valores de Fs

Tipo de orilla	Valores de Fs
<b>Materiales sueltos (orilla de barro y arena)</b>	0.1
<b>Materiales ligeramente cohesivos (orilla de barro - arcilla - fangoso)</b>	0.2
<b>Materiales cohesivos</b>	0.3

Fuente: TERÁN, Ruben (19)

De acuerdo con lo observado en campo, se puede establecer que el material de fondo encontrado fue material grueso y en la orilla se encontraron materiales sueltos como barro y arena. Entonces, los valores de Fb y Fs serían 1.2 y 0.10 respectivamente.

$$\therefore B = 1.81 \left( \frac{98.28 * 1.2}{0.10} \right)^{1/2}$$

$$\therefore B = 62.16 \text{ m}$$

Por el método Simons y Henderson, se empleó la siguiente ecuación.

$$b = K_1 * Q^{1/2}$$

Donde:

B: Ancho medio de la sección en m

Q: Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/s = 98.28 m<sup>3</sup>/s

K<sub>1</sub>: Valores de tabla.

Tabla 23. Valores de  $K_1$ 

Condiciones de fondo de río	$K_1$
Fondo y orillas de arena	5.7
Fondo arena y orillas de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orillas de grava	2.9
Fondo arena y orillas material no cohesivo	2.8

Fuente: TERÁN, Ruben (19)

Las condiciones de este método, están en función a la pendiente, caudal y diámetro del material del cauce; las cuales se describen a continuación.

S: 0.06 a 10%

Q: 0.15 a 250 m<sup>3</sup>/sD<sub>m</sub>: 0.03 a 80 mm

$$\therefore b = 3.60 * 98.28^{1/2}$$

$$\therefore b = 35.69 \text{ m}$$

De acuerdo a los cálculos realizados, el método de Simons y Henderson se acerca más a lo observado en campo, por lo cual el ancho estable del río se consideró 35.70 m.

## 2. Profundidad media

$$H = 1.02 \left( \frac{Q * F_s}{F_b^2} \right)^{1/3}$$

$$\therefore H = 1.02 \left( \frac{98.28 * 0.10}{1.2^2} \right)^{1/3}$$

$$\therefore H = 1.93 \text{ m}$$

## 3. Pendiente hidráulica

$$S = \frac{\left( \frac{0.55 * F_b^{5/6}}{F_s^{1/12}} \right)}{\left( 1 + \frac{C}{233} \right) * (K * Q^{1/6})}$$

$$K = \frac{6.6 * g}{\gamma^{1/4}}$$

Donde:

S: Pendiente hidráulica en %

C: Concentración de material de fondo en 10<sup>-5</sup> = 500

K: Factor secundario

D<sub>m</sub>: Diámetro mediano = 5 mm

g: Gravedad

$\gamma$ : Peso específico del agua

$$\therefore K = \frac{6.6 * 9.81}{1^{1/4}}$$

$$\therefore K = 64.75$$

$$\therefore S = \frac{\left(\frac{0.55 * 1.2^{5/6}}{0.10^{1/12}}\right)}{\left(1 + \frac{500}{233}\right) * (64.75 * 98.28^{1/6})}$$

$$\therefore S = 0.00177 \text{ m/m}$$

$$\therefore S = 0.177\%$$

#### 4. Tirante normal

$$t = \left[ \frac{Q}{Ks * b_0 * S^{1/2}} \right]^{3/5}$$

Donde:

t: Tirante normal

b<sub>0</sub>: Ancho estable del río en m = 35.70 m

S: Pendiente en % = 0.99%

K<sub>s</sub>: Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río, depende de la siguiente tabla.

Tabla 24. Valores de K<sub>s</sub>

Descripción	K <sub>s</sub>
Lechos naturales de río con fondo sólido sin irregularidades	40
Lechos naturales de río con acarreo regular	33 - 35
Lechos naturales de río con vegetación	30 - 35
<b>Lechos naturales de río con derrubio e irregularidades</b>	<b>30</b>
Lechos naturales de río con fuerte transporte de acarreo	28
Torrentes con derrubios gruesos (piedra de tamaño de una cabeza) con acarreo inmóvil	25 - 28
Torrentes con derrubio grueso, con acarreo móvil	19 - 22

$$\therefore t = \left[ \frac{98.28}{30 * 35.70 * 0.00177^{1/2}} \right]^{3/5}$$

$$\therefore t = 1.60 \text{ m}$$

## 5. Velocidad media del agua

$$Vm = Ks * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/s = 98.28 m<sup>3</sup>/s

A: Área de la sección en m<sup>2</sup>. Según el levantamiento topográfico, se obtuvo el área de la sección transversal igual a 36.65 m<sup>2</sup>.

R: Radio hidráulico en m

S: Pendiente en % =0.177%

Ks: Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río.

Vm: Velocidad media del agua

n: Coeficiente de rugosidad. El coeficiente de rugosidad se calculó con la tabla de Cowan.

Tabla 25. Tabla de Cowan sobre el coeficiente n

Superficie del canal	Tierra	n <sub>0</sub>	0.020
	Roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Irregularidad	Suave	n <sub>1</sub>	0.000
	Menor		0.005
	Moderada		0.010
	Severa		0.020
Variación de la sección	Gradual	n <sub>2</sub>	0.000
	Ocasional		0.005
	Frecuente		0.010 - 0.015
Efecto de la obstrucción	Despreciable	n <sub>3</sub>	0.000
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Bajo	n <sub>4</sub>	0.005 - 0.010
	Medio		0.010 - 0.025
	Alto		0.025 - 0.050
	Muy alto		0.050 - 0.100
Intensidad de meandros	Menor	m <sub>5</sub>	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: ROCHA, Arturo. (17)

$$\therefore n = (0.028 + 0.010 + 0 + 0.010 + 0.005) * 1.00$$

$$\therefore n = 0.053$$

Primero, se calculó el radio hidráulico con la segunda ecuación, y así posteriormente se obtuvo la velocidad media del agua con la primera ecuación.

$$\therefore R = \frac{98.28 * 0.053}{36.65 * 0.00177^{1/2}}$$

$$R = 3.38 \text{ m}$$

$$\therefore Vm = 30 * 3.38^{2/3} * 0.00997^{1/2}$$

$$\therefore Vm = 2.84 \text{ m/s}$$

## 6. Profundidad de socavación

El método propuesto por L. L. List Van Lebediev se ajusta más a los trabajos en cauces naturales, para la cual se emplea la siguiente ecuación.

$$Hs = t_s - t$$

La ecuación corresponde al cálculo de tirante que corresponde a la profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva, para suelos no cohesivos

$$t_s = \left( \frac{\alpha * t^{5/3}}{0.68 * Dm^{0.28} * B} \right)^{\frac{1}{x+1}}$$

Donde:

$t$ : Profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva

$\alpha$ : Constante que están en función al caudal, tirante normal y ancho estable.

$$\alpha = \frac{Q}{b_0 * t^{5/3}}$$

$$\therefore \alpha = \frac{98.28}{35.70 * 1.60^{5/3}}$$

$$\therefore \alpha = 1.26$$

$t$ : Tirante normal en m = 1.60 m

$Dm$ : Diámetro medio = 25 mm

$B$ : Coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida que se estudia. En la siguiente tabla, se muestra el valor para el coeficiente B de 0.82.

Tabla 26. Valores de B

Probabilidad anual de que se presente el caudal de diseño	Coefficiente B
0	0.77
<b>50</b>	<b>0.82</b>
20	0.86
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

En la tabla, se muestran los valores de X y 1/x+1.

Tabla 27. Valores de x y 1/x+1

y <sub>d</sub> (mm)	Suelos cohesivos					Suelos no cohesivos					
	x	1/1+x	y <sub>d</sub> (mm)	x	1/1+x	d (mm)	x	1/1+x	d (mm)	x	1/1+x
<b>0.80</b>	0.52	0.66	1.20	0.39	0.72	0.05	0.43	0.70	40.00	0.30	0.77
<b>0.83</b>	0.51	0.66	1.20	0.38	0.72	0.15	0.42	0.70	60.00	0.29	0.78
<b>0.86</b>	0.50	0.67	1.28	0.37	0.73	0.50	0.41	0.71	90.00	0.28	0.78
<b>0.88</b>	0.49	0.67	1.34	0.36	0.74	1.00	0.40	0.71	140.00	0.27	0.79
<b>0.90</b>	0.48	0.67	1.40	0.35	0.74	1.50	0.39	0.72	190.00	0.26	0.79
<b>0.93</b>	0.47	0.68	1.46	0.34	0.75	2.50	0.38	0.72	250.00	0.25	0.80
<b>0.96</b>	0.46	0.68	1.52	0.33	0.75	4.00	0.37	0.73	310.00	0.24	0.81
<b>0.98</b>	0.45	0.69	1.58	0.32	0.76	6.00	0.36	0.74	370.00	0.23	0.81
<b>1.00</b>	0.44	0.69	1.64	0.31	0.76	8.00	0.35	0.74	450.00	0.22	0.83
<b>1.04</b>	0.43	0.70	1.71	0.30	0.77	10.00	0.34	0.75	570.00	0.21	0.83
<b>1.08</b>	0.42	0.70	1.80	0.29	0.78	15.00	0.33	0.75	750.00	0.20	0.83
<b>1.12</b>	0.41	0.71	1.89	0.28	0.78	20.00	0.32	0.76	1000.00	0.19	0.84
<b>1.16</b>	0.40	0.71	2.00	0.27	0.79	<b>25.00</b>	<b>0.31</b>	<b>0.76</b>			

Se seleccionó el valor de 0.76 para 1/1+x correspondiente al diámetro medio de la partícula de 25 mm y el valor de 0.31 para x.

$$\therefore t_s = \left( \frac{1.26 * 1.60^{5/3}}{0.68 * 25^{0.28} * 0.82} \right)^{0.76}$$

$$\therefore t_s = 1.70 \text{ m}$$

$$\therefore H_s = 1.70 - 1.60$$

$$\therefore H_s = 0.10 \text{ m}$$

De este modo, la profundidad de socavación indica la profundidad de excavación y hasta donde debe llegar la cimentación de las estructuras.

## 7. Velocidad erosiva

Debido a que el material del cauce del río no es cohesivo, la profundidad de la uña es igual a  $t_s$  (profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva).

$$Hs = t_s$$

$$t_s = \left( \frac{\alpha * t^{5/3}}{0.68 * D_m^{0.28} * B} \right)^{\frac{1}{x+1}}$$

$$\therefore t_s = \left( \frac{1.26 * 1.60^{5/3}}{0.68 * 25^{0.28} * 0.82} \right)^{0.76}$$

$$\therefore t_s = 1.70 \text{ m}$$

$$Ve = 0.68 * D_m^{0.28} * B * t_s^x$$

$$Ve = 0.68 * 25^{0.28} * 0.82 * 1.70^{0.31}$$

$$Ve = 1.62 \text{ m/s}$$

## Anexo 6: Ensayo de textura de material de cauce del río Cunas



### INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-3209

#### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: PAVEL A. VILLAVERDE UNTIVEROS
2.-DIRECCIÓN	: JR. PETRONA APOLAYA N°358
3.-PROYECTO	: TESIS "COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO CUNAS E IMPLEMENTACIÓN DE DIQUES EN LA PROVINCIA DE CHUPACA - 2021"
4.-PROCEDENCIA	: Huancayo-Junín
5.-SOLICITANTE	: PAVEL A. VILLAVERDE UNTIVEROS
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 000000648-2022-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2022-03-14

#### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Suelos
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 6
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2022-03-07
4.-PERIODO DE ENSAYO	: 2022-03-07 al 2022-03-14

Liz Y. Quipe Quispe  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 211662

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.  
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-3209

## III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Textura <sup>(*)</sup>	NOM-021-RECNAT-2000- A0-09	NOM-021-RECNAT-2000- A0-09 / TEXTURA

\*NOM\* : Norma Oficial Mexicana

<sup>(\*)</sup> El Ensayo indicado no ha sido acreditado

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-3209**
**IV. RESULTADOS**

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-10035	M-22-10036	M-22-10037	M-22-10038			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	M-01	M-02	M-03	M-04			
COORDENADAS:	E:0467492	E:0467492	E:0467492	E:0467492			
UTM WGS 84:	N:8667989	N:8667989	N:8667989	N:8667989			
PRODUCTO:	SUELOS						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	04-03-2022 00:00	04-03-2022 00:00	04-03-2022 00:00	04-03-2022 00:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
<b>Textura</b>							
1. Arena (2 - 0.05 mm Diámetro de Partícula) (**)	%	NA	NA	100	95	95	90
2. Limo (0.05 - 0.002 mm Diámetro de Partícula) (**)	%	NA	NA	0	0	0	0
3. Arcilla (< a 0.002 mm Diámetro de Partícula) (**)	%	NA	NA	0	5	5	10
4. Clase Textural (**)	no unidad	NA	NA	A	A	A	A

(\*\*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $\leq$ " Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $\leq$ " Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica333

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-3209**

ITEM	5			6	
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-10039			M-22-10040	
CÓDIGO DEL CLIENTE:	M-05			M-06	
COORDENADAS:	E:0467891			E:0467891	
UTM WGS 84:	N:8667703			N:8667703	
PRODUCTO:	SUELOS				
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA				
FECHA y HORA DE MUESTREO :	04-03-2022 00:00			04-03-2022 00:00	
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
<b>Textura</b>					
1. Arena (2 - 0.05 mm Diámetro de Partícula) (**)	%	NA	NA	100	100
2. Limo (0.05 - 0.002 mm Diámetro de Partícula) (**)	%	NA	NA	0	0
3. Arcilla (< a 0.002 mm Diámetro de Partícula) (**)	%	NA	NA	0	0
4. Clase Textural (**)	no unidad	NA	NA	A	A

(\*\*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

A = Arena; A.Fr. = Arena Franca; Fr.A. = Franco Arenoso; Fr. = Franco; Fr.L. = Franco Limoso; L = Limoso; Fr.Ar.A = Franco Arcillo Arenoso; Fr.Ar. = Franco Arcilloso  
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso; Ar.A. = Arcillo; Arenoso; Ar.L. = Arcillo Limoso; Ar. Arcilloso

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

**"FIN DE DOCUMENTO"**

**Anexo 7:** Transporte de sedimentos de fondo – periodos de retorno

## 1. Periodo de retorno 9 años

<b>Método</b>	<b>Transporte de fondo (Kg/m.s)</b>
<b>Meyer, Peter y Muller</b>	0.488
<b>Van Rijn</b>	1.966
<b>Bagnolds</b>	1.179
<b>Yalin</b>	0.652

## 2. Periodo de retorno 50 años

<b>Método</b>	<b>Transporte de fondo (Kg/m.s)</b>
<b>Meyer, Peter y Muller</b>	0.534
<b>Van Rijn</b>	1.887
<b>Bagnolds</b>	1.669
<b>Yalin</b>	1.138

## 3. Periodo de retorno 100 años

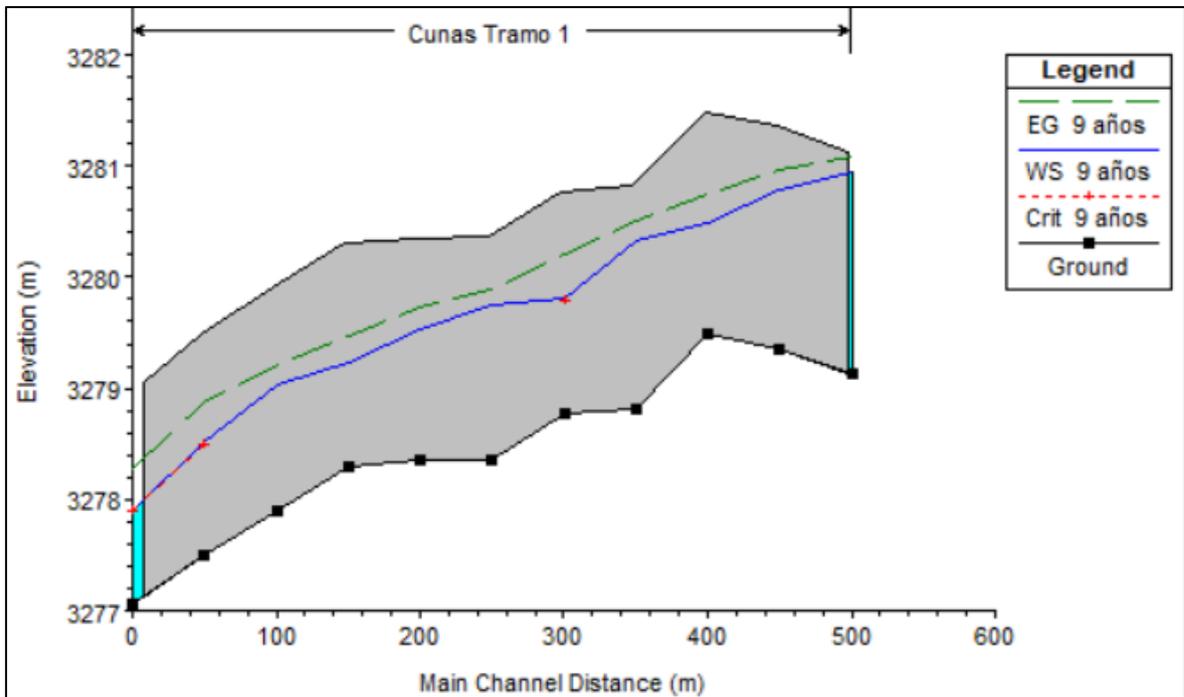
<b>Método</b>	<b>Transporte de fondo (Kg/m.s)</b>
<b>Meyer, Peter y Muller</b>	0.549
<b>Van Rijn</b>	1.866
<b>Bagnolds</b>	1.873
<b>Yalin</b>	1.363

## 4. Periodo de retorno 500 años

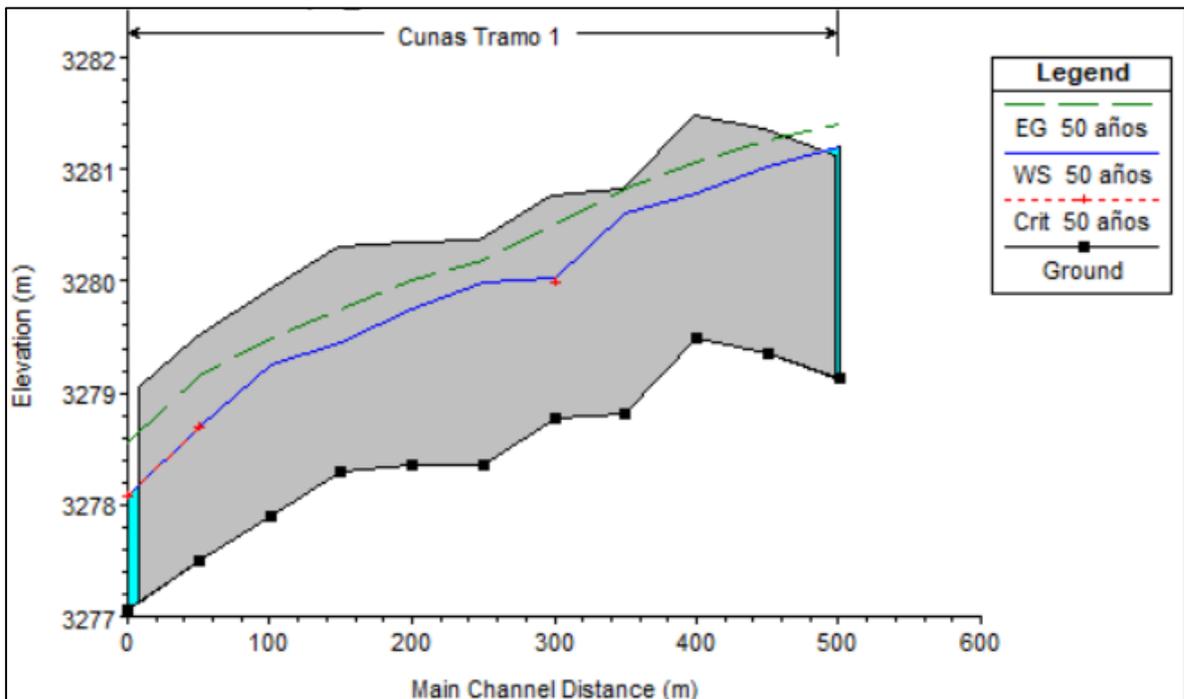
<b>Método</b>	<b>Transporte de fondo (Kg/m.s)</b>
<b>Meyer, Peter y Muller</b>	0.579
<b>Van Rijn</b>	1.834
<b>Bagnolds</b>	2.329
<b>Yalin</b>	1.905

### Anexo 8: Perfiles del río Cunas - HECRAS

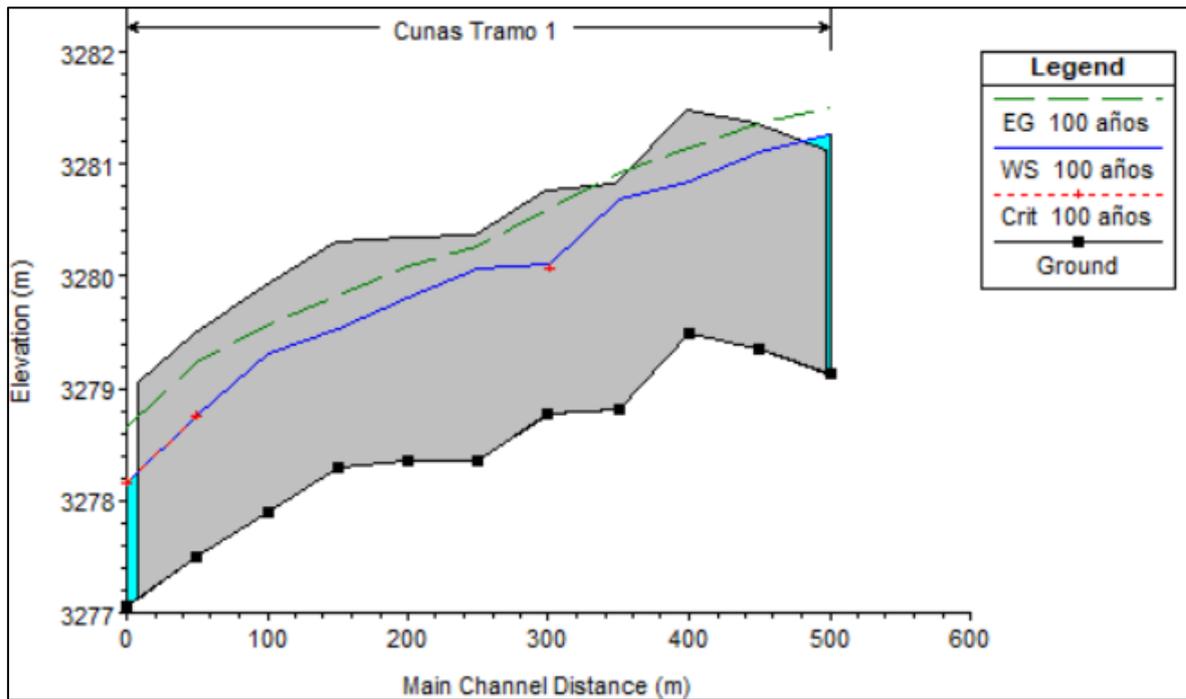
#### 1. Perfil de río TR: 9 años



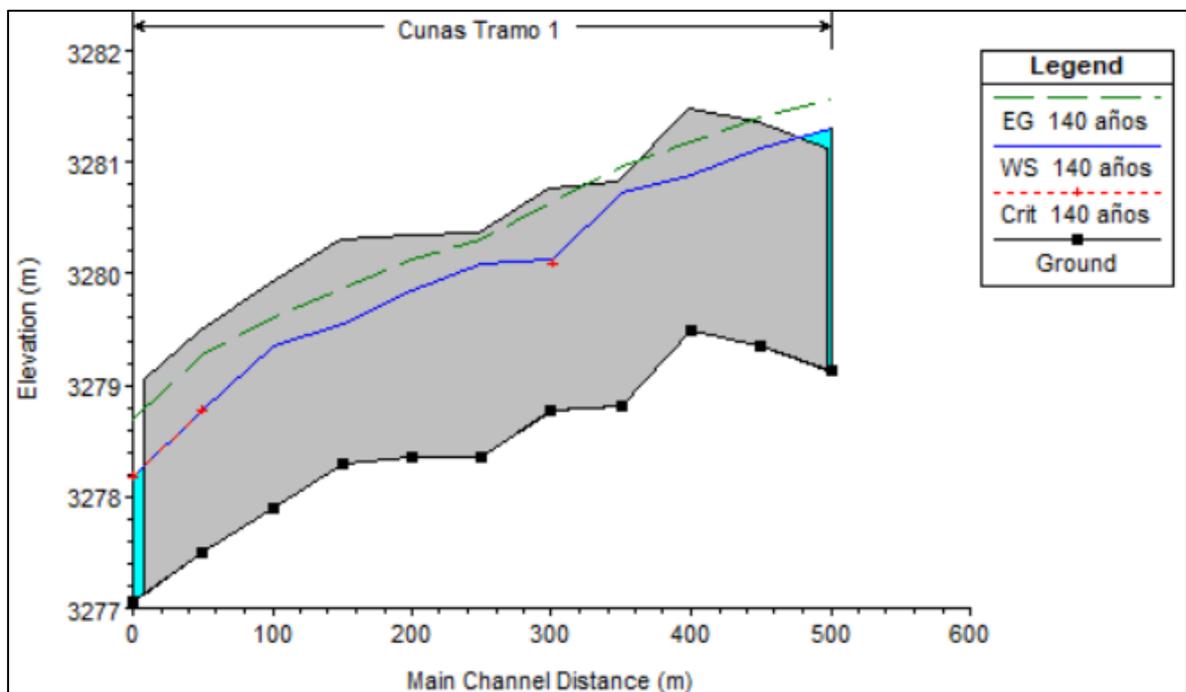
#### 2. Perfil de río TR: 50 años



## 3. Perfil de río TR: 100 años



## 4. Perfil de río TR: 140 años



**Anexo 9:** Tablas de salida – HECRAS

## 1. Periodo de retorno 9 años sin dique

Tramo	Sección	Q (m <sup>3</sup> /s)	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad (m/s)	Área mojada (m <sup>2</sup> )	Espejo de agua (m)	Nro. Froude	Tirante
<b>0+500</b>	11	51.23	3279.13	3280.94		3281.09	0.002156	1.72	29.7	20.43	0.46	1.81
<b>0+450</b>	10	51.23	3279.36	3280.79		3280.97	0.00282	1.84	27.84	21.19	0.51	1.43
<b>0+400</b>	9	51.23	3279.48	3280.49		3280.75	0.006709	2.24	22.85	25.84	0.76	1.01
<b>0+350</b>	8	51.23	3278.82	3280.32		3280.5	0.003267	1.89	27.08	22.51	0.55	1.5
<b>0+300</b>	7	51.23	3278.76	3279.8	3279.78	3280.2	0.011108	2.82	18.19	21.31	0.97	1.04
<b>0+250</b>	6	51.23	3278.36	3279.74		3279.89	0.002608	1.72	29.8	24.6	0.5	1.38
<b>0+200</b>	5	51.23	3278.35	3279.54		3279.73	0.003818	1.94	26.47	24.32	0.59	1.19
<b>0+150</b>	4	51.23	3278.3	3279.23		3279.48	0.006626	2.19	23.35	26.93	0.75	0.93
<b>0+100</b>	3	51.23	3277.91	3279.03		3279.21	0.003919	1.9	26.91	26.12	0.6	1.12
<b>0+050</b>	2	51.23	3277.5	3278.51	3278.5	3278.88	0.011686	2.68	19.11	25.45	0.99	1.01
<b>0+000</b>	1	51.23	3277.05	3277.89	3277.89	3278.28	0.012044	2.77	18.49	23.92	1.01	0.84

## 2. Periodo de retorno 9 años con dique

Tramo	Sección	Q (m3/s)	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad (m/s)	Área mojada (m2)	Espejo de agua (m)	Nro. Froude	Tirante
<b>0+500</b>	11	51.23	3279.13	3280.94		3281.09	0.002156	1.72	29.7	20.43	0.46	1.81
												0
												0
<b>0+450</b>	10	51.23	3279.36	3280.79		3280.97	0.00282	1.84	27.84	21.19	0.51	1.43
<b>0+400</b>	9	51.23	3279.48	3280.49		3280.75	0.006709	2.24	22.85	25.84	0.76	1.01
<b>0+350</b>	8	51.23	3278.82	3280.32		3280.5	0.003267	1.89	27.08	22.51	0.55	1.5
<b>0+300</b>	7	51.23	3278.76	3279.8	3279.78	3280.2	0.011108	2.82	18.19	21.31	0.97	1.04
<b>0+250</b>	6	51.23	3278.36	3279.74		3279.89	0.002608	1.72	29.8	24.6	0.5	1.38
<b>0+200</b>	5	51.23	3278.35	3279.54		3279.73	0.003818	1.94	26.47	24.32	0.59	1.19
<b>0+150</b>	4	51.23	3278.3	3279.23		3279.48	0.006626	2.19	23.35	26.93	0.75	0.93
<b>0+100</b>	3	51.23	3277.91	3279.03		3279.21	0.003919	1.9	26.91	26.12	0.6	1.12
<b>0+050</b>	2	51.23	3277.5	3278.51	3278.5	3278.88	0.011686	2.68	19.11	25.45	0.99	1.01
<b>0+000</b>	1	51.23	3277.05	3277.89	3277.89	3278.28	0.012044	2.77	18.49	23.92	1.01	0.84

## 3. Periodo de retorno 140 años sin dique

Tramo	Sección	Q m <sup>3</sup> /s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada (m <sup>2</sup> )	Espejo de agua (m)	Nro. Froude	Tirante
<b>0+500</b>	11	83.37	3279.13	3281.34		3281.59	0.00264	2.19	37.99	20.47	0.51	2.21
<b>0+450</b>	10	83.37	3279.36	3281.16		3281.44	0.003449	2.34	35.58	21.5	0.58	1.8
<b>0+400</b>	9	83.37	3279.48	3280.92		3281.23	0.005026	2.47	33.81	25.94	0.69	1.44
<b>0+350</b>	8	83.37	3278.82	3280.75		3280.99	0.003708	2.19	38.1	27.9	0.6	1.93
<b>0+300</b>	7	83.37	3278.76	3280.16	3280.12	3280.68	0.009666	3.21	25.98	22.37	0.95	1.4
<b>0+250</b>	6	83.37	3278.36	3280.12		3280.35	0.002926	2.12	39.25	25.27	0.54	1.76
<b>0+200</b>	5	83.37	3278.35	3279.87		3280.16	0.004409	2.41	34.61	25.16	0.66	1.52
<b>0+150</b>	4	83.37	3278.3	3279.58		3279.91	0.005966	2.54	32.83	27.62	0.74	1.28
<b>0+100</b>	3	83.37	3277.91	3279.37		3279.64	0.004119	2.3	36.17	27.16	0.64	1.46
<b>0+050</b>	2	83.37	3277.5	3278.79	3278.79	3279.3	0.011215	3.16	26.38	26.36	1.01	1.29
<b>0+000</b>	1	83.37	3277.05	3278.2	3278.2	3278.72	0.01098	3.2	26.05	25.21	1.01	1.15

## 4. Periodo de retorno 140 años con dique

Tramo	Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada (m2)	Espejo de agua (m)	Nro. Froude	Tirante
<b>0+500</b>	11	83.37	3279.13	3281.3		3281.56	0.002859	2.25	37.04	20.47	0.53	2.17
												0
												0
<b>0+450</b>	10	83.37	3279.36	3281.13		3281.4	0.003401	2.3	34.99	21.48	0.58	1.77
<b>0+400</b>	9	83.37	3279.48	3280.89		3281.19	0.005075	2.44	33.02	25.94	0.69	1.41
<b>0+350</b>	8	83.37	3278.82	3280.72		3280.96	0.003711	2.17	37.2	27.66	0.6	1.9
<b>0+300</b>	7	83.37	3278.76	3280.13	3280.09	3280.64	0.009732	3.18	25.37	22.28	0.95	1.37
<b>0+250</b>	6	83.37	3278.36	3280.09		3280.31	0.002903	2.09	38.51	25.22	0.54	1.73
<b>0+200</b>	5	83.37	3278.35	3279.84		3280.13	0.004364	2.37	33.97	25.09	0.65	1.49
<b>0+150</b>	4	83.37	3278.3	3279.55		3279.87	0.006001	2.51	32.1	27.6	0.74	1.25
<b>0+100</b>	3	83.37	3277.91	3279.35		3279.61	0.004101	2.27	35.46	27.08	0.63	1.44
<b>0+050</b>	2	83.37	3277.5	3278.77	3278.77	3279.27	0.01128	3.13	25.78	26.29	1.01	1.27
<b>0+000</b>	1	83.37	3277.05	3278.18	3278.18	3278.69	0.010967	3.16	25.5	25.12	1	1.13

**PANEL FOTOGRÁFICO**



**Fotografía 1:** Levantamiento topográfico del tramo de 500 m del río Cunas en el Barrio San Miguel de Pincha, Chupaca, Junín.

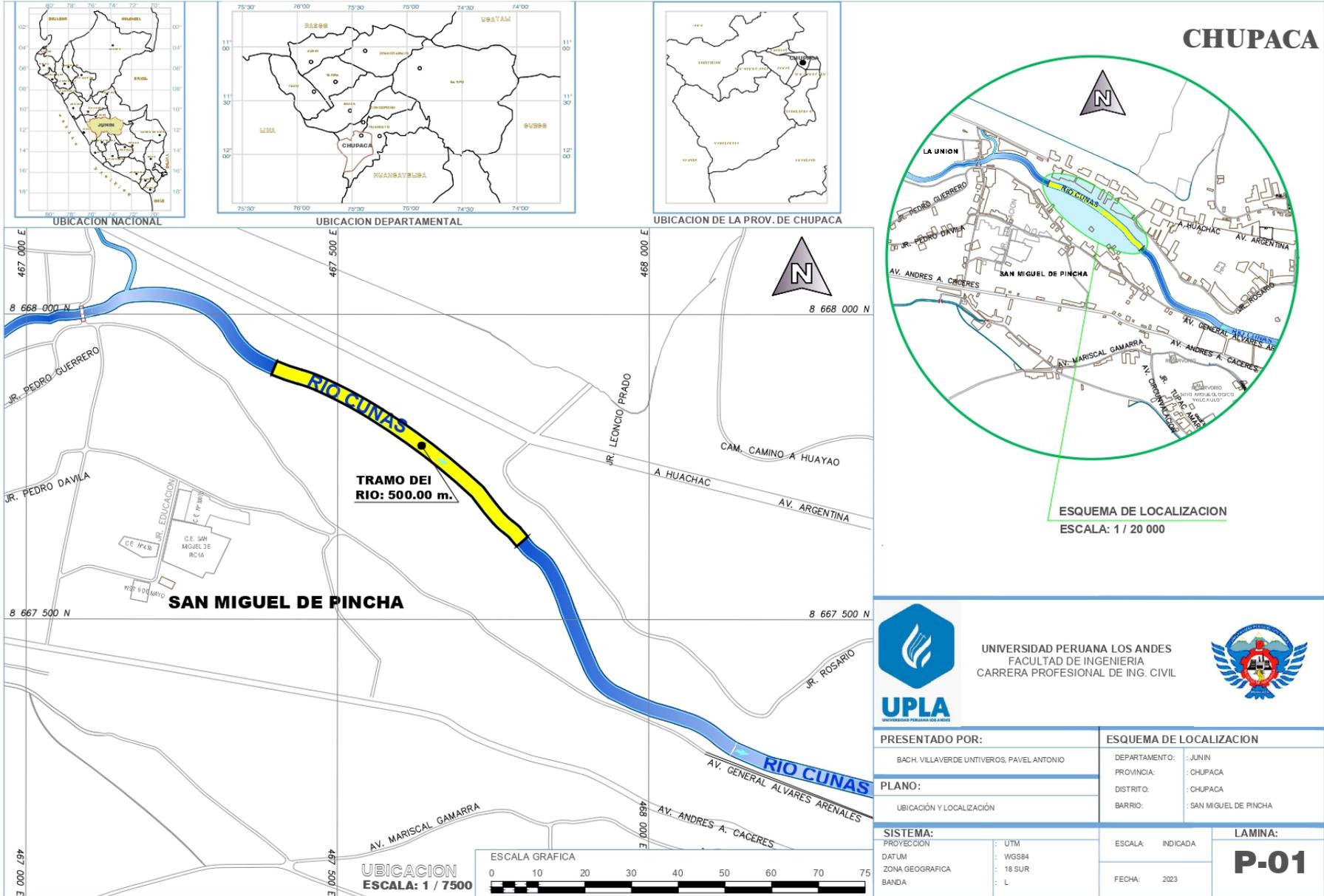


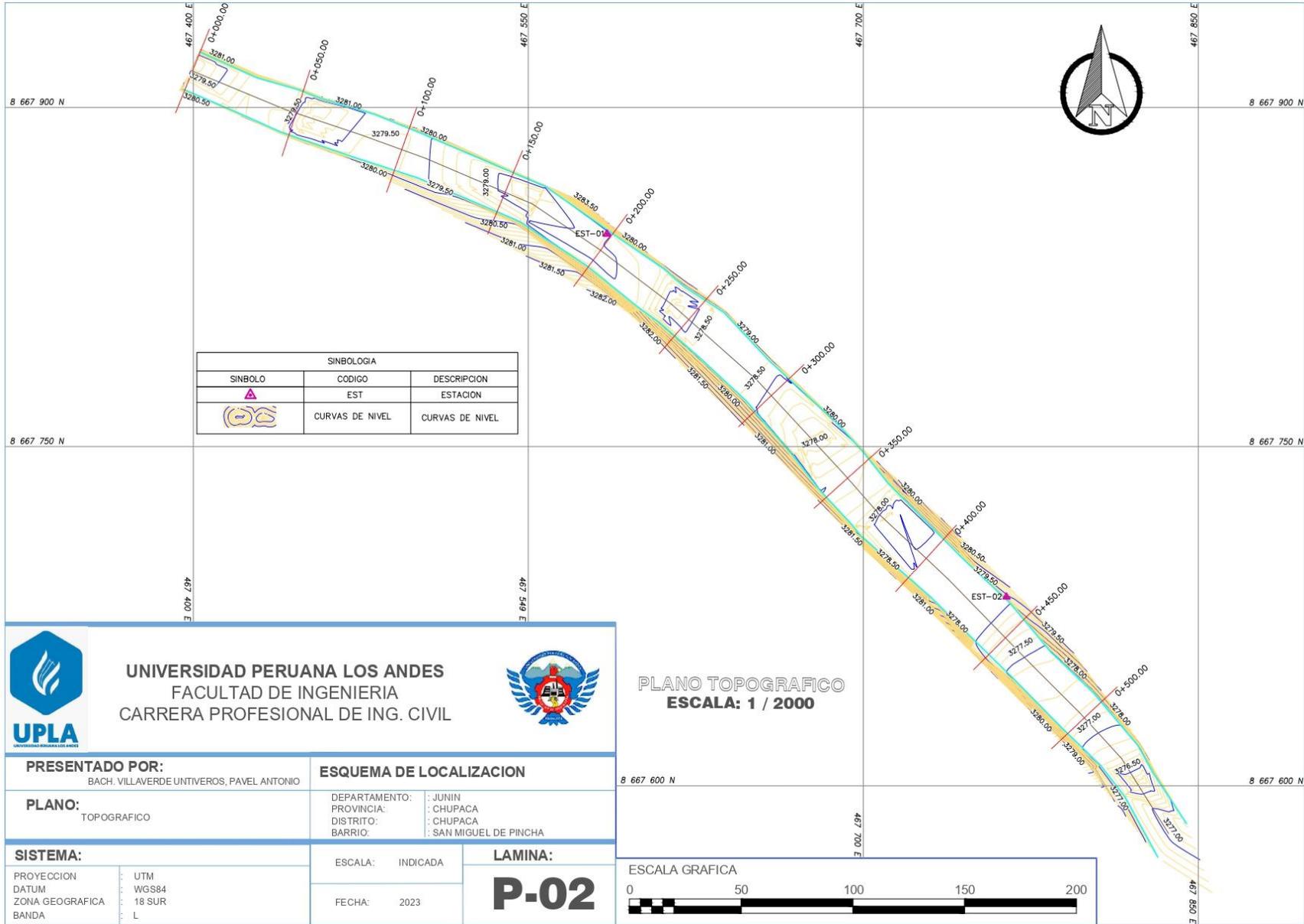
**Fotografía 2:** Vista y recolección de sedimentos en el tramo de inicial del río Cunas en el Barrio San Miguel de Pincha, Chupaca, Junín.

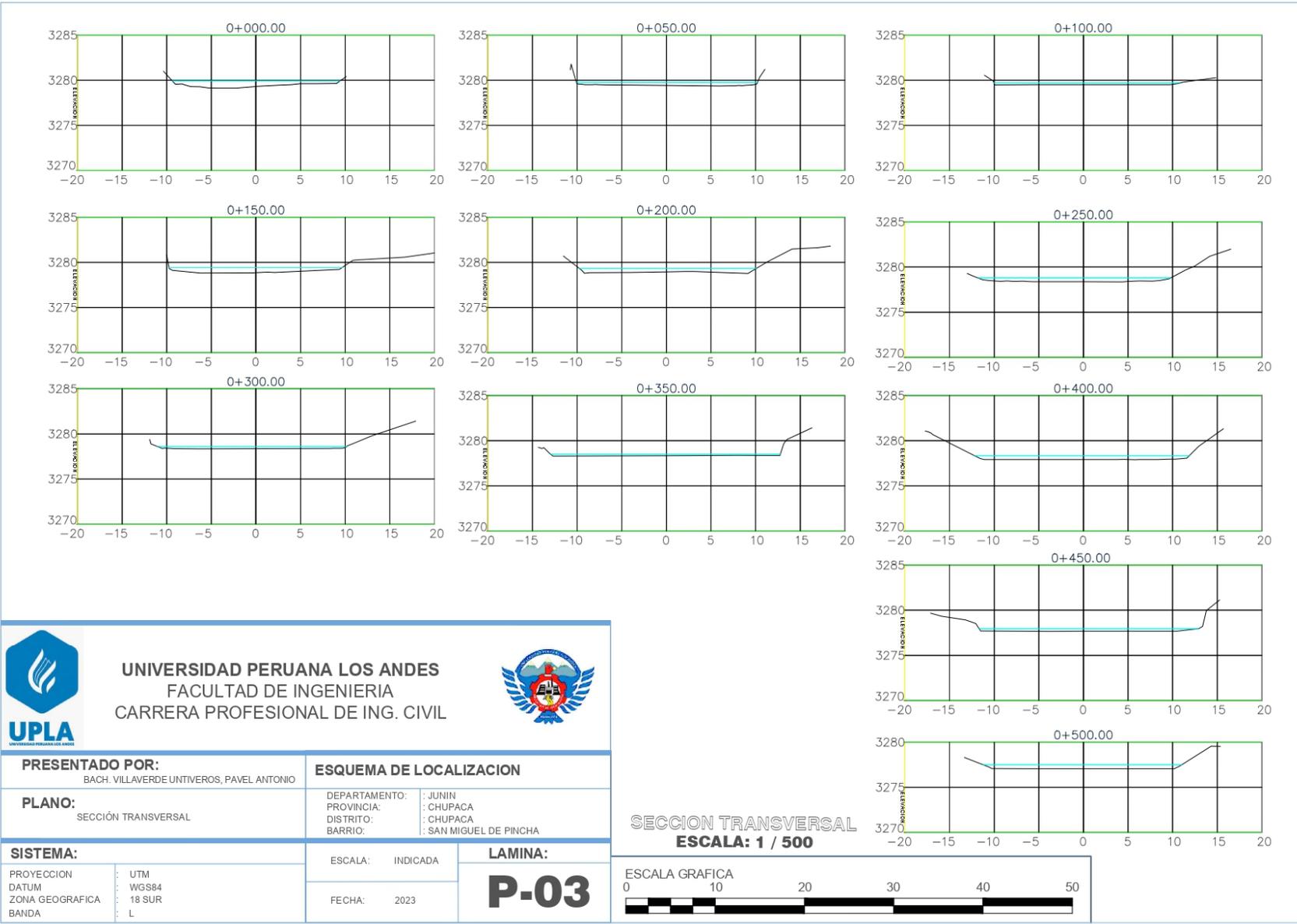


**Fotografía 3:** Vista y recolección de sedimentos en el tramo final del río Cunas en el Barrio San Miguel de Pincha, Chupaca, Junín.

**PLANOS**









**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CARRERA PROFESIONAL DE ING. CIVIL**



<b>PRESENTADO POR:</b> BACH. VILLAVERDE UNTIVEROS, PAVEL ANTONIO		<b>ESQUEMA DE LOCALIZACION</b>	
<b>PLANO:</b> SECCIÓN TRANSVERSAL		DEPARTAMENTO: JUNIN	PROVINCIA: CHUPACA
		DISTRITO: CHUPACA	BARRIO: SAN MIGUEL DE PINCHA
<b>SISTEMA:</b>		ESCALA: INDICADA	<b>LAMINA:</b>
PROYECCION : UTM	DATUM : WGS84	FECHA: 2023	<b>P-03</b>
ZONA GEOGRAFICA : 18 SUR	BANDA : L		

